



Pediatrician  
(St. Petersburg)

Том (Volume) 15  
Выпуск (Issue) 1  
2024

ISSN 2079-7850 (Print)  
ISSN 2587-6252 (Online)

# Педиатр

Научно-практический журнал для врачей

<https://journals.eco-vector.com/pediatr>



Редакционная коллегия

**Дмитрий Олегович Иванов** (главный редактор) — доктор медицинских наук, проф., ректор ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Р.А. Насыров** (зам. гл. редактора) — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Ю.С. Александрович** (зам. гл. редактора) — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А.Г. Васильев** (ведущий редактор) — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**М.А. Пахомова** (технический редактор) — ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**В.А. Аверин** — доктор психологических наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**В.Г. Арсентьев** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ (Санкт-Петербург).

**В.Г. Баиров** — доктор медицинских наук, проф. ФГБУ «СЗФМИЦ им. В.А. Алмазова» (Санкт-Петербург).

**А.А. Баранов** — академик РАН, доктор медицинских наук, проф., директор ФГБУ «Научный центр здоровья детей» (Москва).

**Е.М. Булатова** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГУ (Санкт-Петербург).

**Д. Венто** — доцент (Италия).

**А.В. Губин** — доктор медицинских наук, проф., зам. директора по медицинской части (травматология и ортопедия), Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ (Санкт-Петербург).

**В.А. Илюхина** — доктор биологических наук, проф. Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН (Санкт-Петербург).

**Е.Н. Имянитов** — член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Е.А. Корниенко** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Е.И. Краснощекова** — доктор биологических наук. ФГБОУ ВО СПбГУ (Санкт-Петербург).

**Ю.В. Лобзин** — академик РАН, доктор медицинских наук, проф., президент ФГБУ ДНКЦИФ МФБА России (Санкт-Петербург).

**Л.С. Намазова-Баранова** — академик РАН, доктор медицинских наук, проф. Российской национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва).

**В.И. Орел** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**И.Б. Осипов** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

Рецензируемый научно-практический журнал

**ПЕДИАТР**

Pediatrician (St. Petersburg)

Основан в 2010 году в Санкт-Петербурге

ISSN 2079-7850

eISSN 2587-6252

Key title: Pediatric (Sankt-Peterburg)

Abbreviated key title: Pediatric (St.-Peterbg.)

Выходит 6 раз в год

Учредители: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России,

ООО «Эко-Вектор»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
ПИ № ФС77-69634 от 05 мая 2017 г.

Подписка на печатную версию: Объединенный каталог «Пресса России» <https://www.pressa-ru.ru>

подписьной индекс  
70479 — на полугодие

81557 — на год

Подписка на электронную версию журнала:  
<https://journals.eco-vector.com/pediatr/about/subscriptions>

Журнал реферируется РЖ ВИНИТИ

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Включен в RSCI\*.

Издатель:

ООО «Эко-Вектор»

Щепин Е.В. (генеральный директор)

Репьева Н.Н. (выпускающий редактор)

Смирнова И.В. (корректор)

Еленин В.А. (верстка)

Адрес редакции: Литовская ул., д. 2,

Санкт-Петербург, 194100;

тел: (812) 784-97-51, e-mail: nl@eco-vector.com

Address for correspondence:

2, Litovskaya St., St. Petersburg, 194100,

Russia. Tel/Fax: +7 (812) 784-97-51,

e-mail: nl@eco-vector.com

Editorial Board

**Dmitry O. Ivanov** (Head Editor) — Prof., MD, PhD (medicine), Rector. St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**R.A. Nasyrov** (Deputy Head Editor) — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**Yu.S. Alexandrovich** (Deputy Head Editor) — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A.G. Vasiliiev** (Leading Editor) — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**M.A. Pakhomova** — Technical Editor. St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**V.A. Averin** — Prof., PhD (psychology). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**V.G. Arsentiev** — Prof., PhD (medicine). Kirov Military Medical Academy (Saint Petersburg, Russia).

**V.G. Bairov** — Prof., MD, PhD (medicine). Almazov National Medical Research Center (Saint Petersburg, Russia).

**A.A. Baranov** — Member of RAS, Prof., MD, PhD (medicine), Director of Federal State Budget Institution "Science Center of Children's Health" (Moscow, Russia).

**E.M. Bulatova** — Prof., MD, PhD (medicine). Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia).

**G. Vento** — Assoc. Prof. MD, PhD (medicine) (Italy).

**A.V. Gubin** — Prof., MD, PhD (medicine), Deputy Director for Medical Affairs (Traumatology and Orthopedics), Clinic of High Medical Technologies, Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia).

**V.A. Ilukhina** — Prof., PhD (biology), Institute of the Human Brain N.P. Bekhtereva (Saint Petersburg, Russia).

**E.N. Imyanitov** — Member by Correspondence of RAS, Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**E.A. Kornienko** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**E.I. Krasnoshchekova** — PhD (biology). Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia).

**Yu.V. Lobzin** — Member of RAS, Prof., MD, PhD (medicine), President of Children's Scientific Clinical Center of Infectious Diseases (Saint Petersburg, Russia).

**L.S. Namazova-Baranova** — Member of RAS, Prof., MD, PhD (medicine). Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia).

**V.I. Oryol** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**I.B. Osipov** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

Формат 60 × 90/8. Усл.-печ. л. 13,5.

Тираж 500 экз. Цена свободная.

Оригинал-макет изготовлен

ООО «Эко-Вектор»

ООО «Типография Экспресс B2B».

191180, Санкт-Петербург,

наб. реки Фонтанки, д. 104, лит. А, пом. 3Н, оф. 1.

Тел.: +7(812) 646-33-77. Заказ № 4-5801-х.

Подписано в печать 20.05.2024

Выход в свет 27.05.2024

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения издательства.

© Эко-Вектор, 2024

Ссылка на журнал «Педиатр» обязательна.

\* Постановление Правительства РФ от 20 марта 2021 г. № 426, вступившее в силу с 01.08.2021, об изменениях, которые вносятся в акты Правительства РФ: 1. В положении о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства РФ от 29.09.2013 г. «О порядке присуждения ученых степеней» ... а) пункт 11 дополнить абзацами следующего содержания: «К публикациям, в которых излагаются основные научные результаты диссертаций, в рецензируемых изданиях прививаются публикации ... в научных изданиях, индексируемых в научометрической базе данных Russian Science Citation Index (RSCI)».

**В.Н. Панферов** — доктор психологических наук, проф. РГПУ им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург).

**С.Т. Посохова** — доктор психологических наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГУ (Санкт-Петербург).

**Н.В. Скрипченко** — доктор медицинских наук, проф. ФГБУ ДНКЦИФ ФМБА России (Санкт-Петербург).

**В.Н. Тимченко** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А.Д. Харазова** — доктор биологических наук, проф., зав. кафедрой. ФГБОУ ВО СПбГУ (Санкт-Петербург).

**В.Г. Часнык** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

### Редакционный совет

**Г. Алиев** — доктор биологических наук, проф., президент и исполнительный директор «Галли», Международный биомедицинский научно-исследовательский институт (Сан-Антонио, Техас, США).

**Ф. Бистони** — проф. Госпиталь Санта-Мария-Делла-Мизерикордия, Университет Перуджи (Перуджа, Италия).

**В.В. Бржеский** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**И.А. Горьковая** — доктор психологических наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А. Гром** — профессор, отделение ревматологии. Детский госпиталь (Цинциннати, США).

**В.И. Гузева** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**М.Д. Диidor** — доктор медицинских наук, проф., директор. Институт мозга человека им. Н.П. Бехтеревой РАН (Санкт-Петербург).

**П.Дж.Дж. Зауэр** — проф. Университетский медицинский центр в Детском госпитале Беатрисы (Нидерланды).

**З.В. Земцовский** — доктор медицинских наук, проф. ФГБУ СЗФМИЦ им. В.А. Алмазова МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Н.Р. Карелина** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Д.С. Коростовцев** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**С.А. Лытавев** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Г.Л. Микиртичан** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А.В. Микляева** — доктор психологических наук, доцент. РГПУ им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург).

**Ю.В. Наточин** — академик РАН, доктор медицинских наук, проф. Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург).

**С. Нехай** — проф., Университет Говарда (США).

**Г.А. Новик** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А.Б. Пальчик** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Ф.П. Романиук** — доктор медицинских наук, проф. СЗГМУ им. И.И. Мечникова МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Н.Д. Савенкова** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**А.С. Симаходский** — доктор медицинских наук, проф. ПСПбГПМУ им. акад. И.П. Павлова (Санкт-Петербург).

**И.Г. Солдатова** — доктор медицинских наук, проф. Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва).

**С.Л. Соловьева** — доктор психологических наук, проф. СЗГМУ им. И.И. Мечникова МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**М.В. Столярова** — доктор биологических наук, доцент. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Г.А. Суслова** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**Н. Татевиан** — проф. Центр медицинских наук Техасского университета (Хьюстон, США).

**В.К. Юрьев** — доктор медицинских наук, проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ МЗ РФ (Санкт-Петербург).

**V.N. Panferov** — Prof., PhD (psychology). RSPU A.I. Gertsen (Saint Petersburg, Russia).

**S.T. Posokhova** — Prof., PhD (psychology). Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia).

**N.V. Skripchenko** — Prof., MD, PhD (medicine). Children's scientific clinical center of infectious diseases (Saint Petersburg, Russia).

**V.N. Timchenko** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A.D. Harazova** — Prof., PhD (biology). Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)

**V.G. Chasnyk** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

### Editorial Council

**G. Aliev** — Prof., PhD (biology), President and CEO “GALLY” International Biomedical Research Institute Inc. (San Antonio, TX, USA)

**F. Bistoni** — Prof., MD, PhD. University of Perugia (Perugia, Italy).

**V.V. Brzhesky** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**I.A. Gorkovaya** — Prof., PhD (psychology). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A. Grom** — Prof., MD, PhD (medicine), Division of Rheumatology. Children's Hospital Medical Center (Cincinnati, USA).

**V.I. Guzeva** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**M.D. Didur** — Prof., PhD (medicine), Director. Institute of the Human Brain N.P. Bekhtereva (Saint Petersburg, Russia).

**P.J.J. Sauer** — Prof., MD, PhD. Beatrix Children's Hospital, University Medical Center (Netherlands).

**E.V. Zemtsovsky** — Prof., PhD (medicine). Almazov National Medical Research Center (Saint Petersburg, Russia).

**N.R. Karelina** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**D.S. Korostovtsev** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**S.A. Lytaev** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**G.L. Mikirtichan** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A.V. Mikliaeva** — Associate Prof., PhD (psychology). RSPU A.I. Gertsen (Saint Petersburg, Russia).

**Yu.V. Natochin** — Member of RAS, Prof., MD, PhD (medicine). Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry RAS (Saint Petersburg, Russia).

**S. Nekhai** — Prof., MD, PhD. Howard University (USA).

**G.A. Novik** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A.B. Pal'chik** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**F.P. Romaniuk** — Prof., PhD (medicine). North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russia).

**N.D. Savenkova** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**A.S. Simakhodskiy** — Prof., PhD (medicine). Pavlov First Saint Petersburg State Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**I.G. Soldatova** — Prof., MD, PhD (medicine). Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia).

**S.L. Solovieva** — Prof., PhD (psychology). North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russia).

**M.V. Stolyarova** — Associate Prof., MD, PhD (biology). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**G.A. Suslova** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

**N. Tatevian** — Prof., MD, PhD. University of Texas Health Sciences Center (Houston, USA).

**V.K. Yuryev** — Prof., MD, PhD (medicine). St. Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russia).

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПЕРЕДОВАЯ СТАТЬЯ

- Ⓐ Д.О. Иванов, Л.В. Дитковская, О.И. Марьина, Ю.С. Александрович, М.Е. Туркунова, Е.Н. Суспицын  
Анамнестические, клинико-лабораторные и молекулярно-генетические особенности пациентов  
с неонатальным сахарным диабетом ..... 5

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- Ⓐ Г.Н. Чумакова, Д.О. Иванов, Е.В. Бем, А.С. Панченко, М.И. Леваднева, С.Е. Павлова, Л.А. Федорова, Е.Э. Вьюкова,  
А.М. Ходжисеева, Ю.Е. Шинкарева, П.М. Грызунова  
Параметры физического развития доношенных новорожденных с задержкой внутриутробного развития,  
родившихся в Перинатальном центре ЗБ-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического  
медицинского университета в 2022 г. ..... 19
- Ⓐ Ю.В. Петренко, Д.О. Иванов, В.О. Полякова, В.П. Новикова, Е.П. Федотова, О.А. Демченкова,  
М.И. Леваднева, Е.Б. Тарханова  
Состав коллагенов плаценты у родильниц с ожирением, получивших родоразрешение в Перинатальном центре  
Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета с 2018 по 2021 г. ..... 29
- Ⓐ Т.В. Брус, А.А. Калинина, А.В. Баннова, Р.В. Кораблев, Ю.С. Брус  
Влияние неалкогольной жировой болезни печени на репродуктивную функцию в эксперименте ..... 37
- Ⓐ Н.В. Гончар, К.Д. Ермоленко, С.Н. Чупрова, С.Г. Григорьев, Д.В. Феоктистова, Н. Митерев  
Детерминанты возможных воспалительных повреждений миокарда при острых кишечных инфекциях у детей ..... 45
- Ⓐ Н.Д. Мамиев, В.С. Василенко, Ю.Б. Семенова, Е.Б. Карповская, А.В. Меркулова, Н.С. Канавец, В.С Иванов  
Цитокины как маркеры нефункционального перенапряжения у спортсменов-гребцов ..... 55

## ОБЗОРЫ

- З.К. Эмиргаев, Н.С. Тагиров, А.Г. Васильев, Р.Н. Тагиров  
Метаболические нарушения и андрогенный дефицит в патогенезе мочекаменной болезни ..... 65
- В.В. Баринова, И.О. Буштырева, Д.О. Иванов, Н.Б. Кузнецова, Е.Э. Артоуз  
Нетрадиционные методы коррекции нарушений микробиоты у детей, рожденных путем кесарева сечения ..... 79

## КЛИНИЧЕСКАЯ ПСИХОЛОГИЯ

- А.В. Погодина, Т.А. Астахова, Л.Н. Лебедева, Л.В. Рычкова  
Неудовлетворенность собственным телом и ассоциированные с ней факторы у подростков  
с нормальной массой тела ..... 91
- И.А. Горьковая, В.И. Рождественский, В.В. Титова  
Суициdalный риск у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости ..... 101

# CONTENTS

---

## EDITORIAL

- Ⓐ D.O. Ivanov, L.V. Ditkovskaya, O.I. Maryina, Yu.S. Alexandrovich, M.E. Turkunova, E.N. Suspitsin  
Anamnestic, clinical, laboratory and molecular genetic characteristics of patients with neonatal diabetes mellitus ..... 5

## ORIGINAL STUDIES

- Ⓐ G.N. Chumakova, D.O. Ivanov, E.V. Bem, A.S. Panchenko, M.I. Levadneva, S.E. Pavlova, L.A. Fedorova, E.E. Vyukova, A.M. Khojieva, Yu.E. Shinkareva, P.M. Gryzunova  
Parameters of physical development of term newborns with Intrauterine Growth Retardation, born in a 3B Level Perinatal Centre of St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2022 ..... 19
- Ⓐ Yu.V. Petrenko, D.O. Ivanov, V.O. Polyakova, V.P. Novikova, E.P. Fedotova, O.A. Demchenkova, M.I. Levadneva, E.B. Tarkhanova  
Collagens of placenta composition in obese puerperant women who gave birth to children at St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2018–2021 ..... 29
- Ⓐ T.V. Brus, A.A. Kalinina, A.V. Bannova, R.V. Korablev, Yu.S. Brus  
Influence of non-alcoholic fatty liver disease on reproductive function in an experiment ..... 37
- Ⓐ N.V. Gonchar, K.D. Ermolenko, S.N. Chuprova, S.G. Grigoriev, D.V. Feoktistova, N. Miterev  
Determinants of possible inflammatory myocardial damage in acute intestinal infections in children ..... 45
- Ⓐ N.D. Mamiev, V.S. Vasilenko, Yu.B. Semenova, E.B. Karpovskaya, A.V. Merkulova, N.S. Kanavets, V.S. Ivanov  
Cytokines as markers of non-functional overstrain in rowing athletes ..... 55

## REVIEWS

- Z.K. Emirgaev, N.S. Tagirov, A.G. Vasiliev, R.N. Tagirov  
Metabolic disorders and androgen deficiency in the pathogenesis of urolithiasis ..... 65
- V.V. Barinova, I.O. Bushtyreva, D.O. Ivanov, N.B. Kuznetsova, E.E. Artouz  
Non-traditional methods of microbiota disorders correction in children born by cesarean section ..... 79

## CLINICAL PSYCHOLOGY

- A.V. Pogodina, T.A. Astakhova, L.N. Lebedeva, L.V. Rychkova  
Body dissatisfaction and associated factors in normal weight adolescents ..... 91
- I.A. Gorkovaya, V.I. Rozhdestvenskiy, B.B. Titova  
Suicide risk in adolescents with deviant behavior and different hardiness levels ..... 101

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED1515-18>

Research Article

# Anamnestic, clinical, laboratory and molecular genetic characteristics of patients with neonatal diabetes mellitus

Dmitry O. Ivanov<sup>1</sup>, Liliya V. Ditkovskaya<sup>1</sup>, Olga I. Maryina<sup>1</sup>, Yurii S. Alexandrovich<sup>1</sup>, Mariia E. Turkunova<sup>2</sup>, Evgeny N. Suspitsin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Childrens' City Clinic No. 44, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Currently, there is an increase in the incidence of diabetes mellitus throughout the world, including the steadily increasing number of rare, genetically determined forms of diabetes. Of particular interest are monogenic forms, including neonatal diabetes mellitus, which is a rare heterogeneous disease that manifests, as a rule, in the first 6 months of a child's life, characterized by a severe labile course and a high risk of complications. Neonatal diabetes mellitus is a rare heterogeneous disease that usually manifests itself in the first 6 months of a child's life, characterized by a severe, labile course and a high risk of complications. Currently, more than 25 genes are known, mutations in which cause both permanent and transient neonatal diabetes mellitus, as well as syndromic variants of this disease, which are of particular interest due to their severity and polymorphic clinical picture. In this regard, timely verification of the diagnosis is of particular importance.

**AIM:** The aim of this study is to increase the efficiency of diagnosis of neonatal diabetes mellitus based on the analysis of anamnestic, clinical, laboratory and molecular genetic characteristics of patients.

**MATERIALS AND METHODS:** 14 patients with transient and permanent neonatal diabetes mellitus were examined.

**RESULTS:** 11 (78.6%) patients had isolated neonatal diabetes, in three of them the disease was verified in the structure of hereditary syndromes (Wolcott–Rallison syndrome, IPEX syndrome and Donohue syndrome). According to molecular genetic analysis, 14 variants were found in the genes *ABCC8*, *KCNJ11*, *GCK*, *GATA6*, *WFS1*, *CACNA1D*, *EIF2AK3*, *FOXP3*, *PAX4*, *INSR*, *IGF1R*, three of which were not previously described in the literature.

**CONCLUSIONS:** The clinical heterogeneity identified in patients is determined primarily by the diversity of verified variants in causative genes. New variants in the *CACNA1D* and *IGF1R* genes that may be associated with the development of NDM, remain poorly understood and require further research.

**Keywords:** neonatal diabetes mellitus; monogenic diabetes; gene *IGF1R*; gene *CACNA1D*; Wolcott–Rallison syndrome; IPEX syndrome; Donohue syndrome.

## To cite this article

Ivanov DO, Ditkovskaya LV, Maryina OI, Alexandrovich YuS, Turkunova ME, Suspitsin EN. Anamnestic, clinical, laboratory and molecular genetic characteristics of patients with neonatal diabetes mellitus. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):5–18. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED1515-18>

Received: 18.12.2023

Accepted: 30.01.2024

Published: 29.02.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED1515-18>

Оригинальное исследование

# Анамnestические, клинико-лабораторные и молекулярно-генетические особенности пациентов с неонатальным сахарным диабетом

Д.О. Иванов<sup>1</sup>, Л.В. Дитковская<sup>1</sup>, О.И. Марьина<sup>1</sup>, Ю.С. Александрович<sup>1</sup>,  
М.Е. Туркунова<sup>2</sup>, Е.Н. Суспицын<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Детская городская поликлиника № 44, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В настоящее время отмечается рост заболеваемости сахарным диабетом во всем мире, в том числе неуклонно увеличивается число редких, генетически обусловленных форм диабета. Особый интерес представляют моногенные формы, в том числе неонатальный сахарный диабет, представляющий собой редкое гетерогенное заболевание, манифестирующее, как правило, в первые 6 мес. жизни ребенка, характеризующееся тяжелым лабильным течением и высоким риском развития осложнений. В настоящее время известно более 25 генов, мутации в которых вызывают как перманентный, так и транзиторный неонатальный сахарный диабет, а также синдромальные варианты этого заболевания, представляющие особый интерес ввиду их тяжести и полиморфности клинической картины. В связи с этим особую важность представляет своевременная верификация диагноза.

**Цель** — повысить эффективность диагностики неонатального сахарного диабета на основе анализа анамnestических, клинико-лабораторных и молекулярно-генетических особенностей пациентов.

**Материалы и методы.** Обследовано 14 пациентов с транзиторным и перманентным неонатальным сахарным диабетом.

**Результаты.** Изолированный неонатальный диабет имели 11 (78,6 %) пациентов, у троих заболевание верифицировано в структуре наследственных синдромов (синдром Уолкотта – Раллисона, IPEX-синдром и синдром Донохью). По данным молекулярно-генетического анализа обнаружено 14 вариантов в генах *ABCC8*, *KCNJ11*, *GCK*, *GATA6*, *WFS1*, *CACNA1D*, *EIF2AK3*, *FOXP3*, *PAX4*, *INSR*, *IGF1R*, три из которых ранее не описаны в литературе.

**Выводы.** Выявленная у пациентов клиническая гетерогенность определяется преимущественно разнообразием верифицированных вариантов в каузативных генах. Новые варианты в генах *CACNA1D* и *IGF1R*, которые могут быть ассоциированы с развитием диабета, остаются малоизученными и требуют дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** неонатальный сахарный диабет; моногенный диабет; ген *IGF1R*; ген *CACNA1D*; синдром Уолкотта – Раллисона; IPEX-синдром; синдром Донохью.

## Как цитировать

Иванов Д.О., Дитковская Л.В., Марьина О.И., Александрович Ю.С., Туркунова М.Е., Суспицын Е.Н. Анамnestические, клинико-лабораторные и молекулярно-генетические особенности пациентов с неонатальным сахарным диабетом // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 5–18.  
<https://doi.org/10.17816/PED1515-18>

Рукопись получена: 18.12.2023

Рукопись одобрена: 30.01.2024

Опубликована: 29.02.2024

## BACKGROUND

Neonatal diabetes mellitus (NDM) is a rare and heterogeneous group of diseases characterized by chronic hyperglycemia in the first six months of a child's life. In some children, the presence of mutations in the causative gene aids in the diagnosis of NDM between the ages of 6 and 12 months [8, 20, 32]. The incidence of NDM reportedly ranges between 1:90,000 to 1:500,000 live newborns, with a higher prevalence in isolated populations, such as in Middle Eastern countries (1:21,000–1:29,000), due to the persistence of inbreeding.

Currently, two principal forms of NDM are recognized, transient neonatal diabetes mellitus (TNDM) and permanent neonatal diabetes mellitus (PNDM), in addition to syndromal variations of this condition. TNDM is characterized by clinical and laboratory remission after manifestation of the condition. It is also associated with a high risk of readmission in adolescence. In PNDM, remission of the disease does not occur [2, 5, 20, 24].

NDM is a monogenic form of diabetes mellitus (DM). Currently, more than 25 genes are associated with its development (*ABCC8*, *KCNJ11*, *GCK*, *GATA4*, *GATA6*, *PDX1*, *EIF2AK3*, *FOXP3*, *GLIS3*, *INS*, insulin receptor (*INSR*), *HNF1B*, *IER3IP1*, *PTF1A*, *NEUROD1*, *NEUROG3*, *RFX6*, *SLC2A2*, *SLC19A2*, *WFS1*, *ZFP5*, *KCNMA1*, and *CACNA1D*) [20, 33]. Furthermore, chromosomal aberrations of the imprinted locus in 6q24 (uniparental disomy of chromosome 6, duplication of the paternal copy of chromosome 6, and hypomethylation of the ICR copy of the maternal chromosome 6q24) have been identified as a cause of TNDM [5, 20, 32].

A substantial proportion of NDM cases are attributed to genetic alterations in the *KCNJ11* and *ABCC8* genes. These genes encode proteins involved in the ATP-dependent K<sup>+</sup> channels in pancreatic β-cells and regulate insulin secretion in response to glucose levels [20].

The glucose transporter GLUT2 facilitates the entry of glucose into β-cell, where it is metabolized. This metabolic process results in the accumulation of ATP, which inhibits ATP-dependent K<sup>+</sup> channels and causes their closure. The depolarization of the cell membrane and subsequent increase in the concentration of Ca<sup>++</sup> ions within the cell induce insulin secretion. The activation of mutations in the *KCNJ11* gene, which encodes the Kir6.2 subunit, and in the *ABCC8* gene, which encodes sulfonylurea receptor-1 (SUR1), distorts the closure of the ATP-dependent K<sup>+</sup> channel. Consequently, the K<sup>+</sup> channels remain open, resulting in the insufficient stimulation of insulin release into the bloodstream in response to hyperglycemia [13, 25, 32].

Heterozygous inactivating mutations in the *INS* gene, which decrease proinsulin function and cause premature apoptosis of the pancreatic β-cells, are less prevalent in NDM [20, 32]. Furthermore, inactivating mutations in the *GCK* gene, which encode a key β-cell enzyme in the

insulin secretion pathway, may cause NDM. These mutations are either homozygous or compound heterozygous. A reduction in enzyme activity results in an elevated threshold for β-cell sensitivity to glucose and a concomitant decrease in insulin secretion. The synthesis of the altered *GCK* disrupts glycogen accumulation in the liver and accelerates gluconeogenesis, which increases glucose production at physiological insulin concentrations and elevates fasting hyperglycemia [1, 4].

The development of NDM due to mutations in the *EIF2AK3*, *FOXP3*, *IER3IP1*, and *WFS1* genes is a consequence of β-cell death [5, 20]. Some NDM forms are caused by mutations in the *GATA* family of genes. The *GATA6* gene is expressed in tissues of endodermal and mesodermal origin, including the intestine, lung, heart, and pancreas. This explains the formation of defects in these organs and systems. Moreover, the *GATA6* and *GATA4* genes play a role in the regulation of postembryonic function of the pancreatic acinar cells. In such instances, NDM may be associated with congenital hypothyroidism and cardiovascular malformations [33].

NDM is distinguished in the structure of rare inherited syndromes associated with mutations in the genes: *EIF2AK3*, Wolcott–Rallison syndrome; *FOXP3*, immunodeficiency, polyendocrinopathy, enteropathy, X-linked (IPEX) syndrome; *SLC2A2*, Fanconi–Bickel syndrome; *SLC19A2*, Rogers syndrome; *KCNJ11*, DEND syndrome; *GLIS3*, NDH syndrome; *KCNMA1*, Liang–Wang syndrome; and *INSR*, Donohue syndrome [5, 10, 23, 33].

NDM in Walcott–Rallison syndrome may manifest with concomitant growth retardation, skeletal epiphyseal dysplasia, and severe liver pathology, including hepatitis and liver failure. Other components, such as exocrine pancreatic insufficiency, hypothyroidism, recurrent infections, developmental delay, and renal failure, including acute kidney injury, which significantly worsens the patient's prognosis, are less common [5, 31].

(IPEX) syndrome is an autoimmune polyglandular syndrome that is characterized by a triad of autoimmune enteropathy, polyendocrinopathy, and skin and mucous membrane lesions. In addition to PNDM, the syndrome is associated with marked developmental delay, primary immunodeficiency, autoimmune thyroid disease, and less frequently autoimmune cytopenia, pneumonitis, nephritis, hepatitis, arthritis, myositis, and alopecia [5, 11].

Donohue syndrome, also known as leprechaunism, is a severe form of insulin resistance due to biallelic mutations in the *INSR* gene. This syndrome is characterized by a severe course of illness with pronounced clinical symptoms and an unfavorable prognosis. The primary clinical and laboratory characteristics of insulin resistance syndromes include the presence of acanthosis nigricans, a marked elevation in plasma insulin levels in the absence of obesity, androgen excess, and, in most cases, the emergence of NDM [3].

The heterogeneity of genetic mutations in NDM, the polymorphism of its clinical manifestations, and the wide spectrum of organ and system damage observed in syndromal forms necessitate the timely verification of the diagnosis using molecular genetic testing (MGT). This allows for the identification of the mechanism of cellular damage and personalization of the patient's treatment.

In our study, we have presented the results of the clinical, laboratory, instrumental, and molecular genetic examinations as well as treatment results of 14 patients with NDM associated with mutations in the *ABCC8*, *KCNJ11*, *GCK*, *GATA6*, *WFS1*, *CACNA1D*, *EIF2AK3*, *FOXP3*, *PAX4*, *INSR*, and *IGF1R* genes.

In this study, we aimed to improve the efficiency of NDM diagnosis by analyzing the anamnestic, clinical, laboratory, and molecular genetic characteristics of the patients.

## MATERIALS AND METHODS

A total of 14 patients with NDM were followed up at St. Petersburg's State Pediatric Medical University, which belongs to the Ministry of Health of Russia. Of the 14 patients, 5 (35.7%) were boys and 9 (64.3%) were girls. The age of the patients at the time of the study ranged from 2 months to 21 years, which corresponded to the follow-up period (mean age, 6 years).

A comprehensive examination of all the children was performed, and it encompassed an analysis of the anamnestic data (including age of manifestation and hereditary history), anthropometric measurements, and nutritional status of the newborns (using Fenton and INTERGROWTH 21 sex-based nomograms). Additionally, biochemical and hormonal blood analyses were performed (including estimation of insulin and c-peptide levels). The glucose levels were monitored using continuous flash monitoring systems.

MGT was conducted in 12 patients (85.7%) at the medical genetic laboratory of St. Petersburg State Pediatric Medical University, Department of Hereditary Endocrinopathies of the National Medical Center of Endocrinology, and Laboratory of prenatal diagnostics of hereditary and congenital human diseases of the D.O. Ott Research Institute of Obstetrics, Gynecology, and Reproductology, Russian Federation. The remaining two patients are currently undergoing MGT.

In a majority of the patients, MGT was performed via next generation sequencing (NGS) for mutations from the DM-hyperinsulinism targeting panel of 46 genes (*ABCC8*, *AKT2*, *ALMS1*, *ARMC5*, *BLK*, *CACNA1D*, *DIS3L2*, *EIF2AK3*, *FOXA2*, *GATA6*, *GCG*, *GCGR*, *GCK*, *GLIS3*, *GLUD1*, *GPC3*, *HADH*, *HNF1A*, *HNF1B*, *HNF4A*, *IGF1*, *IGF1R*, *INS*, *INSR*, *KCNJ11*, *KDM6A*, *LIPE*, *MC3R*, *MC4R*, *NEUROD1*, *NSD1*, *PAX4*, *PDX1*, *PGM1*, *PIK3CA*, *PPARG*, *PPP1R3A*, *PTF1A*, *RFX6*, *SH2B1*, *SIM1*, *SLC16A1*, *TUB*, *UCP2*, *WFS1*, and *ZFP57*).

In two children, MGT was performed via direct Sanger sequencing of individual genes (*GCK* and *KCNJ11*). In one patient with IPEX syndrome, targeted sequencing was performed using the primary immunodeficiency and hereditary anemias genetic panel, which encompasses 368 genes associated with persistent immune dysfunction. Furthermore, MGT was conducted in five parents from three families. The pathogenicity of mutations was assessed using international recommendations of the American College of Medical Genetics and Genomics and the Russian guidelines for NGS data interpretation [6].

All data were statistically analyzed using Statistica (version 10; StatSoft, USA). The data are presented as medians and lower and upper quartiles ( $Me$  [ $Q_1$ ,  $Q_3$ ]) or means and minimum (min) and maximum (max) values.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Anamnestic, clinical, and laboratory characteristics of the patients with NDM

In the study, four patients (28.6%) were diagnosed with TNDM, eight (57.1%) were diagnosed with PNDM, and two (aged 2 and 4 months) required insulin therapy. In three patients (21.4%), DM was associated with rare hereditary syndromes. The genealogical data of the patients with NDM are presented in Table 1.

Three patients (21.4%) exhibited aggravated heredity in the first and second line of descent (Table 1). The mother of patient 4 was diagnosed with gestational DM, and her cousin had type 1 DM. In patient 5, a homozygous mutation in the *GCK* gene was observed, and the monogenic DM form was verified in the father, mother, grandfather, and uncle on the father's side, as well as in the maternal grandmother. The parents of patient 7, who had previously been diagnosed with type 1 DM, possessed a heterozygous mutation in the *WFS1* gene, which was identical to that observed in the proband. Additionally, other relatives of the proband exhibited a history of DM as follows: maternal grandmother, type 2 DM without obesity; paternal aunt, type 2 DM being treated with oral antidiabetics; paternal cousin, type 1 DM.

In four families, DM was exclusively identified in second line relatives. Marriage between close relatives was noted in three families. Data on the hereditary nature of NDM in our study were similar to those of previous studies [14, 20].

The analysis of anamnestic data revealed an aggravated perinatal anamnesis of the following conditions: threat of pregnancy termination ( $n = 5$ , 35.7%), anemia ( $n = 1$ , 7.1%), exacerbation of chronic pyelonephritis ( $n = 1$ , 7.1%), and multiple pregnancy ( $n = 2$ , 14.3%). Two mothers had already been diagnosed with DM before the pregnancy, while one mother was diagnosed with gestational DM. Six (42.9%) children were born prematurely. The presence of adverse antenatal factors

**Table 1.** Genealogical data of patients with neonatal diabetes mellitus**Таблица 1.** Генеалогические данные пациентов с неонатальным сахарным диабетом

Patient No. / № пациента	Gene / Ген	Family history of diabetes in first-degree relatives / Отягощенная наследственность по сахарному диабету у родственников 1-й линии	Family history of diabetes in second-degree relatives / Отягощенная наследственность по сахарному диабету у родственников 2-й линии	Consanguineous marriage / Кровнородственный брак
1	<i>ABCC8</i>	—	+	—
2	<i>KCNJ11</i>	—	—	—
3	<i>KCNJ11</i>	—	—	—
4	<i>ABCC8 + GCK</i>	+	+	—
5	<i>GCK</i>	+	+	+
6	<i>GATA6</i>	—	—	—
7	<i>WFS1</i>	+	+	—
8	<i>EIF2AK3</i>	—	—	+
9	<i>CACNA1D + PAX4</i>	—	+	—
10	<i>FOXP3</i>	—	—	—
11	<i>INSR</i>	—	—	—
12	—	—	—	—
13	<i>IGF1R</i>	—	+	+
14	—	—	+	—

made it challenging to confirm the diagnosis due to the high prevalence of transient disorders of carbohydrate metabolism in the neonatal period.

Anthropometric data analyses revealed that four patients were born with a weight lower than the normal weight for their gestational ages. Two patients were born with a very low birth weight, and three were born with an extremely low birth weight. A weight deficit (below the 3rd percentile) was observed in seven newborns (50%), four of whom were born prematurely. Three patients exhibited signs of intrauterine growth retardation, which may be attributable to an intrauterine insulin deficiency [14, 20].

In 11 children (78.6%), the disease manifested during the first month of life. In the remaining three children (21.4%), a later onset was observed. The median age of NDM manifestation was 9 days of life (range, 1–52.5 days), with a minimum age of 1 day and a maximum age of 4 months. In 13 children, elevated glucose levels (mean,  $31.4 \pm 8.1$  mmol/L) were observed. The insulin and/or C-peptide levels were low in six patients (42.9%). The principal clinical and laboratory parameters of the patients are presented in Table 2.

### Neonatal diabetes mellitus

A total of 12 children (85.7%) exhibited a severe and unstable course of DM at the time of onset. Ultimately, 11 patients (78.6%) had to be transferred to the intensive care unit (ICU). The primary indication for admission to the ICU was the need for intensive metabolic

support. A majority of the children exhibited multiorgan damage, with involvement of the respiratory and central nervous systems, during the pathological process. One patient with NDM remained in the ICU for an extended period following surgical treatment for congenital heart disease.

The development of classic diabetic ketoacidosis was observed in only one patient with PNDM that was caused by a mutation in the *KCNJ11* gene. However, periodic appearance of ketones in the urine was noted in four children at the time of disease onset and during its course, while the acid-base status remained normal.

The development of diabetic ketoacidosis in children with NDM is not a typical occurrence due to antiketogenic effect as a result of excessive hyperglycemia and severe dehydration, as well as the distinctive metabolic processes in newborns [5]. Therefore, diabetic ketoacidosis should be differentiated from a hyperosmolar hyperglycemic state, which is characterized by the absence of ketosis and acidosis [19].

There have been a few reports \ ketoacidosis, including severe ketoacidosis in patients with NDM. In one patient from India with a homozygous variant in the *EIF2AK3* gene and a diagnosis of Walcott–Rallison syndrome, the onset of NDM was complicated by the development of diabetic ketoacidosis [30].

This demonstrates the need for a more comprehensive analysis of the underlying pathogenic mechanisms and the anti-ketogenic effect in this specific age group.

**Table 2.** Basic clinical and laboratory parameters of patients with neonatal diabetes mellitus  
**Таблица 2.** Основные клинические и лабораторные показатели пациентов с неонатальным сахарным диабетом

Parameter / Показатель	Patient No. / № пациента													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Age / Возраст	21 years / год	5 years / лет	12 years / лет	2 years / лет	10 years / лет	9 years / лет	6 years / лет	3 years / лет	1 year / год	1 year / год	2 months / лет	2 months / лет	2 months / лет	2 months / лет
Sex / Пол	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F	Ж / F
Gene / Ген	KCNJ11	KCNJ11	ABCC8 + GCK	GATA6	EIF2AK3	CACNA1D + PAX4	F0XP3	INSR	M	M	М	М	М	М
Variant in a gene / Варикант в гене	r.Arg1379His	c.4139G>A	c.133_135del	c.988T>C	p.Lys252Asn	c.1039C>T	c.1477C>T	c.1189G>A	p.Ya397Ile	c.1190G>T	c.3904A>T	c.3904A>T	c.3904A>T	c.3904A>T
								+ c.467A>G	p.Arg377Leu	p.Arg377Leu	p.Ser1302Cys	p.Ser1302Cys	p.Ser1302Cys	p.Ser1302Cys
								p.His156Arg						
Form of NDM / Форма НСД	TNDM / ТНСД	PNDM / ПНСД	TNDM / ТНСД	PNDM / ПНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД	TNDM / ТНСД
Gestational age, weeks / Гестационный возраст, нед.	38	—	39	29	37	36	24	38	36	38	40	25	41	36
Weight at birth, g / Масса при рождении, г	3000	—	2400	990	1800	1440	550	3100	1860	2840	1760	830	3610	1420
Length at birth, cm / Длина при рождении, см	51	—	50	38	43	44	28	49	45	51	45	31	53	38
Congenital defects and developmental anomalies / Врожденные пороки и аномалии развития	Yes / Да	No / Нет	No / Нет	No / Нет	Yes / Да	No / Нет	Yes / Да	Yes / Да	Yes / Да	Yes / Да	No / Нет	Yes / Да	Yes / Да	Yes / Да
Age of manifestation / Возраст манифестиации	3 months / 3 мес.	4 months / 4 мес.	2 months / 2 мес.	1 day / 1 сут	2 days / 2 сут	5 days / 5 сут	3 months / 3 мес.	13 days / 13 сут	1 day / 1 сут	1 month / 1 мес.	1 day / 1 сут	1 month / 1 мес.	1 day / 1 сут	1 day / 1 сут
Max indicator of glucose, mmol/l / Максимальный показатель глюкозы, ммоль/л	29.0	26.3	27.0	31.0	35.7	27.0	37.5	30.0	52.0	35.0	30.0	15.4	35.5	27.9
Insulin, μU/ml / Инсулин, мкМЕ/мл (N 1,9–10,0)	—	—	2.0	3.5	—	6.08	1.55	—	—	—	>302.0	—	—	—
C-peptide ng/ml / С-пептид, нг/мл (N 0,5–3,2)	0.8	0.1	0.2	2.6	1.2	2.18–4.64	0.3	0.2	0.6–3.53	0.1–3.53	>16.0	—	0.90–0.85	1.90

Note. TNDM — transient neonatal diabetes mellitus; PNDM — permanent neonatal diabetes mellitus.  
Примечание. ТНСД — транзиторный неонатальный сахарный диабет; ПНСД — перманентный неонатальный сахарный диабет.

## Molecular genetic characteristics of the patients with NDM

The MGT of the 12 patients (85.7%) revealed 14 different mutations in the following causative genes: *ABCC8*, *KCNJ11*, *GCK*, *GATA6*, *WFS1*, *CACNA1D*, *EIF2AK3*, *FOXP3*, *PAX4*, *INSR*, and *IGF1R*. Two patients exhibited paired mutations in two distinct genes in the DM-hyperinsulinism target panel. In three pediatric patients (patients 8, 10, 11) with mutations in the *EIF2AK3*, *FOXP3*, and *INSR* genes, syndromal forms of NDM were identified. Two additional patients (patients 12 and 14) are currently undergoing molecular genetic confirmation. The molecular and genetic characteristics of the patients with NDM are presented in Table 3.

Activation of mutations in the genes that encode ATP-dependent K<sup>+</sup> channels (*KCNJ11* and *ABCC8*) were identified in four patients. Two children (patients 2 and 3) with permanent forms of NDM exhibited mutations in the *KCNJ11* gene. One deletion and one missense mutation were identified as the possible pathology. Two additional probands with the transient form of NDM exhibited missense mutations in the *ABCC8* gene. A child with TNDM, which was caused by a pathogenic mutation in the causative gene (patient 1), experienced a relapse in DM at the age of 12 years after a prolonged clinical and laboratory remission. However, another child (patient 4), who had a previously undescribed missense mutation of uncertain clinical significance and a *GCK* gene mutation, exhibited clinical and laboratory remission.

The observed diversity of phenotypes, including the occurrence of TNDM and transient forms, is likely attributable to the varying degrees of gene expression. Most authors have suggested that there is a high risk of relapse in TNDM after prolonged clinical and laboratory remission, a phenomenon that was observed in our patient [5, 9].

In our study, there was one familial case of DM associated with a *GCK* gene mutation (patient 5). A homozygous inactivating mutation, p.Q347X (p.1039C>T), was identified in the proband, which resulted in the development of PNDM. A similar heterozygous mutation was identified in the proband's mother, father, and maternal grandmother, indicating an autosomal dominant mode of inheritance. The child's mother and father are closely related. The proband's mother, father, and maternal grandmother were diagnosed with diabetes mellitus at an older age of 17, 32, and 26 years, respectively. The proband's mother and grandmother are being treated with an insulin regimen comprising basal and bolus doses, whereas the diabetes in the father and his relatives is being managed through dietary adjustments.

The have been numerous reports of heterozygous mutations in the *GCK* gene that can cause MODY2-type diabetes. Large cohort studies conducted in different countries have demonstrated that MODY2-type is the most

prevalent monogenic form of DM (incidence, 32%–77.5%), with a ranking of first or second [7, 26].

Homozygous and compound heterozygous inactivating mutations in the *GCK* gene are relatively uncommon. However, analogous cases of NDM associated with gene mutations have been documented. In one study in Oman, seven children with PNDM that was caused by the c.292C>T and c.781G>A mutations in the *GCK* gene were identified. The c.292C>T mutation was identified in five related probands [12].

A rare heterozygous pathogenic mutation, c.1477C>T (p. Arg493\*), was identified in patient 6 with PNDM, congenital heart disease (aortic stenosis at the isthmus, patent ductus arteriosus, and patent foramen ovale), inguinal hernia, and congenital hypothyroidism. This mutation leads to the formation of a stop codon. MGT of the proband's parents revealed the absence of analogous mutations in the *GATA6* gene, indicating the occurrence of a de novo mutation. The anamnesis revealed that the girl was born prematurely with a low birth weight and exhibited intrauterine growth retardation. Previous studies have also demonstrated low body weight and stunting, including at birth, in patients with *GATA6* gene mutations [21, 33]. In addition to NDM, the child exhibited signs of exocrine insufficiency. A multispiral computed tomography of the abdominal cavity revealed gallbladder aplasia and pancreatic hypoplasia. The child is currently being treated with an insulin pump and enzymes.

In addition to DM, mutations in the *GATA* family genes are associated with the formation of congenital heart defects, pancreatic malformations, hepatobiliary abnormalities, and other pathologies, including endocrine pathologies (e.g., stunting, and hypothyroidism). *De novo* mutations are more frequently observed in patients with NDM and pancreatic agenesis than in patients with mutations inherited from parents [33]. In general, extrapancreatic manifestations in patients with *GATA6* gene mutations account for approximately 3% of NDM cases and > 50% of pancreatic aplasia cases [17].

A heterozygous missense mutation, c.2327A>T (p.Glu776Val), in the *WFS1* gene was found in patient 7 who had TNDM. Given the aggravated heredity, MGT was performed in the other family members. The proband's mother exhibited a similar *WFS1* gene mutation. It was not observed in any other family member. During the study, no additional characteristic symptoms of Wolfram syndrome were identified in the patient. However, given the stage of manifestation of the syndrome components, the child requires careful, dynamic observation.

Several authors have documented instances of isolated diabetes in members of multiple families with *WFS1* gene mutations. In a study of 408 patients with childhood-onset DM who required insulin therapy, *WFS1* gene mutations were identified in 22 probands (4.2%), with a higher prevalence observed in patients from

**Table 3.** Molecular genetic characteristics of patients with neonatal diabetes mellitus**Таблица 3.** Молекулярно-генетическая характеристика пациентов с неонатальным сахарным диабетом

Patient No. / № пациента	Gene / Ген	Nucleotide / Нуклеотид (положение в кДНК)	Amino acid replacement / Замена аминокислоты	Genotype / Генотип	Type of variant / Тип варианта	Description in the literature "+"/-" / Описание в литературе «+»/«-»	Allele frequency (by gnomAD*) / Частота аллеля (по gnomAD*)	Clinical significance of ACMG variants / Клиническая значимость вариантов по ACMG
1	<i>ABCC8</i>	c.4136G>A	p.Arg1379His	Heterozygote / Гетерозигота	Missense / Миссенс	+	0.00001	Pathogenic / Патогенный
2	<i>KCNJ11</i>	c.133_135del	p.Ala45del	Heterozygote / Гетерозигота	Deletion, no frameshift / Делекция, без сдвига рамки	-	-	-
3	<i>KCNJ11</i>	c.988T>C	p.Tyr330His	Heterozygote / Гетерозигота	Missense / Миссенс	+	-	Likely pathogenic / Вероятно патогенный
4	<i>GCK</i> + <i>ABCC8</i>	c.483+26C>A c.756G>C	p.Lys252Asn	Heterozygote / Гетерозигота	Intron / Инtron	+	0.00048	Likely benign / Вероятно доброкачественный Uncertain significance / Неопределенная значимость
5	<i>GCK</i>	c.1039C>T	p.Gln347	Homozygous / Гомозигота	Nonsense / Нонсенс	+	0.00019	Pathogenic / Патогенный
6	<i>GATA6</i>	c.1477C>T	p.Arg493*	Heterozygote / Гетерозигота	Nonsense / Нонсенс	+	-	Pathogenic / Патогенный
7	<i>WFS1</i>	c.2327A>T	p.Glu776Val	Heterozygote / Гетерозигота	Missense / Миссенс	+	-	Benign / Доброкачественный
8	<i>EIF2AK3</i>	c.1912C>T	p.Arg638*	Homozygous / Гомозигота	Nonsense / Нонсенс	+	-	Likely pathogenic / Вероятно патогенный
9	<i>CACNA1D</i> + <i>PAX4</i>	c.1189G>A c. 467A>G:	p.Val397Ile .His156Arg	Heterozygote / Гетерозигота	Missense / Миссенс	+	0.00003	Uncertain significance / Неопределенная значимость Uncertain significance / Неопределенная значимость
10	<i>FOXP3</i>	c.1190G>T	p.Arg397Leu	Homozygous / Гомозигота	Missense / Миссенс	+	-	Likely pathogenic / Вероятно патогенный
11	<i>INSR</i>	c.G839A	p.Cys280Tyr	Homozygous / Гомозигота	Missense / Миссенс	+	-	Likely pathogenic / Вероятно патогенный
13	<i>IGF1R</i>	c.3904A>T	p.Ser1302Cys	Heterozygote / Гетерозигота	Missense / Миссенс	-	-	Uncertain significance / Неопределенная значимость

consanguineous marriages [34]. A previous study has also demonstrated the presence of a *WFS1* gene mutation in patients with classic Wolfram syndrome [16]. Mutations in the *WFS1* gene can manifest in numerous ways, from isolated forms with a single component to Wolfram syndrome, a severe and progressive disease with autosomal recessive inheritance. Wolfram syndrome is characterized by diabetes insipidus, non-sugar diabetes, optic atrophy, and sensorineural hearing loss. It can lead to severe degenerative disorders that result in respiratory failure of central genesis, brainstem atrophy, and renal failure [16].

A biallelic (homozygous) mutation, c.1912C>T (p.Arg638\*), in the *EIFAK3* gene was identified in patient 8. This mutation is responsible for the development of PNDM in a patient with Walcott–Rallison syndrome, a rare genetic disease. The parents, who are closely related, also underwent an MGT, which revealed a similar heterozygous *EIFAK3* mutation in both parents. In such patients, the substitution of p.Arg638\* in the gene's coding region results in the formation of a stop codon at the 638th position. Although the female infant (patient 8) in our study was born at term with a normal weight (3100 g) and body length (49 cm), she exhibited a disproportionate physique that was characterized by a moderate shortening of the upper and lower extremities. In this patient, the DM and respiratory viral infection manifested acutely, at the age of three months. The clinical manifestations of the Walcott–Rallison syndrome, including skeletal dysplasia, stunting, and growth SDS ( $-3.1$ ), became apparent at approximately two years of age. A delay in psycho-verbal development and chronic hepatitis with marked hyperfermentemia (ALT, 4164.4 mU/L and LDH, 2275 U/L) were also observed in the patient. Furthermore, the DM course was unstable, with episodes of severe hypoglycemia.

There have been several single reports of the disease, which differ in terms of components and the age of their manifestation. In addition to DM, chronic hepatitis, including acute liver failure, renal failure, exocrine pancreatic dysfunction, anemia, and neutropenia are frequently observed in this disease. Furthermore, there have been reports of stunting, severe delay in psychomotor development, and cerebellar ataxia. Biallelic mutations in the *EIF2AK3* gene are the underlying cause of this rare autosomal recessive syndrome [31].

A rare combination of two missense mutations of uncertain significance, c. 467A>G (p.His156Arg) in the *PAX4* gene and c.1189G>A (p.Val397Ile) in the *CACNA1D* gene, was identified in a patient with PNDM and congenital neurosensory hearing loss. This male infant (patient 9) was born at 36 weeks of gestation with a low for gestational age birth weight. The NDM manifested on day 13 of life. It was labile and required prolonged intravenous insulin injections. Subsequently, he was transitioned to a subcutaneous insulin injection regimen via an insulin pump.

Presently, the need for insulin is discernible in instances of concurrent illnesses or dietary irregularities.

Since the early 2000s, there have been numerous studies on the function of the *PAX4* and *CACNA1D* genes, including their association with carbohydrate metabolism disorders. In 2007, the initial findings of a study examining the correlation between pathogenic *PAX4* gene mutations and onset of MODY-type DM, subsequently named as MODY, were published [27]. Individual cases of MODY9 in children and young adults have been documented. The youngest reported case of MODY9 in China is a 19-month-old male with a heterozygous missense mutation (c.487>T) in exon 7 of the *PAX4* gene [35]. The precise role of the *CACNA1D* gene in the pathogenesis of carbohydrate metabolism disorders remains to be elucidated. This gene reportedly encodes L-type calcium channels, which are essential for the functioning of pancreatic β-cells. Thus, the potential association between *CACNA1D* gene mutations and the development of type-2 DM is currently being investigated. Numerous studies have already evaluated the association between *CACNA1D* gene mutations and the development of congenital hyperinsulinism, degenerative diseases of the nervous system, epilepsy, autism spectrum disorders, and hearing impairment [29]. However, there have been no reports of NDM associated with c.467A>G (p.His156Arg) mutation in the *PAX4* gene and/or c.1189G>A (p.Val397Ile) mutation in the *CACNA1D* gene.

A hemizygous missense mutation, c.1190G>T (p.Arg397Leu), was identified in a patient's *FOXP3* gene, which is located in the DNA-binding C-terminal forkhead domain. This mutation was observed in patient 10 and was determined to be pathogenic by the primary predictive programs. A similar mutation in the causative gene was identified in the proband's mother. From the first day of life, the child exhibited hyperglycemia, with blood glucose levels reaching a peak of 33.6 mmol/L. Additionally, metabolic acidosis was observed. The hyperglycemia was accompanied by glucosuria (up to 2000 mg/dL) and moderate ketonuria (1.5 mmol/L). The patient was diagnosed with NDM. Further examination revealed a severe autoimmune enteropathy with autoimmune thyroiditis, specific skin lesions, anemia, and eosinophilia. The child was also diagnosed with congenital primary immunodeficiency. The autoimmune nature of DM and autoimmune thyroiditis were corroborated by the findings of the immunologic study. The concentration of antibodies against TPO and GAD were 243.9 Med/mL (normal range, 0–30) and 1.29 U/mL (normal range, 0.0–1.0), respectively. Antibodies against ICA were also present (normal range, 0.0–1.0). Considering the presence of autoimmune thyroiditis, severe enteropathy, primary immunodeficiency, and pronounced eosinophilia in a child with NDM, IPEX syndrome was considered. The MGT findings confirmed the diagnosis [11].

Till date, over 70 pathogenic mutations of the *FOXP3* gene have been identified. *FOXP3* is a transcription factor that affects the activity of regulatory T cells, which are responsible for maintaining autotolerance. Consequently, mutations in this gene can lead to the development of multiple autoimmune diseases and severe primary immunodeficiency. In severe cases, this can cause septic complications and even death [5, 15, 22]. This was observed in our patient.

A pathogenic homozygous variant of the *INSR* gene, c.G839A: p.c280y (HGMD: CH010893), which has been previously described in insulin resistance type A [3], was located in exon 3 of the β-subunit of the insulin receptor. This variant was identified in patient 11, who had been diagnosed with Donohue syndrome. From birth, the child exhibited multiple developmental microanomalies, including macrocephaly, disproportionate physique, limb shortening, muscular hypotrophy, acanthosis nigricans, hypertrichosis (pubic and axillary hair), telarche, macrogentialism, and hypertrophied clitoris. Furthermore, an umbilical hernia and a permanent repositionable rectal prolapse were also observed. Pronounced signs of facial dysmorphism, which have been described as "elfin-like facies" (high forehead, large protruding eyes, wide back of the nose, wide nostrils, and gingival hyperplasia), were also noted. A multispiral computed tomography revealed a congenital heart defect (pulmonary artery valve stenosis) and multifollicular ovaries.

From the first month of life, the patient exhibited hyperglycemia, necessitating the initiation of insulin therapy. Subsequent data from a blood hormonal study revealed prohibitively high levels of insulin and C-peptide. The insulin levels exceeded 302.0 μIU/mL (normal range, 2.0–25.0) and the C-peptide levels exceeded 16.0 ng/mL (normal range, 0.5–3.2). Glycemic monitoring demonstrated considerable variability in the blood glucose levels with a proclivity for hypoglycemia (range, 1.7–22.0 mmol/L). Subsequently, the child was transitioned to biguanides, which resulted in the stabilization of blood glucose levels within the target range.

Our study results confirm those of previous studies, which have demonstrated that biallelic mutations in the α- and/or β-subunits of the *INSR* gene are associated with a severe polymorbid course and poor prognosis [3, 10].

Another rare, previously undescribed, heterozygous mutation [HG38, chr15:98957242A>T, c.3904A>T (p.Ser1302Cys); NM\_000875.5] in the *IGF1R* gene was identified in patient 13 who was diagnosed with NDM and congenital hypothyroidism. This mutation's clinical significance is considered to be uncertain according to the major genetic prediction databases. Currently, there is evidence indicating a correlation between *IGF1R* gene mutations and both intrauterine and postnatal growth retardation, as well as an increased risk of developing

cancer. Reports on carbohydrate metabolism disorders associated with *IGF1R* gene mutations are predominantly in the form of single clinical observations [18]. A review of the literature revealed no data on the development of NDM in patients with *IGF1R* gene mutations.

## CONCLUSIONS

A majority of the study participants exhibited isolated NDM (78.6%). In three children, the disease was associated with a hereditary syndrome. We found that the clinical heterogeneity of NDM is determined by several factors. Among these, genetics is the most significant factor, and it determines the diversity of phenotypes. In our study, MGT identified 14 distinct variants in the causative genes. However, the role of novel *CACNA1D* and *IGF1R* gene mutations in the development of NDM remains poorly understood and requires further investigation. Our study findings indicate that early verification of the NDM form via molecular genetic analysis allows for the determination of the pathogenetic mechanisms of the disease that induce carbohydrate metabolism disruption. This, in turn, will enable the development of a personalized treatment plan, prediction of the disease course, and prevention of severe complications.

## ADDITIONAL INFO

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Acknowledgement.** The authors are grateful to all responsible employees and specialists who conducted molecular genetic study at the National Research Center for Endocrinology (Moscow) and D.O. Ott Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology (St. Petersburg), patients and their relatives.

**Funding source.** Molecular genetic research was carried out, among other things, within the framework of the Alfa-Endo program with the financial support of Alfa Group and the KAF Foundation.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность всем сотрудникам и специалистам, проводившим молекулярно-генетическое исследование в ГНЦ РФ ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России (Москва) и ФГБНУ «НИИ АГАР им. Д.О. Отта» (Санкт-Петербург), пациентам и их родственникам.

**Вклад авторов.** Все авторы внесли равный существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Молекулярно-генетическое исследование выполнено в том числе в рамках программы «Альфа-Эндо» при финансовой поддержке «Альфа-Групп» и фонда «КАФ».

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

## REFERENCES

1. Peterkova VA, editor. *Diabetes mellitus in children and adolescents: ISPAD consensus on clinical practice: 2014*. Translated from English. Moscow: GEOTAR-Media; 2016. 656 p. (In Russ.)
2. Ivanov DO, Atlasov VO, Bobrov SA, et al. *Manual of Perinatology*. Ed. by Ivanov DO. Saint Petersburg: Inform-Navigator; 2015. 1214 p. (In Russ.)
3. Ivanov DO, Taits AN, Ditkovskaya LV, et al. Neonatal diabetes mellitus and polycystic ovaries in a child with severe insulin resistance caused by a variant in the *INSR* gene. Description of the clinical case. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2022;13(5):109–119. EDN: KEHQED doi: 10.17816/PED135109-119 (In Russ.)
4. Kuznetsova AI, Boboshko IE, Zhdanova LA, Kim AV. Features of the health status of newborns from women with compensated gestational diabetes mellitus. *Medicine and Health Care Organization*. 2021;6(4):24–32. EDN: PHERVW
5. Kuraeva TL, Emelyanov AO. Clinical and genetic heterogeneity of neonatal diabetes mellitus. *Diabetes Mellitus*. 2009;12(3):10–15. EDN: PFAGHB doi: 10.14341/2072-0351-5445
6. Ryzhkova OP, Kardymon OL, Prokhorchuk EB, et al. Guidelines for the interpretation of massive parallel sequencing variants. *Medical Genetics*. 2017;16(7):4–17. EDN: ZJTGDR
7. Sechko EA, Kuraeva TL, Zilberman LI, et al. Non-immune diabetes mellitus in children due to heterozygous mutations in the glucokinase gene (GCK-MODY): data of 144 patients. *Diabetes Mellitus*. 2022;25(2):145–154. EDN: VRYALM doi: 10.14341/DM12819
8. Strukov EL, Pokhlebkina AA. Diabetes. Some modern epidemiological, genetic and ontogenetic aspects. *University Therapeutic Journal*. 2020;2(3):42–48. EDN: SBZZOL
9. Tikhonovich YuV, Petryalkina EE, Rybkina IG, et al. Severe diabetic ketoacidosis in a patient with a relapse of neonatal diabetes mellitus. *Pediatrics Journal named after G.N. Speransky*. 2019;98(3):293–304. EDN: WWWXON doi: 10.24110/0031-403X-2019-98-3-293-296
10. Tikhonovich YuV, Malievsky OA, Tyulpakov AN. Description of the first genetically confirming case with Donahue's syndrome in Russia. *Problems of Endocrinology*. 2016;62(2):42–45. EDN: VZDJHH doi: 10.14341/probl201662242-45
11. Turkunova ME, Ditkovskaya LV, Suspitsin EN, et al. Neonatal diabetes mellitus in the structure of IPEX syndrome. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2017;8(2):99–104. EDN: YPSABV doi: 10.17816/PED8299-104
12. Al Senani A, Hamza N, Al Azkawi H, et al. Genetic mutations associated with neonatal diabetes mellitus in Omani patients. *J Pediatr Endocrinol Metab*. 2018;31(2):195–204. doi: 10.1515/jpem-2017-0284
13. Ashcroft FM, Puljung MC, Vedovato N. Neonatal diabetes and the KATP channel: from mutation to therapy. *Trends Endocrinol Metab*. 2017;28(5):377–387. doi: 10.1016/j.tem.2017.02.003
14. Dahl A, Kumar S. Recent advances in neonatal diabetes. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2020;13:355–364. doi: 10.2147/DMSO.S198932
15. De Benedetti F, Insalaco A, Diamanti A, et al. Mechanistic associations of a mild phenotype of immunodysregulation, polyendocrinopathy, enteropathy, X-Linked syndrome. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2006;(4):653–659. doi: 10.1016/j.cgh.2005.12.014
16. Du D, Tuhuti A, Ma Y, et al. Wolfram syndrome type 1: a case series. *Orphanet J Rare Dis*. 2023;18(1):359. doi: 10.1186/s13023-023-02938-5
17. Ellard S, De Franco ED. Next-generation sequencing for the diagnosis of monogenic diabetes and discovery of novel aetiologies. In: Front diabetes. *Genetics diabetes: type 2 diabetes and related traits*. Basel: Karger. 2014;23:71–86.
18. Fang P, Cho YH, Derr MA, et al. Severe short stature caused by novel compound heterozygous mutations of the insulin-like growth factor 1 receptor (IGF1R). *J Clin Endocrinol Metab*. 2012;97(2):E243–E247. doi: 10.1210/jc.2011-2142
19. Glaser N, Fritsch M, Priyambada L, et al. ISPAD clinical practice consensus guidelines 2022: Diabetic ketoacidosis and hyperglycemic hyperosmolar state. *Pediatr Diabetes*. 2022;23(7):835–856. doi: 10.1111/pedi.13406
20. Greeley SAW, Polak M, Njølstad PR, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: The diagnosis and management of monogenic diabetes in children and adolescents. *Pediatr Diabetes*. 2022;23(8):1188–1211. doi: 10.1111/pedi.13426
21. Hammoud B, Greeley SAW. Growth and development in monogenic forms of neonatal diabetes. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2022;29(1):65–77. doi: 10.1097/MED.0000000000000699
22. Kirchner A, Sanchez IM, Zalan A, et al. Identification of a novel variant of FOXP3 resulting in severe immune dysregulation, polyendocrinopathy, enteropathy, X-linked syndrome highlights potential pitfalls of molecular testing. *Pediatr Dermatol*. 2022;39(3):483–485. doi: 10.1111/pde.14936
23. Mameli C, Cazzola R, Spaccini L, et al. Neonatal diabetes in patients affected by Liang–Wang syndrome carrying KCNMA1 Variant p. (Gly375Arg) suggest a potential role of  $\text{Ca}^{2+}$  and voltage-activated  $\text{K}^+$  channel activity in human insulin secretion. *Curr Issues Mol Biol*. 2021;43(2):1036–1042. doi: 10.3390/cimb43020073
24. Mouler M, Lebenthal Y, de Vries L, et al. Clinical characteristics, growth patterns, and long-term diabetes complications of 24 patients with neonatal diabetes mellitus: A single center experience. *Pediatr Diabetes*. 2022;23(1):45–54. doi: 10.1111/pedi.13295
25. Nicolaides NC, Kanaka-Gantenbein C, Papadopoulou-Markeou N, et al. Emerging technologies in pediatrics: the paradigm of neonatal diabetes mellitus. *Crit Rev Clin Lab Sci*. 2020;57(8):522–531. doi: 10.1080/10408363.2020.1752141

- 26.** Nkonge KM, Nkonge DK, Nkonge TN. The epidemiology, molecular pathogenesis, diagnosis, and treatment of maturity-onset diabetes of the young (MODY). *Clin Diabetes Endocrinol.* 2020;6(1):20. doi: 10.1186/s40842-020-00112-5
- 27.** Plengvidhya N, Kooptiwut S, Songtawee N, et al. PAX4 mutations in Thais with maturity onset diabetes of the young. *J Clin Endocrinol Metab.* 2007;92(7):2821–2826. doi: 10.1210/jc.2006-1927
- 28.** Rabbone I, Barbetti F, Gentilella R, et al. Insulin therapy in neonatal diabetes mellitus: a review of the literature. *Diabetes Res Clin Pract.* 2017;129:126–135. doi: 10.1016/j.diabres.2017.04.007
- 29.** Reinbothe TM, Alkayyali S, Ahlvist E, et al. The human L-type calcium channel Cav1.3 regulates insulin release and polymorphisms in *CACNA1D* associate with type 2 diabetes. *Diabetologia.* 2013;56(2):340–349. doi: 10.1007/s00125-012-2758-z
- 30.** Sreeramaneni PGA, Ambula SRV. Ketoacidosis in neonatal diabetes mellitus, part of wolcott-rallison syndrome. *Am J Case Rep.* 2017;18:719–722. doi: 10.12659/ajcr.902804
- 31.** Rubio-Cabezas O, Patch AM, Minton JA, et al. Wolcott–Rallison syndrome is the most common genetic cause of permanent neonatal diabetes in consanguineous families. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009;94(11):4162–4170. doi: 10.1210/jc.2009-1137
- 32.** Xu A, Lin Y, Sheng H, et al. Molecular diagnosis of maturity-onset diabetes of the young in a cohort of Chinese children. *Pediatr Diabetes.* 2020;21(3):431–440. doi: 10.1111/pedi.12985
- 33.** Yue X, Luo Y, Wang J, Huang D. Monogenic diabetes with GATA6 mutations: characterization of a novel family and a comprehensive analysis of the GATA6 clinical and genetics traits. *Mol Biotechnol.* 2024;66(3):467–474. doi: 10.1007/s12033-023-00761-8
- 34.** Zalloua PA, Azar ST, Delépine M, et al. WFS1 mutations are frequent monogenic causes of juvenile-onset diabetes mellitus in Lebanon. *Hum Mol Genet.* 2008;17(24):4012–4021. doi: 10.1093/hmg/ddn304
- 35.** Zhang D, Chen C, Yang W, et al. C.487C>T mutation in PAX4 gene causes MODY9: A case report and literature review. *Medicine (Baltimore).* 2022;101(51): e32461. doi: 10.1097/MD.00000000000032461

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сахарный диабет у детей и подростков: консенсус ISPAD по клинической практике: 2014 год / пер. с англ. под ред. В.А. Петерковой. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 656 с.
- Иванов Д.О., Атласов В.О., Бобров С.А., и др. Руководство по перинатологии / под ред. Д.О. Иванова. Санкт-Петербург: Информ-Навигатор, 2015. 1214 с.
- Иванов Д.О., Тайц А.Н., Дитковская Л.В., и др. Неонатальный сахарный диабет и поликистоз яичников у ребенка с тяжелой инсулинорезистентностью, обусловленной вариантом в гене *INSR*. Описание клинического случая // Педиатр. 2022. Т. 13, № 5. С. 109–119. EDN: KEHQED doi: 10.17816/PED135109-119
- Кузнецова А.И., Бобошко И.Е., Жданова Л.А., Ким А.В. Особенности состояния здоровья новорожденных от женщин с компенсированным гестационным сахарным диабетом // Медицина и организация здравоохранения. 2021. Т. 6, № 4. С. 24–32. EDN: PHERVV
- Кураева Т.Л., Емельянов А.О. Клиническая и генетическая гетерогенность неонатального сахарного диабета // Сахарный диабет. 2009. Т. 12, № 3. С. 10–15. EDN: PFAGHB doi: 10.14341/2072-0351-5445
- Рыжкова О.П., Кардымон О.Л., Прохорчук Е.Б., и др. Руководство по интерпретации данных, полученных методами массового параллельного секвенирования (MPS) // Медицинская генетика. 2017. Т. 16, № 7. С. 4–17. EDN: ZJTGDR
- Сечко Е.А., Кураева Т.Л., Зильберман Л.И., и др. Неиммунный сахарный диабет у детей, обусловленный гетерозиготными мутациями в гене глюкокиназы (GCK-MODY): анализ данных 144 пациентов // Сахарный диабет. 2022. Т. 25, № 2. С. 145–154. EDN: VRYALM doi: 10.14341/DM12819
- Струков Е.Л., Похлебкина А.А. Сахарный диабет. Некоторые современные эпидемиологические, генетические и онтогенетические аспекты // University therapeutic journal. 2020. Т. 2, № 3. С. 42–48. EDN: SBZZOL
- Тихонович Ю.В., Петряйкина Е.Е., Рыбкина И.Г., и др. Тяжелый диабетический кетоацидоз у пациентки с рецидивом неонатального сахарного диабета // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2019. Т. 98, № 3. С. 293–304. EDN: WWWXON doi: 10.24110/0031-403X-2019-98-3-293-296
- Тихонович Ю.В., Малиевский О.А., Тюльпаков А.Н. Синдром Донахью. Описание клинического случая и краткий обзор литературы // Проблемы эндокринологии. 2016. Т. 62, № 2. С. 42–45. EDN: VZDJH doi: 10.14341/probl201662242-45
- Туркунова М.Е., Дитковская Л.В., Суспицын Е.Н., и др. Неонатальный сахарный диабет в структуре IPEx-синдрома // Педиатр. 2017. Т. 8, № 2. С. 99–104. EDN: YPSABV doi: 10.17816/PED8299-104
- Al Senani A., Hamza N., Al Azkawi H., et al. Genetic mutations associated with neonatal diabetes mellitus in Omani patients // J Pediatr Endocrinol Metab. 2018. Vol. 31, N. 2. P. 195–204. doi: 10.1515/jpem-2017-0284
- Ashcroft F.M., Puljung M.C., Vedovato N. Neonatal diabetes and the KATP channel: from mutation to therapy // Trends Endocrinol Metab. 2017. Vol. 28, N. 5. P. 377–387. doi: 10.1016/j.tem.2017.02.003
- Dahl A., Kumar S. Recent advances in neonatal diabetes // Diabetes Metab Syndr Obes. 2020. Vol. 13. P. 355–364. doi: 10.2147/DMSO.S198932
- De Benedetti F., Insalaco A., Diamanti A., et al. Mechanistic associations of a mild phenotype of immunodysregulation, polyendocrinopathy, enteropathy, X-Linked syndrome // Clin Gastroenterol Hepatol. 2006. N. 4. P. 653–659. doi: 10.1016/j.cgh.2005.12.014
- Du D., Tuhuti A., Ma Y., et al. Wolfram syndrome type 1: a case series // Orphanet J Rare Dis. 2023. Vol. 18, N. 1. P. 359. doi: 10.1186/s13023-023-02938-5
- Ellard S. De Franco E.D. Next-generation sequencing for the diagnosis of monogenic diabetes and discovery of novel aetiologies. В кн.: Front Diabetes. Genetics Diabetes: Type 2 Diabetes and Related Traits. Basel: Karger. 2014. Vol. 23. P. 71–86.
- Fang P., Cho Y.H., Derr M.A., et al. Severe short stature caused by novel compound heterozygous mutations of the insulin-like growth factor 1 receptor (IGF1R) // J Clin Endocrinol Metab. 2012. Vol. 97, N. 2. P. E243–E247. doi: 10.1210/jc.2011-2142
- Glaser N., Fritsch M., Priyambada L., et al. ISPAD clinical practice consensus guidelines 2022: Diabetic ketoacidosis and hyperglycemic hyperosmolar state // Pediatr Diabetes. 2022. Vol. 23, N. 7. P. 835–856. doi: 10.1111/pedi.13406

- 20.** Greeley S.A.W., Polak M., Njølstad P.R., et al. ISPAD clinical practice consensus guidelines 2022: The diagnosis and management of monogenic diabetes in children and adolescents // *Pediatr Diabetes*. 2022. Vol. 23, N. 8. P. 1188–1211. doi: 10.1111/pedi.13426
- 21.** Hammoud B., Greeley S.A.W. Growth and development in monogenic forms of neonatal diabetes // *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2022. Vol. 29, N. 1. P. 65–77. doi: 10.1097/MED.0000000000000699
- 22.** Kirchner A., Sanchez I.M., Zalan A., et al. Identification of a novel variant of FOXP3 resulting in severe immune dysregulation, polyendocrinopathy, enteropathy, X-linked syndrome highlights potential pitfalls of molecular testing // *Pediatr Dermatol*. 2022. Vol. 39, N. 3. P. 483–485. doi: 10.1111/pde.14936
- 23.** Mameli C., Cazzola R., Spaccini L., et al. Neonatal diabetes in patients affected by Liang–Wang Syndrome carrying KCNMA1 variant p. (Gly375Arg) suggest a potential role of  $\text{Ca}^{2+}$  and voltage-activated  $\text{K}^+$  channel activity in human insulin secretion // *Curr Issues Mol Biol*. 2021. Vol. 43, N. 2. P. 1036–1042. doi: 10.3390/cimb43020073
- 24.** Mouler M., Lebenthal Y., de Vries L., et al. Clinical characteristics, growth patterns, and long-term diabetes complications of 24 patients with neonatal diabetes mellitus: A single center experience // *Pediatr Diabetes*. 2022. Vol. 23, N. 1. P. 45–54. doi: 10.1111/pedi.13295
- 25.** Nicolaides NC., Kanaka-Gantenbein C., Papadopoulou-Marketou N., et al. Emerging technologies in pediatrics: the paradigm of neonatal diabetes mellitus // *Crit Rev Clin Lab Sci*. 2020. Vol. 57, N. 8. P. 522–531. doi: 10.1080/10408363.2020.1752141
- 26.** Nkonge K.M., Nkonge D.K., Nkonge T.N. The epidemiology, molecular pathogenesis, diagnosis, and treatment of maturity-onset diabetes of the young (MODY) // *Clin Diabetes Endocrinol*. 2020. Vol. 6, N. 1. P. 20. doi: 10.1186/s40842-020-00112-5
- 27.** Plengvidhya N., Kooptiwut S., Songtawee N., et al. PAX4 mutations in Thais with maturity onset diabetes of the young // *J Clin Endocrinol Metab*. 2007. Vol. 92, N. 7. P. 2821–2826. doi: 10.1210/jc.2006-1927
- 28.** Rabbone I., Barbetti F., Gentilella R., et al. Insulin therapy in neonatal diabetes mellitus: a review of the literature // *Diabetes Res Clin Pract*. 2017. Vol. 129. P. 126–135. doi: 10.1016/j.diabres.2017.04.007
- 29.** Reinbothe T.M., Alkayyali S., Ahlgqvist E., et al. The human L-type calcium channel Cav1.3 regulates insulin release and polymorphisms in *CACNA1D* associate with type 2 diabetes // *Diabetologia*. 2013. Vol. 56, N. 2. P. 340–349. doi: 10.1007/s00125-012-2758-z
- 30.** Seeramaneni P.G.A., Ambula S.R.V. Ketoacidosis in neonatal diabetes mellitus, part of wolcott-rallison syndrome // *Am J Case Rep*. 2017. Vol. 18. P. 719–722. doi: 10.12659/ajcr.902804
- 31.** Rubio-Cabezas O., Patch A.M., Minton J.A., et al. Wolcott–Rallison syndrome is the most common genetic cause of permanent neonatal diabetes in consanguineous families // *J Clin Endocrinol Metab*. 2009. Vol. 94, N. 11. P. 4162–4170. doi: 10.1210/jc.2009-1137
- 32.** Xu A., Lin Y., Sheng H., et al. Molecular diagnosis of maturity-onset diabetes of the young in a cohort of Chinese children // *Pediatr Diabetes*. 2020. Vol. 21, N. 3. P. 431–440. doi: 10.1111/pedi.12985
- 33.** Yue X., Luo Y., Wang J., Huang D. Monogenic diabetes with GATA6 mutations: characterization of a novel family and a comprehensive analysis of the GATA6 clinical and genetics traits // *Mol Biotechnol*. 2024. Vol. 66, N. 3. P. 467–474. doi: 10.1007/s12033-023-00761-8
- 34.** Zalloua P.A., Azar S.T., Delépine M., et al. WFS1 mutations are frequent monogenic causes of juvenile-onset diabetes mellitus in Lebanon // *Hum Mol Genet*. 2008. Vol. 17, N. 24. P. 4012–4021. doi: 10.1093/hmg/ddn304
- 35.** Zhang D., Chen C., Yang W., et al. C.487C>T mutation in PAX4 gene causes MODY9: A case report and literature review // *Medicine (Baltimore)*. 2022. Vol. 101, N. 51. P. e32461. doi: 10.1097/MD.00000000000032461

## AUTHORS' INFO

**Dmitry O. Ivanov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Chief Freelance Neonatologist of the Ministry of Health of Russia, Rector, Head of the Department of Neonatology with courses of Neurology and Obstetrics and Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**\*Liliya V. Ditkovskaya**, MD, PhD, Associate Professor, Professor I.M. Vorontsov Department of Children's Diseases of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litovskaya st., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0002-9407-817X; eLibrary SPIN: 5771-0580; e-mail: liliya-ditkovskaya@yandex.ru

**Olga I. Maryina**, resident doctor of the Professor I.M. Vorontsov Department of Children's Diseases of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-5399-828X; eLibrary SPIN: 2329-6271; e-mail: olga210697@yandex.ru

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

## ОБ АВТОРАХ

**Дмитрий Олегович Иванов**, д-р мед. наук, профессор, главный внештатный специалист-неонатолог Минздрава России, ректор, заведующий кафедрой неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**\*Лилия Викторовна Дитковская**, канд. мед. наук, доцент кафедры детских болезней им. проф. И.М. Воронцова ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID: 0000-0002-9407-817X; eLibrary SPIN: 5771-0580; e-mail: liliya-ditkovskaya@yandex.ru

**Ольга Ивановна Марьина**, ординатор кафедры детских болезней им. проф. И.М. Воронцова ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-5399-828X; eLibrary SPIN: 2329-6271; e-mail: olga210697@yandex.ru

## AUTHORS' INFO

**Yuriii S. Alexandrovich**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Head of the Department of Anesthesiology, Reanimatology and Emergency Pediatrics of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-2131-4813; eLibrary SPIN: 2225-1630; e-mail: Jalex1963@mail.ru

**Mariia E. Turkunova**, MD, PhD, Children Endocrinologist, Children's City Clinic No. 44, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-5611-2026; eLibrary SPIN: 7320-1136; e-mail: 89650505452@mail.ru

**Evgeny N. Suspitsin**, MD, PhD, Associate Professor of the Department of General and Molecular Medical Genetics, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-9764-2090; eLibrary SPIN: 2362-6304; e-mail: evgeny.suspitsin@gmail.com

## ОБ АВТОРАХ

**Юрий Станиславович Александрович**, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой анестезиологии, реаниматологии и неотложной педиатрии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-2131-4813; eLibrary SPIN: 2225-1630; e-mail: Jalex1963@mail.ru

**Мария Евгеньевна Туркунова**, врач-детский эндокринолог, канд. мед. наук, СПб ГБУЗ «Детская городская поликлиника № 44», Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-5611-2026; eLibrary SPIN: 7320-1136; e-mail: 89650505452@mail.ru

**Евгений Николаевич Суспицын**, д-р мед. наук, доцент кафедры общей и молекулярной медицинской генетики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-9764-2090; eLibrary SPIN: 2362-6304; e-mail: evgeny.suspitsin@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15119-27>

# Параметры физического развития доношенных новорожденных с задержкой внутриутробного развития, родившихся в Перинатальном центре 3Б-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета в 2022 г.

Г.Н. Чумакова, Д.О. Иванов, Е.В. Бем, А.С. Панченко, М.И. Леваднева, С.Е. Павлова, Л.А. Федорова, Е.Э. Вьюкова, А.М. Ходжиева, Ю.Е. Шинкарева, П.М. Грызунова

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Задержка внутриутробного развития новорожденного ребенка — актуальная проблема неонатологии, акушерства и педиатрии. Вследствие нарушения внутриутробного развития у этих детей повышена частота заболеваемости и смертности. При наличии задержки внутриутробного развития увеличивается вероятность развития осложнений раннего неонатального периода (асфиксия в родах, аспирация мекония, гипогликемия, полицитемия и др.), повышен риск развития инфекций и неврологических осложнений.

**Цель** — изучить параметры физического развития доношенных новорожденных, родившихся в Перинатальном центре 3Б-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета в 2022 г., определить частоту и структуру нарушений, связанных с внутриутробным замедленным ростом и недостаточностью питания в зависимости от гестационного возраста доношенных новорожденных, для дифференциального подхода в тактике лечения и наблюдении детей с задержкой внутриутробного развития врачом-неонатологом и педиатром.

**Материалы и методы.** Проанализировано 1000 историй развития новорожденных детей, родившихся в Перинатальном центре 3Б-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета в 2022 г. Из них 55 доношенных детей родились с задержкой внутриутробного развития. В ходе исследования изучалось физическое развитие доношенных новорожденных, определена частота и структура нарушений, связанных с внутриутробным замедленным ростом и недостаточностью питания, в зависимости от гестационного возраста доношенных новорожденных.

**Результаты.** Задержка внутриутробного роста и развития у детей, рожденных в Перинатальном центре 3Б-уровня, представлена отношением низкая масса тела/гестационный возраст в 63,6 % случаев, трофическими нарушениями при нормальной массе и снижением отношения масса/длина в 34,6 % случаев, низким показателем роста при нормальной массе 1,8 %. Тяжелые нарушения физического развития выявлены только у детей с низкой массой тела: у маловесных для гестационного возраста — в 13 %, а при малом размере плода для гестационного возраста — в 55 % случаев.

**Выводы.** Распределение нарушений физического развития (шифр МКБ Р05.2) у доношенных детей в зависимости от степени зрелости имеет линейный тренд и с максимальной частотой (50 %) встречается у поздних доношенных новорожденных, что связано с началом старения плаценты и усилением имеющейся, даже компенсированной, плацентарной недостаточности.

**Ключевые слова:** задержка внутриутробного развития; ЗВУР; новорожденный; доношенный новорожденный; физическое развитие; нарушение питания.

## Как цитировать

Чумакова Г.Н., Иванов Д.О., Бем Е.В., Панченко А.С., Леваднева М.И., Павлова С.Е., Федорова Л.А., Вьюкова Е.Э., Ходжиева А.М., Шинкарева Ю.Е., Грызунова П.М. Параметры физического развития доношенных новорожденных с задержкой внутриутробного развития, родившихся в Перинатальном центре 3Б-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета в 2022 г. // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 19–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15119-27>

Рукопись получена: 12.12.2023

Рукопись одобрена: 16.01.2024

Опубликована: 29.02.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15119-27>

# Parameters of physical development of term newborns with Intrauterine Growth Retardation, born in a 3B Level Perinatal Centre of St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2022

Galina N. Chumakova, Dmitry O. Ivanov, Elena V. Bem, Aleksandra S. Panchenko, Marina I. Levadneva, Svetlana E. Pavlova, Larisa A. Fedorova, Ekaterina E. Vyukova, Azizzakhon M. Khojieva, Yulia E. Shinkareva, Polina M. Gryzunova

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Intrauterine growth retardation of a newborn child is an current problem in neonatology, obstetrics and pediatrics. Due to intrauterine development disorders, these newborns have increased morbidity and mortality rates. In the presence of Intrauterine growth retardation, the likelihood of developing complications in the early neonatal period increases (birth asphyxia, meconium aspiration, hypoglycemia, polycythemia, etc.), and the risk of developing infections and neurological disorders) is increased.

**AIM:** The aim of this study is to study the parameters of physical development of term newborns born in the Perinatal Centre 3B level of the St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2022 year, to determine the frequency and structure of disorders associated with Intrauterine growth retardation and malnutrition depending on the gestational age of term newborns for a differential approach in the management of children with Intrauterine growth retardation by neonatologists and paediatricians.

**MATERIALS AND METHODS:** There were analyzed 1000 hospital neonatal records of newborns children born at the Perinatal Centre of Level 3B of St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2022 year. Of these, 55 term babies were born with Intrauterine growth retardation. The study examined the physical development of term newborns, determined the frequency and structure of disorders associated with intrauterine growth retardation and malnutrition, depending on the gestational age of term newborns.

**RESULTS:** Retardation of intrauterine growth and development in newborn children born in level 3B centres are represented by low body weight in relation to gestational age in 63.6% of cases, trophic disorders with normal body weight and reduced weight/length ratio in 34.6% of cases, and low height index with normal body weight in 1.8% of cases. Severe physical developmental disorders were found only in children with low body weight: in 13% of cases of low birth weight for gestational age, and in 55% of cases of small fetal size for gestational age.

**CONCLUSIONS:** the distribution of physical development disorders (ICD code P05.2) in term infants, depending on the degree of maturity has a linear trend and occurs with maximum frequency (50%) in late term newborns, which is associated with the onset of aging of the placenta and the intensification of existing, even compensated, placental insufficiency.

**Keywords:** intrauterine growth retardation; IUGR; newborns; term newborns; physical development; malnutrition.

## To cite this article

Chumakova GN, Ivanov DO, Bem EV, Panchenko AS, Levadneva MI, Pavlova SE, Fedorova LA, Vyukova EE, Khojieva AM, Shinkareva YuE, Gryzunova PM. Parameters of physical development of term newborns with Intrauterine Growth Retardation, born in a 3B Level Perinatal Centre of St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2022. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):19–27. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15119-27>

Received: 12.12.2023

Accepted: 16.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Задержка внутриутробного развития (ЗВУР) ребенка после недоношенности является вторым по распространенности фактором, обуславливающим перинатальную заболеваемость и смертность [18]. Новорожденные со ЗВУР чаще болеют, они дольше находятся в стационаре, чем младенцы, родившиеся с весо-ростовыми показателями, соответствующими сроку гестации [1, 7, 11].

Десять процентов случаев перинатальной смертности и 52 % мертворождений связаны с задержкой роста плода [4, 8]. При наличии ЗВУР увеличиваются риски развития таких неонатальных осложнений, как асфиксия в родах, аспирация мекония, персистирующая легочная гипертензия, гипотермия, гипогликемия, полицитемия, желтуха, нарушения вскармливания, некротизирующий энтероколит, поздний сепсис [9, 15, 16]. У детей со ЗВУР повышен риск развития инфекций в связи со сниженным иммунологическим статусом [12, 13]. ЗВУР связана с измененным нефрогенезом, вызванным длительной внутриутробной гипоксией [5].

Дети со ЗВУР обычно догоняют своих сверстников по показателям веса в течение 6 мес., а в росте — в течение года [19].

Долгосрочные последствия ЗВУР плода во взрослом возрасте хорошо изучены и представляют собой такие заболевания и синдромы, как артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, ожирение, метаболический синдром, сахарный диабет, злокачественные новообразования [6]. Изменения в сердечно-сосудистой системе могут быть обнаружены уже в школьном возрасте [10]. Отдаленные последствия ЗВУР включают более высокий риск формирования детского церебрального паралича и других нарушений развития нервной системы [3, 14]. Неврологические отклонения преимущественно выражаются в когнитивных и поведенческих расстройствах, усугубляющихся с возрастом вследствие появления более сложных требований и задач [11].

Среди детей с задержкой внутриутробного развития (шифр по МКБ-10 Р05.0) выделяют 4 группы: 1) маловесный для гестационного возраста (ГВ) — масса тела ниже, а длина тела выше 10-го перцентиля ( $p$ ) по отношению к ГВ (шифр по МКБ-10 Р05.0); 2) малый размер плода для ГВ — масса и длина тела  $< p10$  по отношению к ГВ (шифр по МКБ-10 Р05.1); 3) недостаточность питания плода без упоминания о маловесном или маленьком для ГВ — масса тела соответствует диапазону  $p10-90$ , но соотношение масса/длина  $< p10$  (шифр по МКБ-10 Р05.2); 4) замедленный рост плода неуточненный — масса тела соответствует  $p10-90$ , а длина тела  $< p10$  (шифр по МКБ-10 Р05.9). Все нарушения физического развития (ФР) часто объединяют одним термином — «задержка внутриутробного развития» (ЗВУР), с указанием соответствующего шифра МКБ-10.

Изучение ЗВУР проводится обычно в группах и доношенных, и недоношенных детей, больше внимания

уделяется недоношенным детям, однако доношенные новорожденные тоже имеют разную степень зрелости, поэтому представляет научный интерес определение ЗВУР у доношенных детей, ранжированных по гестационному возрасту.

Цель исследования — изучить параметры физического развития доношенных новорожденных, родившихся в Перинатальном центре ЗБ-уровня Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета (СПбГПМУ) в 2022 г., определить частоту и структуру нарушений, связанных с внутриутробным замедленным ростом и недостаточностью питания в зависимости от гестационного возраста доношенных новорожденных.

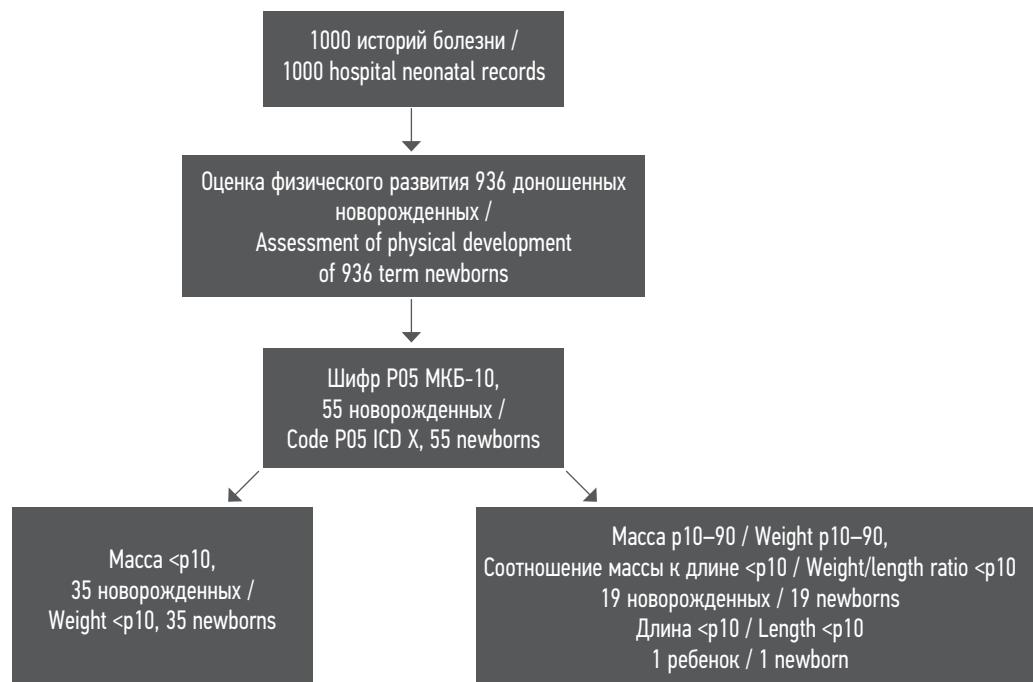
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведена сплошная выборка 1000 историй развития новорожденных из отделения физиологии новорожденных Перинатального центра СПбГПМУ, родившихся с 1 января 2022 г. (главный врач В.А. Резник). Ход выборки представлен на рис 1. Отобраны 936 историй развития новорожденных от срочных родов с ГВ от 37 0/7 до 41 6/7 нед.

У 936 новорожденных проведена оценка антропометрических данных по международным стандартам физического развития новорожденных мальчиков и девочек INTERGROWTH-21st. Показатели длины, массы, окружности головы оценивали по диаграммам новорожденных для ГВ 33–43 нед. Антропометрические показатели при рождении  $< p3$  расценивались как очень низкие,  $< p10$  — как низкое, значение в диапазоне  $p10-90$  — как соответствующее ГВ. Оценку трофических нарушений проводили по центильным диаграммам INTERGROWTH-21st «Отношение веса к длине» ГВ 33–43 нед., характеризующим показатель масса/длина (кг/м) новорожденных мальчиков и девочек при рождении в соответствии со сроком гестации.

Вычислялось значение отношения масса/длина (кг/м) и наносилось на центильную диаграмму «Отношение массы к длине» в соответствии с ГВ. Показатель масса/длина (кг/м) по отношению к ГВ при рождении  $< p3$  расценивали как очень низкий,  $< p10$  — как низкий,  $p10-90$  — как соответствующий ГВ. При выявлении низких и очень низких значений показателя масса/длина проводилась оценка показателя масса/длина по Z-score. При значении Z  $-1...-2$  стандартного отклонения (standard deviation, SD) регистрировалась легкая недостаточность питания, при  $-2...-3$  SD — умеренная, при  $-2...-3$  SD — тяжелая. Проведено ранжирование доношенных детей с ЗВУР согласно классификации, представленной в табл. 1.

При оценке физического развития доношенных детей необходимо указывать степень их зрелости, пользуясь терминологией, указанной в табл. 1.



**Рис. 1.** Распределение пациентов с замедленным ростом и недостаточностью питания плода (шифр P05 по МКБ-10), включенных в исследование

**Fig. 1.** Distribution of patients with fetal growth retardation and malnutrition (ICD 10 code P05) included in the study

**Таблица 1.** Классификация доношенных детей по гестационному возрасту [17]

**Table 1.** Classification of term infants by gestational age [17]

Доношенные новорожденные / Term newborns	Гестационный возраст / Gestational age
Ранние доношенные / Early term	37 0/7–38 6/7 нед. / 37 0/7–38 6/7 weeks
Полностью доношенные / Full term	39 0/7–40 6/7 нед. / 39 0/7–40 6/7 weeks
Поздние доношенные / Late term	41 0/7–41 6/7 нед. / 41 0/7–41 6/7 weeks

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из сплошной выборки 1000 историй развития новорожденных зарегистрировано 936 детей (93,6 %), рожденных в срок. Всем доношенным детям проведена оценка физического развития, у 55 новорожденных (5,9 %) выявлены замедленный рост и недостаточность питания плода (табл. 2).

Распределение типов выявленных нарушений представлено на рис. 2.

Частота встречаемости замедленного роста и недостаточности питания плода в перинатальном центре ЗБ-уровня составила 5,9 %, что выше показателя по РФ — 5,01 % [2]. Необходимо отметить, что в ряде перинатальных центров Российской Федерации в годовых отчетах при указании заболеваемости по шифру P05 отсутствует графа P05.2, то есть новорожденные дети оцениваются только по антропометрическим показателям и не оцениваются по центильной диаграмме «Отношение веса к длине», где дети с массой 10–90 перцентиля могут демонстрировать трофические нарушения, подтвержденные оценкой по Z-score и клиническими проявлениями.

Наиболее значимая задержка массы и длины тела представлена в группе детей с малыми размерами для ГВ (шифр МКБ-10 P05.1); более половины детей этой группы имеют очень низкие параметры ФР. Проведено ранжирование доношенных новорожденных по степени зрелости, результаты представлены в табл. 3.

Дети «малые к сроку гестации» чаще рождаются ранее 39 нед. беременности. По данным литературы, ЗВУР симметричного типа формируется на ранних сроках беременности. Эта группа составляет 20 % всех ЗВУР и родо-разрешается в связи с угрозой состояния плода [6]. У детей, рожденных с преимущественным снижением массы тела (малая масса или низкий показатель отношения масса/длина), напротив, ЗВУР чаще формируется на поздних сроках беременности [11]. Распределение нарушений физического развития у доношенных детей в зависимости от гестационного возраста представлено на рис. 3.

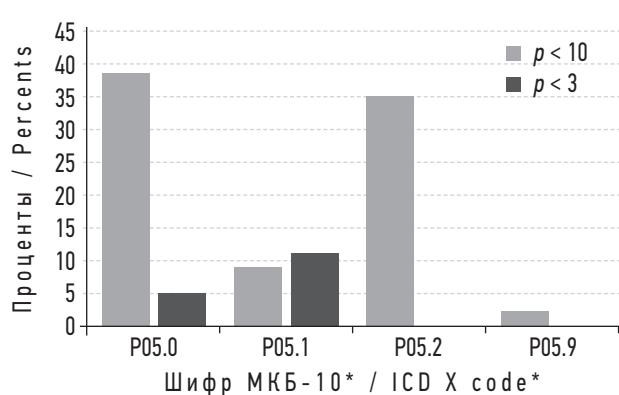
У поздних доношенных новорожденных диагностируются «поздно формирующиеся» ЗВУР. При данном варианте недостаточности питания отставание массы тела ребенка по отношению к ГВ не столь выражено. В каждом

**Таблица 2.** Распределение вида нарушений физического развития у новорожденных детей изучаемой группы**Table 2.** Distribution of the type of physical development in newborns of the investigated group

Шифр МКБ-10 / ICD X code	Вид нарушения / Type of disorder	Сниженный показатель / Reduced index	Число детей / Number of chil- dren (n = 55)	Значение перцентиля / Percentile value	
				<10	<3
P05.0	Маловесный для гестационного возраста / Light for gestational age	Масса / Weight	24	20	4
P05.1	Малый размер плода для гестационного возраста / Small for gestational age	Масса, длина / Weight, length	11	5	6
P05.2	Недостаточность питания без упоминания о мало- весном или маленьком для гестационного возраста / Fetal malnutrition without mention of light or small for gestational age	Отношение масса/длина / Ratio weight/length	19	19	0
P05.9	Замедленный рост плода неуточненный / Slow fetal growth, unspecified	Длина / Length	1	1	0

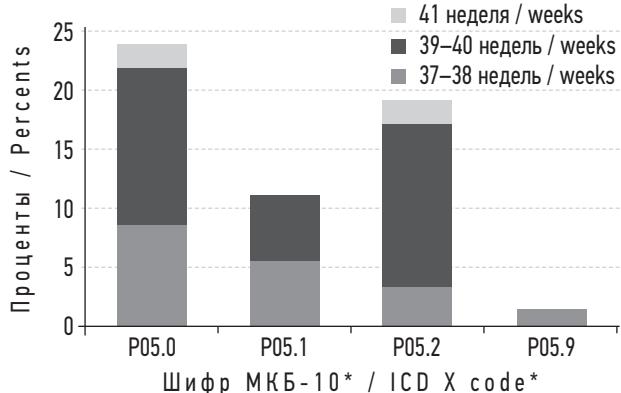
**Таблица 3.** Структура задержки внутриутробного развития в зависимости от срока гестации доношенных новорожденных**Table 3.** Structure of intrauterine growth retardation depending on gestational age of term newborns

Шифр МКБ-10 / ICD X code	Ранние доношенные / Early term	Полностью доношенные / Full term	Поздние доношенные / Late term	Всего / Total
P05.0	9	13	2	24 (44 %)
P05.1	6	5	0	11 (20 %)
P05.2	4	13	2	19 (34,2 %)
P05.9	1	0	0	1 (1,8 %)



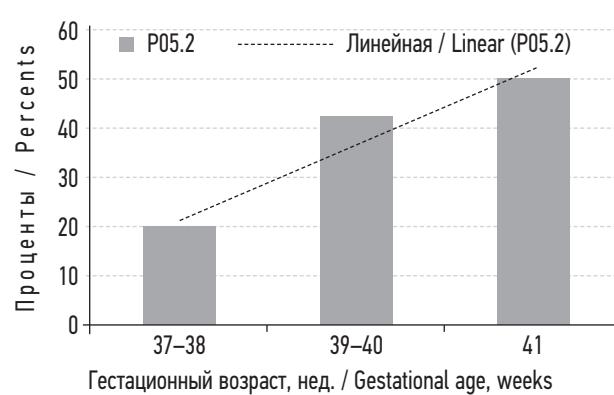
**Рис. 2.** Распределение типов нарушений физического развития у исследуемой группы новорожденных детей в соответствии с шифром МКБ-10 (отставание физического развития в соответствии с центильными диаграммами INTERGROWTH-21st ниже 10-го перцентиля ( $<\text{p}10$ ) — низкое; ниже 3-го перцентиля ( $<\text{p}3$ ) — очень низкое). \*P05.0 — «маловесный» для гестационного возраста плод; P05.1 — малый размер для гестационного возраста; P05.2 — недостаточность питания плода без упоминания о «маловесном» или маленьком для гестационного возраста; P05.9 — замедленный рост плода неуточненный

**Fig. 2.** Distribution of types of physical developmental disorders in the studied group of newborns according to ICD X code (physical developmental lag according to INTERGROWTH-21st centile charts below 10<sup>th</sup> percentile ( $<\text{p}10$ ) — low; lag below 3<sup>rd</sup> percentile ( $<\text{p}3$ ) — very low. \*P05.0 — “light for gestational age” fetus; P05.1 — small for gestational age; P05.2 — fetal malnutrition with no mention of “small” or small for gestational age; P05.9 — fetal growth retardation unspecified



**Рис. 3.** Распределение типов нарушений физического развития у доношенных детей в соответствии с шифрами МКБ-10 в зависимости от гестационного возраста. \*P05.0 — «маловесный» для гестационного возраста плод; P05.1 — малый размер для гестационного возраста; P05.2 — недостаточность питания плода без упоминания о «маловесном» или маленьком для гестационного возраста; P05.9 — замедленный рост плода неуточненный

**Fig. 3.** Distribution of types of physical developmental disorders in term infants according to ICD X codes depending on gestational age. \*P05.0 — “light for gestational age” fetus; P05.1 — small for gestational age; P05.2 — fetal malnutrition with no mention of “small” or small for gestational age; P05.9 — fetal growth retardation unspecified



**Рис. 4.** Частота недостаточности питания у доношенных детей разного гестационного возраста в соответствии с кодом Р05.2 по МКБ-10. Р05.2 — недостаточность питания плода без упоминания о „маловесном“ или маленьком для гестационного возраста

**Fig. 4.** Frequency of malnutrition in term infants of different gestational ages according to ICD X code P05.2. P05.2 — fetal malnutrition without reference to “low birth weight” or small for gestational age

случае необходимо уточнять причину нарушения внутриутробного развития плода после родов. На рис. 4 представлен линейный тренд частоты нарушений недостаточности питания без упоминания о маловесном или маленьком для ГВ (шифр МКБ-10 Р05.2).

Процент детей с поздней манифестиацией ЗВУР (шифр МКБ-10 Р05.2) увеличивается с увеличением ГВ, что объясняется присоединением к факторам, вызывающим ЗВУР, процессов старения плаценты, начинающихся на сороковой неделе гестации.

## ВЫВОДЫ

Нарушения физического развития выявлены у 5,9 % доношенных новорожденных.

У 63,6 % доношенных детей со ЗВУР нарушение физического развития включает низкую массу тела при рождении, однако у 34,6 % детей ЗВУР связана с трофическими

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Д.О., Атласов В.О., Бобров С.А., и др. Руководство по перинатологии / под ред. Д.О. Иванова. Санкт-Петербург: Информ-Навигатор, 2015. 1214 с.
2. Котова Е.Г., Кобякова О.С., Стародубов В.И. и др. Основные показатели здоровья матери и ребенка, деятельность службы охраны детства и родовспоможения в Российской Федерации. Статистические материалы. Москва: ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава Российской Федерации, 2022. 172 с.
3. Пеньков Д.Г., Ульяничева Е.С., Полунина А.В. Возможности коррекции перинатального поражения центральной нервной системы в условиях специализированного дома ребенка // Университетский терапевтический вестник. 2020. Т. 2, № 4. С. 25–33. EDN: VWWBRE
4. Телеш О.В., Петренко Ю.В., Иванов Д.О. Возможные пути снижения младенческой смертности в отдельных регионах РФ // Педиатр. 2017. Т. 8, № 1. С. 89–94. EDN: YHGQBZ doi: 10.17816/PED8189-94
5. Aisa M.C., Cappuccini B., Barbat A., et al. Biochemical parameters of renal impairment/injury and surrogate markers of nephron number in intrauterine growth-restricted and preterm neonates at 30–40 days of postnatal corrected age // Pediatr Nephrol. 2016. Vol. 31, N. 12. P. 2277–2287. doi: 10.1007/s00467-016-3484-4
6. D'Agostin M., Di SipioMorgia C., Vento G., Nobile S. Long-term implications of fetal growth restriction // World J Clin Cases. 2023. Vol. 11, N. 13. P. 2855–2863. doi: 10.12998/wjcc.v11.i13.2855
7. de Onis M., Blössner M., Villar J. Levels and patterns of intrauterine growth retardation in developing countries // Eur J Clin Nutr. 1998. Vol. 52, N. 5. P. S5–S15.

нарушениями при массе, соответствующей сроку гестации, но со снижением соотношения масса/длина тела; и в 1,8 % случаев — с низкой длиной тела при массе, соответствующей сроку гестации.

Частота нарушений ФР, соответствующих классу МКБ-10 Р05.2 «недостаточность питания плода без упоминания о „маловесном“ или маленьком для гестационного возраста», нарастает по мере увеличения срока гестации и с максимальной частотой (в 50 % случаев) регистрируется у поздних доношенных (рожденных на сроке 41 0/7–41 6/7 нед.), что связано с началом старения плаценты и усилением имеющейся, даже компенсированной, плацентарной недостаточности.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с провенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

8. Frøen J.F., Gardosi J.O., Thurmann A., et al. Restricted fetal growth in sudden intrauterine unexplained death // *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2004. Vol. 83, N. 9. P. 801–807. doi: 10.1111/j.0001-6349.2004.00602.x
9. Hokken-Koelega A.C.S., van der Steen M., Boguszewski M.C.S., et al. International consensus guideline on small for gestational age: etiology and management from infancy to early adulthood // *Endocr Rev.* 2023. Vol. 44, N. 3. P. 539–565. doi: 10.1210/endrev/bnad002
10. Jaddoe V.W., de Jonge L.L., Hofman A., et al. First trimester fetal growth restriction and cardiovascular risk factors in school age children: population based cohort study // *BMJ.* 2014. Vol. 348. P. g14. doi: 10.1136/bmj.g14
11. Kamphof H.D., Posthuma S., Gordijn S.J., Ganzevoort W. Fetal growth restriction: mechanisms, epidemiology, and management // *Maternal Fetal Med.* 2022. Vol. 4, N. 3. P. 186–196. doi: 10.1097/FM9.0000000000000161
12. Liu J., Wang X.F., Wang Y., et al. The incidence rate, high-risk factors, and short- and long-term adverse outcomes of fetal growth restriction: a report from Mainland China // *Medicine (Baltimore).* 2014. Vol. 93, N. 27. P. e210. doi: 10.1097/MD.0000000000000210
13. Longo S., Borghesi A., Tzialla C., Stronati M. IUGR and infections // *Early Hum Dev.* 2014. Vol. 90, N. S1. P. S42–S44. doi: 10.1016/S0378-3782(14)70014-3
14. Mayer C., Joseph K.S. Fetal growth: a review of terms, concepts and issues relevant to obstetrics // *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2013. Vol. 41, N. 2. P. 136–145. doi: 10.1002/uog.11204
15. Nardozza L.M., Caetano A.C., Zamarian A.C., et al. Fetal growth restriction: current knowledge // *Arch Gynecol Obstet.* 2017. Vol. 295, N. 5. P. 1061–1077. doi: 10.1007/s00404-017-4341-9
16. Sharma D., Shastri S., Sharma P. Intrauterine growth restriction: antenatal and postnatal aspects // *Clin Med Insights Pediatr.* 2016. Vol. 10. P. 67–83. doi: 10.4137/CMPed.S40070
17. Spong C.Y. Defining “term” pregnancy: recommendations from the defining “term” pregnancy workgroup // *JAMA.* 2013. Vol. 309, N. 23. P. 2445–2446. doi: 10.1001/jama.2013.6235
18. Suhag A., Berghella V. Intrauterine growth restriction (IUGR): etiology and diagnosis // *Curr Obstet Gynecol Rep.* 2013. Vol. 2. P. 102–111. doi: 10.1007/s13669-013-0041-z
19. van Wyk L., Boers K.E., van Wassenaer-Leemhuis A.G., et al. Postnatal catch-up growth after suspected fetal growth restriction at term // *Front Endocrinol (Lausanne).* 2013. Vol. 10. P. 274. doi: 10.3389/fendo.2019.00274

## REFERENCES

1. Ivanov DO, Atlasov VO, Bobrov SA, et al. *Manual of Perinatology.* Ed. by Ivanov DO. Saint Petersburg: Inform-Navigator; 2015. 1214 p. (In Russ.)
2. Kotova EG, Kobyakova OS, Starodubov VI, et al. *Main indicators of maternal and child health, activities of child protection and obstetrics services in the Russian Federation. Statistical materials.* Moscow: FGBU “TsNIIIOIZ” ministry of health of the Russian Federation; 2022. 172 p. (In Russ.)
3. Penkov, DG, Ulyanicheva ES, Polunina AV. Possibilities of correction of perinatal damage to the central nervous system in a specialized children's home. *University Therapeutic Journal.* 2020;2(4): 25–33. EDN: VWWBRE
4. Telesh OV, Petrenko Yu. Possible ways of decline of infantile death rate are in the separate regions of Russian Federation. *Pediatrician (St. Petersburg).* 2017;8(1):89–94. EDN: YHGQBZ doi: 10.17816/PED8189-94
5. Aisa MC, Cappuccini B, Barbat A, et al. Biochemical parameters of renal impairment/injury and surrogate markers of nephron number in intrauterine growth-restricted and preterm neonates at 30–40 days of postnatal corrected age. *Pediatr Nephrol.* 2016;31(12): 2277–2287. doi: 10.1007/s00467-016-3484-4
6. D'Agostin M, Di SipioMorgia C, Vento G, Nobile S. Long-term implications of fetal growth restriction. *World J Clin Cases.* 2023;11(13):2855–2863. doi: 10.12998/wjcc.v11.i13.2855
7. de Onis M, Blössner M, Villar J. Levels and patterns of intrauterine growth retardation in developing countries. *Eur J Clin Nutr.* 1998;52(SI):S5–S15.
8. Frøen JF, Gardosi JO, Thurmann A, et al. Restricted fetal growth in sudden intrauterine unexplained death. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2004;83(9):801–807. doi: 10.1111/j.0001-6349.2004.00602.x
9. Hokken-Koelega ACS, van der Steen M., Boguszewski MCS, et al. International consensus guideline on small for gestational age: etiology and management from infancy to early adulthood. *Endocr Rev.* 2023;44(3):539–565. doi: 10.1210/endrev/bnad002
10. Jaddoe VW, de Jonge LL, Hofman A, et al. First trimester fetal growth restriction and cardiovascular risk factors in school age children: population based cohort study. *BMJ.* 2014;348:g14. doi: 10.1136/bmj.g14
11. Kamphof HD, Posthuma S, Gordijn SJ, Ganzevoort W. Fetal growth restriction: mechanisms, epidemiology, and management. *Maternal Fetal Med.* 2022;4(3):186–196. doi: 10.1097/FM9.0000000000000161
12. Liu J, Wang XF, Wang Y, et al. The incidence rate, high-risk factors, and short- and long-term adverse outcomes of fetal growth restriction: a report from Mainland China. *Medicine (Baltimore).* 2014;93(27): e210. doi: 10.1097/MD.0000000000000210
13. Longo S, Borghesi A, Tzialla C, Stronati M. IUGR and infections. *Early Hum Dev.* 2014;90(S1):S42–S44. doi: 10.1016/S0378-3782(14)70014-3
14. Mayer C, Joseph KS. Fetal growth: a review of terms, concepts and issues relevant to obstetrics. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2013;41(2):136–145. doi: 10.1002/uog.11204
15. Nardozza LM, Caetano AC, Zamarian AC, et al. Fetal growth restriction: current knowledge. *Arch Gynecol Obstet.* 2017;295(5): 1061–1077. doi: 10.1007/s00404-017-4341-9
16. Sharma D, Shastri S, Sharma P. Intrauterine growth restriction: antenatal and postnatal aspects. *Clin Med Insights Pediatr.* 2016;10:67–83. doi: 10.4137/CMPed.S40070
17. Spong CY. Defining “term” pregnancy: recommendations from the defining “term” pregnancy workgroup. *JAMA.* 2013;309(23): 2445–2446. doi: 10.1001/jama.2013.6235
18. Suhag A, Berghella V. Intrauterine growth restriction (IUGR): etiology and diagnosis. *Curr Obstet Gynecol Rep.* 2013;2:102–111. doi: 10.1007/s13669-013-0041-z
19. van Wyk L, Boers KE, van Wassenaer-Leemhuis AG, et al. Postnatal catch-up growth after suspected fetal growth restriction at term. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2013;10:274. doi: 10.3389/fendo.2019.00274

## ОБ АВТОРАХ

**Галина Николаевна Чумакова**, д-р мед. наук, профессор, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-5353-4610; eLibrary SPIN: 1821-0198; e-mail: zelchum-neo@yandex.ru

**Дмитрий Олегович Иванов**, д-р мед. наук, профессор, главный внештатный специалист-неонатолог Минздрава России, ректор, заведующий кафедрой неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**\*Елена Венедиктовна Бем**, канд. мед. наук, ассистент, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; ORCID: 0009-0008-9337-5667; eLibrary SPIN: 2811-5938; e-mail: e.bohm@nbox.ru

**Александра Сергеевна Панченко**, д-р мед. наук, профессор, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-2313-3941; eLibrary SPIN: 9552-2350; e-mail: sashawomen18@mail.ru

**Марина Ивановна Леваднева**, ассистент, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-6716-7567; eLibrary SPIN: 2780-6674; e-mail: m-lev11@yandex.ru

**Светлана Евгеньевна Павлова**, ассистент, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-5423-0950; eLibrary SPIN: 1761-4768; e-mail: Svetlanapav.spb@mail.ru

**Лариса Арзумановна Федорова**, доцент, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-9747-762X; eLibrary SPIN: 5474-0902; e-mail: arslarissa@rambler.ru

## AUTHORS' INFO

**Galina N. Chumakova**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-5353-4610; eLibrary SPIN: 1821-0198; e-mail: zelchum-neo@yandex.ru

**Dmitry O. Ivanov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Chief Freelance Neonatologist of the Ministry of Health of Russia, Rector, Head of the Department of Neonatology with courses of Neurology and Obstetrics and Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**\*Elena V. Bem**, MD, PhD, Assistant Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litovskaya Str., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0009-0008-9337-5667; eLibrary SPIN: 2811-5938; e-mail: e.bohm@nbox.ru

**Aleksandra S. Panchenko**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-2313-3941; eLibrary SPIN: 9552-2350; e-mail: sashawomen18@mail.ru

**Marina I. Levadneva**, Assistant Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-6716-7567; eLibrary SPIN: 2780-6674; e-mail: m-lev11@yandex.ru

**Svetlana E. Pavlova**, Assistant Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-5423-0950; eLibrary SPIN: 1761-4768; e-mail: Svetlanapav.spb@mail.ru

**Larisa A. Fedorova**, Associate Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-9747-762X; eLibrary SPIN: 5474-0902; e-mail: arslarissa@rambler.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## ОБ АВТОРАХ

**Екатерина Эдуардовна Вьюкова**, ординатор кафедры неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: katya.vyukova@bk.ru

**Азиза Музаффаровна Ходжиева**, ординатор кафедры неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: khojieva.a@gmail.com

**Юлия Евгеньевна Шинкарева**, студентка 6-го курса, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: Shi-23@mail.ru

**Полина Михайловна Грызунова**, студентка 3-го курса, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: gryzunovapauline@yandex.ru

## AUTHORS' INFO

**Ekaterina E. Vyukova**, Resident doctor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: katya.vyukova@bk.ru

**Azizzakhon M. Khojieva**, Resident doctor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetric-Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: khojieva.a@gmail.com

**Yulia E. Shinkareva**, Student, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: Shi-23@mail.ru

**Polina M. Gryzunova**, Student, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: gryzunovapauline@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15129-36>

# Состав коллагенов плаценты у родильниц с ожирением, получивших родоразрешение в Перинатальном центре Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета с 2018 по 2021 г.

Ю.В. Петренко<sup>1</sup>, Д.О. Иванов<sup>1</sup>, В.О. Полякова<sup>2</sup>, В.П. Новикова<sup>1</sup>, Е.П. Федотова<sup>1</sup>, О.А. Демченкова<sup>1</sup>, М.И. Леваднева<sup>1</sup>, Е.Б. Тарханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Актуальность проблемы ожирения связана с высокой частотой и неуклонным ростом данной патологии в популяции. Эпигенетическое влияние материнского ожирения на течение беременности и родов, а также на состояние плода и новорожденного в настоящее время изучается. В данной статье анализируются изменения состава соединительной ткани плаценты на фоне ожирения беременных и родильниц.

**Цель —** выявить особенности состава коллагенов плаценты у женщин, имевших ожирение до беременности и на момент родов, получивших родоразрешение в Перинатальном центре Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета с 2018 по 2021 г., для оценки потенциальных неблагоприятных рисков для плода, прогноза осложнений в период беременности и в постнатальном периоде для матери.

**Материалы и методы.** Проведено гистологическое исследование плацент женщины с ожирением (18 пациенток) и с нормальным индексом массы тела (18 пациенток), родивших доношенных младенцев в Перинатальном центре Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета с 2018 по 2021 г. с последующим иммуногистохимическим исследованием. Окрашивание препаратов плаценты проводили по стандартному иммуногистохимическому протоколу, с использованием первичных антител к коллагену I—IV типов.

**Результаты.** При микроскопическом исследовании ворсин хориона достоверных различий наличия хронического воспаления и нарушения ангиогенеза между группами не выявлено. При изучении уровней экспрессии коллагенов были обнаружены следующие различия: в группе беременных пациенток с ожирением оптическая плотность свечения и площадь распределения для коллагенов I—III типов в плаценте была достоверно выше, при этом для коллагена IV типа — достоверно ниже по сравнению с контрольной группой.

**Выводы.** Выявлены следующие особенности формирования соединительной ткани в плаценте у матерей с ожирением: увеличение продукции коллагена I—III типов и уменьшение продукции коллагена IV типа. Полученные результаты свидетельствуют о более раннем функционально-морфологическом изменении плаценты, чем те, что выявляются стандартными гистологическими методиками.

**Ключевые слова:** дети; материнское ожирение; плацента; коллаген.

## Как цитировать

Петренко Ю.В., Иванов Д.О., Полякова В.О., Новикова В.П., Федотова Е.П., Демченкова О.А., Леваднева М.И., Тарханова Е.Б. Состав коллагенов плаценты у родильниц с ожирением, получивших родоразрешение в Перинатальном центре Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета с 2018 по 2021 г. // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15129-36>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15129-36>

# Collagens of placenta composition in obese puerperant women who gave birth to children at St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2018–2021

Yuriy V. Petrenko<sup>1</sup>, Dmitry O. Ivanov<sup>1</sup>, Victoria O. Polyakova<sup>2</sup>, Valeria P. Novikova<sup>1</sup>, Elena P. Fedotova<sup>1</sup>, Olga A. Demchenkova<sup>1</sup>, Marina I. Levadneva<sup>1</sup>, Elena B. Tarkhanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The relevance of the problem of obesity is associated with the high frequency and steady growth of this pathology in the population. The epigenetic influence of maternal obesity on the course of pregnancy and childbirth, as well as on the condition of the fetus and newborn, is currently being studied. This article analyzes changes in the composition of the connective tissue of the placenta against the background of obesity in pregnant and puerperas.

**AIM:** The aim of this study is to identify the pathomorphological features of the placenta and the composition of placental collagens in women who were obese before pregnancy and at the time of delivery at the Perinatal Center of St. Petersburg State Medical University from 2018 to 2021 to assess potential fetal risks and to predict possible complications during pregnancy and in the postnatal period for the mother.

**MATERIALS AND METHODS:** A histological examination of the placentas of obese women (18 patients) and the ones with a normal body mass index (18 patients) who gave birth to mature newborns at the Perinatal Center of St. Petersburg State Medical University from 2018 to 2021 was performed followed by immunohistochemical examination. Staining of placenta specimens was carried out in accordance with the standard immunohistochemical protocol, using primary antibodies to type I–IV collagen.

**RESULTS:** Microscopic examination of chorionic villi revealed no significant differences in the presence of chronic inflammation and angiogenesis disorders between the groups. When studying collagen expression levels, the following differences have been found: in the group of pregnant obese patients, the optical luminescence density and distribution area for type I–III collagen in the placenta were significantly higher, while for type IV collagen they were significantly lower compared with the control group.

**CONCLUSIONS:** The following features of the formation of connective tissue in the placenta in obese mothers have been revealed: an increase in type I–III collagen production and a decrease in type IV collagen production. The obtained findings indicate an earlier functional and morphological change in the placenta than those detected by standard histological methods.

**Keywords:** children; maternal obesity; placenta; collagen.

## To cite this article

Petrenko YuV, Ivanov DO, Polyakova VO, Novikova VP, Fedotova EP, Demchenkova OA, Levadneva MI, Tarkhanova EB. Collagens of placenta composition in obese puerperant women who gave birth to children at St. Petersburg State Pediatric Medical University in 2018–2021. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):29–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15129-36>

Received: 12.12.2023

Accepted: 16.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Актуальность проблемы патологии беременности на фоне ожирения связана с ростом частоты ожирения в российской популяции [1, 3, 4]. Изучаются как генетические, так и эпигенетические предикторы ожирения [7], роль материнского ожирения в формировании заболевания у детей [11, 12]. В настоящее время установлено, что ожирение матерей является фактором риска патологического течения беременности, рождения маловесных новорожденных и новорожденных с массой тела более 4 кг, заболеваний детей в периоде новорожденности и в более старшем возрасте [11]. Неблагоприятные перинатальные исходы при ожирении матери связаны с изменением морфологической структуры и функционального состояния плаценты: уменьшением числа ворсин и их хроническим воспалением, нарушениемangiогенеза, плацентарной недостаточностью, нарушением экспрессии адипокинов, оперирующих в системе мать – плацента – плод [10, 12, 15, 16]. Изменения плаценты описаны при различных патологических состояниях беременности [8, 17]; выявлена роль нарушения формирования соединительной ткани в плаценте, в развитии плацентарной недостаточности [2, 18, 19].

Коллаген относится к фибрillлярным белкам, молекула которого включает 3 пептидные спиралевидные цепи, состоящие из 1 тыс. аминокислотных остатков в каждой. Из них формируется плотная спираль второго порядка с параллельной ориентацией цепей, между которыми присутствуют водородные связи [6]. Коллаген синтезируется в фибробластах; он является компонентом экстрацеллюлярного матрикса [14]. Наиболее распространены интерстициальные (фибрillлярные) коллагены I, II, III, V, XI типов. Эндотелиальные клетки базальной мембранны продуцируют коллаген IV типа, выполняющий специфическую структурную функцию [14] и играющий основную роль в сохранении целостности эпителия. Коллаген IV типа единственный имеет в своем составе аминокислоту лизин и не дезаминируется. Выработка лизина усиливается при гипоксии, урогенитальной инфекции, гормональных сдвигах [14]. За счет эластических свойств коллагена IV типа сосуды плаценты могут адаптивно деформироваться в широких пределах [13]. Коллаген IV типа — основной компонент разрушенных участков плаценты, что, вероятно, позволяет ей сохранять эластичность [9]. При патологии коллаген IV типа может замещать коллагены I и III типов, которые также выполняют структурную функцию. Это рассматривается как индикатор компенсации. Основным коллагеном, образующим каркас плаценты, является коллаген I типа, экспрессирующийся в якорных и базальных частях ворсин. Задержка роста плода сопровождается снижением содержания коллагена I в центральной зоне плаценты; в парацентральных зонах он экспрессирован в центральной части ворсин и не экспрессируется в периферических зонах котиледонов. В краевых зонах

коллаген I экспрессируется в центральной части ворсин, однако меньше, чем в парацентральной зоне [9]. Недостаточная экспрессия коллагена I типа, обладающего наибольшей механической плотностью, в центральной части плаценты и избыточная в краевых зонах свидетельствует о нарушении развития плаценты [2].

Коллаген III типа распределен в плаценте крайне неравномерно (различается в 2–4 раза) и даже может полностью отсутствовать. Предполагается, что адаптивная изменчивость морфологической структуры плаценты может быть связана с дифференциальной зональностью экспрессии коллагена III типа [2].

Проводились иммуногистохимические исследования коллагенов в плаценте при различных перинатальных состояниях: гипоксии плода в родах, асфиксии при рождении, переношенной беременности, при неблагоприятном течении периода ранней неонатальной адаптации [2, 5, 17, 18]. В то же время, исследований состояний коллагеногенеза у женщин с ожирением не проводилось.

Цель исследования — выявить патоморфологические особенности и оценить состав коллагенов плаценты у женщин, имевших ожирение до беременности и на момент родов, получивших родоразрешение в Перинатальном центре Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета (СПбГПМУ) с 2018 по 2021 г., для определения риска неблагоприятных исходов беременности и постнатальных осложнений.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено гистологическое исследование 18 плацент женщин, имеющих ожирение (группа 1) и 18 плацент женщин с нормальным индексом массы тела (группа 2), родивших доношенных младенцев в перинатальном центре СПбГПМУ с 2018 по 2021 г. Биопсийный материал исследуемой части плацент объемом 1 см<sup>3</sup> фиксировали в 10 % нейтральном забуференном формалине (рН 7,2), обезвоживали с помощью автоматической станции проводки материала Leica TP1020 и заливали в парафин. Парафиновые срезы толщиной 4–6 мкм помещали на предметные стекла, покрытые пленкой из поли-L-лизина (Sigma, США) для последующего иммуногистохимического (ИГХ) исследования. Окрашивание препаратов плаценты проводили по стандартному ИГХ-протоколу, с использованием первичных антител к коллагену I типа (1 : 100, Abcam), коллагену II типа (1 : 50, Abcam), коллагену III типа (1 : 100, Abcam), коллагену IV типа (1 : 100, Abcam). В качестве вторичных антител использовали антитела, коньюгированные с флуорохромами: Alexa Fluor 488 (1 : 1000, Abcam, США). Ядра клеток докрашивали Hoechst 33258 (Sigma, США). Далее проводили морфометрическое исследование микрофотографий с использованием системы компьютерного анализа микроскопических изображений, состоящей из микроскопа Zeiss Fluoview CM FV300-IX70, цифровой камеры Olympus и программного обеспечения

с открытым исходным кодом ImageJ 1.53 (US National Institutes of Health). В каждом срезе в пяти полях зрения оценивали следующие показатели: оптическую плотность экспрессии, значение рассчитывалось автоматически в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера; использование индикатора, так называемой оптической плотности выражения (у. е.), для анализа оптических параметров микрофотографий является приемлемым, поскольку измерения проводятся по аналогии со спектрофотометрическим анализом; область относительного выражения, рассчитывается как отношение площади имунопозитивных клеток к общей площади препарата:

$$S(\%) = \frac{S_{\text{позитивное}}}{S_{\text{общая}}} \times 100.$$

После чего вычисляли средние величины исследуемых показателей.

Статистическую обработку материала проводили с использованием стандартных методов математической статистики и программы JAMOVI 2.3.21. Описание количественных данных представлено в виде средневыборочного значения, стандартного отклонения и 95 % доверительного интервала в виде  $M \pm \sigma$  (95 % ДИ) и в виде

медианы ( $Me$ ) и quartiles  $Q_1$  и  $Q_3$  в формате  $Me [Q_1; Q_3]$ . Для проверки гипотезы о нормальности распределения применяли критерии Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Для сравнения независимых выборок применялся критерий Стьюдента (с поправкой Уэлча, если были различные дисперсии) или Манна – Уитни в зависимости от типа распределения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Возраст женщин ( $34,4 \pm 4,8$  и  $32,5 \pm 4,7$  года;  $p = 0,240$ ), масса плаценты ( $611,3 \pm 128,1$  и  $610,6 \pm 141,8$  г;  $p = 0,988$ ), плодово-плацентарный индекс ( $0,168 \pm 0,023$  и  $0,164 \pm 0,022$ ;  $p = 0,636$ ) и морфологические показатели плаценты, характеризующие состояние ворсин, признаки хронического воспаления нарушения ангиогенеза и перинатальные риски, не имели значимых различий в изучаемых группах.

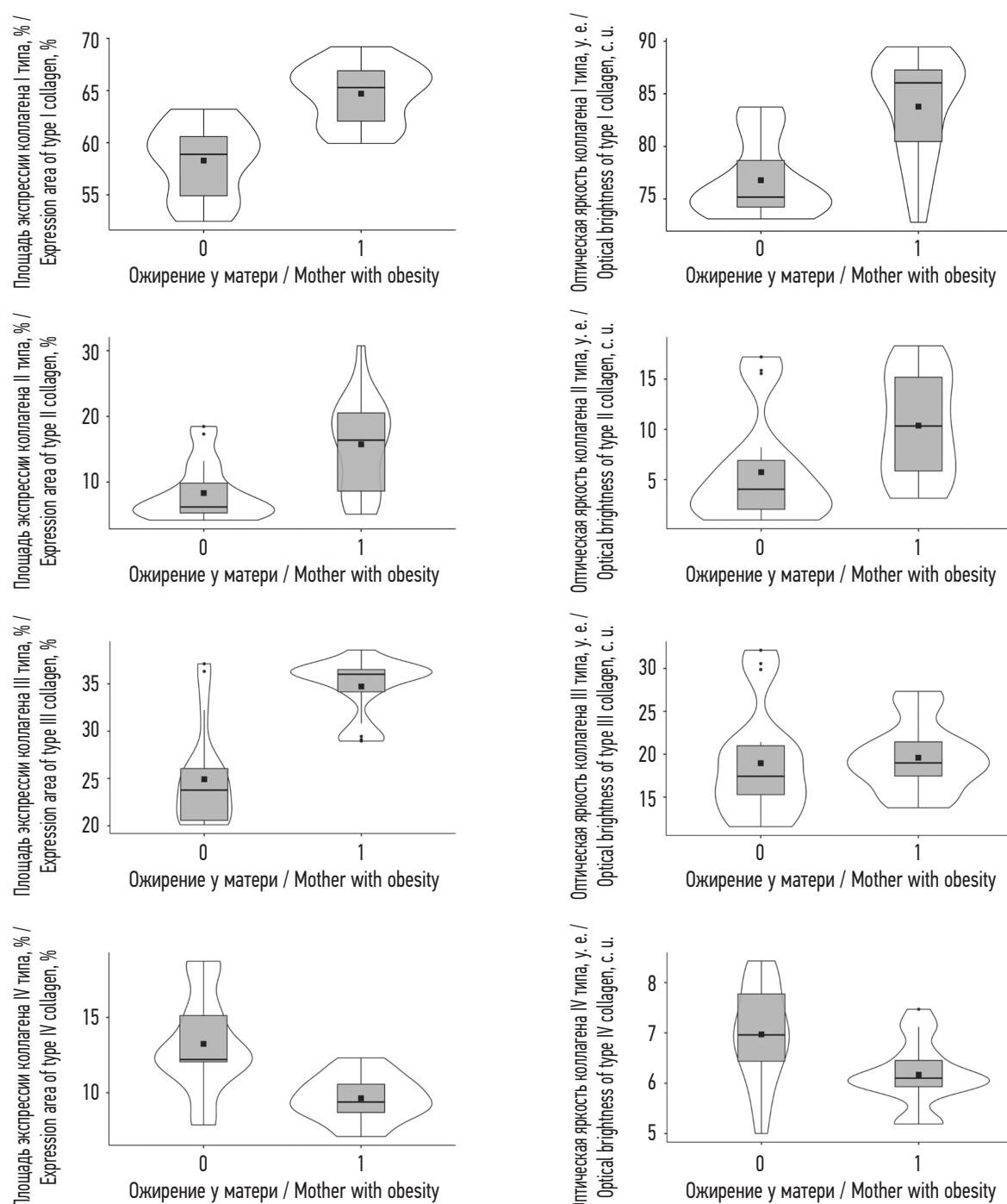
При анализе состава соединительной ткани плаценты обнаружены различия в выраженности (оптическая яркость) и площади экспрессии коллагенов I–IV типов. Результаты представлены в таблице и на последующих диаграммах (рис. 1).

**Таблица.** Экспрессия коллагенов в плаценте женщин с ожирением

**Table.** Collagen expression in the placenta of obese women

Показатель / Indicators	Группа 1 / Group 1 ( $n = 18$ )	Группа 2 / Group 2 ( $n = 18$ )	$p$
Коллаген I типа / Type I collagen			
Площадь экспрессии, % / Expression area, % ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$64,70 \pm 2,88$ (95 % ДИ/CI 63,27–66,13) $65,29 [62,07; 66,90]$	$58,29 \pm 3,54$ (95 % ДИ/CI 56,53–60,05) $58,89 [54,91; 60,59]$	<0,001
Оптическая яркость, у. е. / Optical brightness, с. и. ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$83,78 \pm 4,88$ (95 % ДИ/CI 81,36–86,21) $86,05 [80,46; 87,28]$	$76,78 \pm 3,62$ (95 % ДИ/CI 74,98–78,58) $75,18 [74,23; 78,67]$	<0,001
Коллаген II типа / Type II collagen			
Площадь экспрессии, % / Expression area, % ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$15,74 \pm 6,92$ (95 % ДИ/CI 12,30–19,19) $16,39 [8,62; 20,52]$	$8,33 \pm 4,37$ (95 % ДИ/CI 6,16–10,51) $6,21 [5,30; 9,94]$	<0,001
Оптическая яркость, у. е. / Optical brightness, с. и. ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$10,38 \pm 5,22$ (95 % ДИ/CI 7,78–12,97) $10,34 [5,87; 15,19]$	$5,74 \pm 5,27$ (95 % ДИ/CI 3,12–8,36) $4,04 [2,04; 6,19]$	0,008
Коллаген III типа / Type III collagen			
Площадь экспрессии, % / Expression area, % ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$34,72 \pm 3,01$ (95 % ДИ/CI 33,22–36,21) $36,10 [34,16; 36,52]$	$24,92 \pm 5,30$ (95 % ДИ/CI 22,29–27,55) $23,78 [20,58; 26,05]$	<0,001
Оптическая яркость, у. е. / Optical brightness, с. и. ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$19,60 \pm 3,97$ (95 % ДИ/CI 17,63–21,57) $18,99 [17,46; 21,45]$	$18,96 \pm 6,35$ (95 % ДИ/CI 15,80–22,12) $17,43 [15,29; 21,00]$	0,521
Коллаген IV типа / Type IV collagen			
Площадь экспрессии, % / Expression area, % ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$9,64 \pm 1,48$ (95 % ДИ/CI 8,91–10,38) $9,39 [8,70; 10,58]$	$13,25 \pm 3,14$ (95 % ДИ/CI 11,68–14,81) $12,21 [12,06; 15,13]$	<0,001
Оптическая яркость, у. е. / Optical brightness, с. и. ( $Me [Q_1; Q_3]$ )	$6,17 \pm 0,63$ (95 % ДИ/CI 5,85–6,49) $6,10 [5,93; 6,45]$	$6,97 \pm 0,96$ (95 % ДИ/CI 6,50–7,45) $6,96 [6,44; 7,78]$	0,005

*Приложение.* ДИ — доверительный интервал. *Note.* CI — confidence interval.



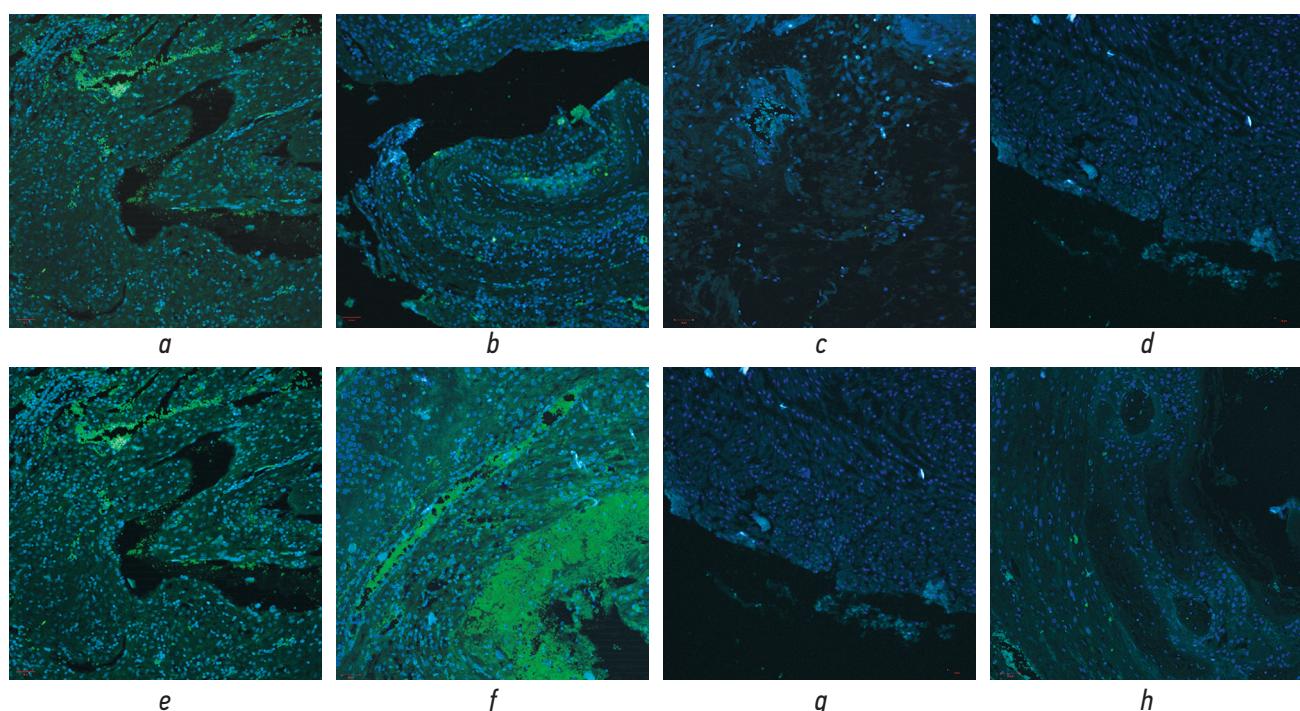
**Рис. 1.** Диаграммы экспрессии коллагенов в плаценте женщин с ожирением  
**Fig. 1.** Diagrams of collagen expression in the placenta of obese women

Клинические примеры иммуногистохимических исследований представлены на рис. 2.

## ВЫВОДЫ

При патоморфологическом исследовании плацент в группе беременных с ожирением и в группе беременных с нормальным индексом массы тела достоверных различий обнаружено не было. Однако были выявлены следующие особенности состава соединительной ткани

в плаценте у матерей с сопутствующим ожирением: увеличение продукции коллагенов I–III типов и уменьшение продукции коллагена IV типа. Выявляемые ИГХ-методом изменения соотношения коллагенов характеризовали более ранние функционально-морфологические изменения плаценты, чем те, что выявляются стандартными гистологическими методиками, в связи с чем могут быть использованы в качестве предикторов неблагоприятных исходов беременности и осложнений в постнатальном периоде.



**Рис. 2.** Клинические примеры исследований экспрессии коллагенов в плаценте: *a* — экспрессия коллагена I типа в плаценте пациентки К. Н., 34 года, ИМТ 32; *b* — экспрессия коллагена I типа в плаценте пациентки А. П., 20 лет, ИМТ 21; *c* — экспрессия коллагена II типа в плаценте пациентки О. В., 31 год, ИМТ 34; *d* — экспрессия коллагена II типа в плаценте пациентки А. С., 32 года, ИМТ 23; *e* — экспрессия коллагена III типа в плаценте пациентки И. В., 30 лет, ИМТ 29; *f* — экспрессия коллагена III типа в плаценте пациентки В. П., 28 лет, ИМТ 24; *g* — экспрессия коллагена IV типа в плаценте пациентки О. В., 31 год, ИМТ 34; *h* — экспрессия коллагена IV типа в плаценте пациентки А. С., 32 года, ИМТ 23. Докрашивание ядер DAPI, увеличение ×20

**Fig. 2.** Clinical examples of the studies on collagen expression in the placenta: *a* — expression of type I collagen in placenta of patient K. N., 34 y. o., BMI 32; *b* — expression of type I collagen in the placenta of A. P., 20 y. o., BMI 21; *c* — expression of type II collagen in the placenta of patient O. V., 31 y. o., BMI 34; *d* — expression of type II collagen in the placenta of patient A. S., 32 y. o., BMI 23; *e* — expression of type III collagen in the placenta of patient I. V., 30 y. o., BMI 29; *f* — expression of type III collagen in the placenta of patient V. P., 28 y. o., BMI 24; *g* — expression of type IV collagen in the placenta of patient O. V., 31 y. o., BMI 34; *h* — expression of type IV collagen in placenta of patient A. S., 32 y. o., BMI 23. Additional nuclear staining with DAPI, magnification ×20

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с про-веденным исследованием и публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдулхабирова Ф.М., Абросимов А.Ю., Александрова Г.Ф., и др. Эндокринология: Российские клинические рекомендации. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2016. 592 с. EDN: YPFEXX
- Буркитова А.М., Полякова В.О., Болотских В.М., Кветной И.М. Особенности строения плаценты при переношенной беременности // Журнал акушерства и женских болезней. 2019. Т. 68, № 6. С. 73–86. EDN: TAGSLQ doi: 10.17816/JOWD68673-86
- Волощук И.Н. Морфологические основы и патогенез плацентарной недостаточности: автореф. ... дис. д-ра мед. наук. Москва, 2002. 48 с. EDN: NHGWNN
- Грицинская В.Л., Новикова В.П., Хавкин А.И. К вопросу об эпидемиологии ожирения у детей и подростков (систематический обзор и мета-анализ научных публикаций за 15-летний период) // Вопросы практической педиатрии. 2022. Т. 17, № 2. С. 126–135. EDN: BTFVGE doi: 10.20953/1817-7646-2022-2-126-135

5. Краснопольский В.И., Новикова С.В., Савельев С.В., Баринова И.В. Определение роли коллагена в формировании плацентарной недостаточности // Российский вестник акушера-гинеколога. 2007. Т. 7, № 5. С. 17–23. EDN: ICEIST
6. Мазуров В.И. Биохимия коллагеновых белков. Москва: Медицина, 1974. 248 с. EDN: ZFXVSR
7. Новикова В.П., Гурова М.М. Мультидисциплинарные проблемы ожирения у детей. Санкт-Петербург, 2018. 582 с. EDN: YWKXOX
8. Новикова С.В., Савельев С.В. К вопросу о структурных основах, определяющих функциональные проявления плацентарной недостаточности // РМЖ. Мать и дитя. 2014. Т. 22, № 14. С. 1030. EDN: SKBOAV
9. Новикова С.В. Современные проблемы родоразрешения женщин с фетоплацентарной недостаточностью: автореф. ... дис. д-ра мед. наук. Москва, 2005. 47 с. EDN: NQCBMF
10. Петренко Ю.В., Прокопьева Н.Э., Ковалева В.В., Ковалева В.В. Особенности адипонектина в системе мать–плацента–плод // Университетский терапевтический вестник. 2023. Т. 5, № 3. С. 41–49. EDN: MOHAVQ doi: 10.56871/UTJ.2023.42.20.004
11. Петренко Ю.В., Новикова В.П., Полунина А.В. Ожирение у матерей и здоровье детей разного возраста // Педиатр. 2018. Т. 9, № 3. С. 24–27. EDN: RVJCIH doi: 10.17816/PED9324-27
12. Петренко Ю.В., Прокопьева Н.Э., Иванов Д.О., и др. К вопросу о фетальном программировании ожирения у детей // Forcipe. 2022. Т. 5, № S2. С. 399–400. EDN: EQKSVB
13. Петрова В.Д. Недержание мочи у женщин (этиопатогенез, клиника, диагностика, лечение): автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2005. 48 с. EDN: NQCJOZ
14. Савельев С.В., Буюнова С.Н., Бабунашвили Е.Л., Мгелиашвили М.В. Определение роли коллагена IV типа в патогенезе миомы матки // Российский вестник акушерства и гинекологии. 2005. Т. 5, № 4. С. 7–10.
15. Смирнова Н.Н., Куприенко Н.Б., Новикова В.П., Хавкин А.И. Плацента как орган-мишень материнского ожирения // Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии. 2021. Т. 20, № 5. С. 93–99. EDN: WSJGRO doi: 10.20953/1726-1678-2021-5-93-99
16. Смирнова Н.Н., Куприенко Н.Б., Петренко Ю.В., Новикова В.П. Материнское ожирение и система «мать–плацента–плод»: доказанные механизмы влияния // Children's Medicine of the North-West. 2021. Т. 9, № 3. С. 31–39. EDN: ZZIDYA
17. Edu A, Teodorescu C, Dobjanschi C.G., et al. Placenta changes in pregnancy with gestational diabetes // Rom J Morphol Embryol. 2016. Vol. 57, N. 2. P. 507–512.
18. Ortega M.A., Asúnsolo Á., Álvarez-Rocha M.J., et al. Remodelling of collagen fibres in the placentas of women with venous insufficiency during pregnancy // Histol Histopathol. 2018. Vol. 33, N. 6. P. 567–576. doi: 10.14670/HH-11-948
19. Shi J.W., Lai Z.Z., Yang H.L., et al. Collagen at the maternal-fetal interface in human pregnancy // Int J Biol Sci. 2020. Vol. 16, N. 12. P. 2220–2234. doi: 10.7150/ijbs.45586

## REFERENCES

1. Abdulkhabirova FM, Abrosimov AYu, Aleksandrova GF, et al. *Endocrinology: Russian clinical recommendations*. Moscow: GEOTAR-Media, 2016. 592 p. EDN: YPFEXX (In Russ.)
2. Burkitova AM, Polyakov VO, Bolotskikh VM, Kvetnoy IM. Features of the placenta structure in post-term pregnancy. *Journal of Obstetrics and Womans Diseases*. 2019;68(6):73–86. EDN: TAGSLQ doi: 10.17816/JOWD68673-86
3. Voloshchuk IN. *Morphologic bases and pathogenesis of placental insufficiency*. [dissertation abstract]. Moscow; 2002. 48 p. (In Russ.) EDN: NHGWN
4. Gritsinskaya VL, Novikova VP, Khavkin AI. On the epidemiology of underweight in children and adolescents (systematic review and meta-analysis of scientific publications). *Clinical Practice in Pediatrics*. 2022; 17(2):126–135. EDN: BTFVGE doi: 10.20953/1817-7646-2022-2-126-135
5. Krasnopol'sky VI, Novikova SV, Saveliev SV, Barinova IV. Determination of the role of collagen in the formation of placental insufficiency. *Russian Messenger of Obstetrician-Gynecologist*. 2007;7(5):17–23. EDN: ICEIST
6. Mazurov VI. *Biochemistry of collagen proteins*. Moscow: Medicine; 1974. 248 p. EDN: ZFXVSR (In Russ.)
7. Novikova VP, Gurova MM. *Multidisciplinary problems of obesity in children*. Saint Petersburg; 2018. 582 p. EDN: YWKXOX
8. Novikova SV, Savel'yev SV. To the question of structural bases determining functional manifestations of placental insufficiency. *Russian Journal of Woman and Child Health*. 2014;22(14):1030. EDN: SKBOAV
9. Novikova SV. *Modern problems of delivery of women with fetoplacental insufficiency*. [dissertation abstract]. Moscow 2005. 47 p. (In Russ.) EDN: NQCBMF
10. Petrenko YuV, Prokopyeva NE, Kovaleva VV, Kovaleva VV. Features of adiponectin at the mother–placenta–fetus system. *University Therapeutic Journal*. 2023;5(3):41–49. EDN: MOHAVQ doi: 10.56871/UTJ.2023.42.20.004
11. Petrenko YuV, Novikova VP, Polunina AV. Maternal obesity and child health at different ages. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2018;9(3):24–27. EDN: RVJCIH doi: 10.17816/PED9324-27
12. Petrenko YuV, Prokopeva NE, Ivanov DO, et al. Toward fetal programming of obesity in children. *Forcipe*. 2022;5(S2):399–400. EDN: EQKSVB (In Russ.)
13. Petrova VD. *Urinary incontinence in women (etiopathogenesis, clinic, diagnosis, treatment)*: [dissertation abstract]. Moscow; 2005. 48 p. (In Russ.) EDN: NQCJOZ
14. Savel'ev SV, Buyanova SN, Babunashvili EL, Mgeliashvili MV. Determination of the role of collagen type IV in the pathogenesis of uterine myoma. *Russian Herald of Obstetrics and Gynecology*. 2005;5(4):7–10. (In Russ.)
15. Smirnova NN, Kuprienko NB, Novikova VP, Khavkin AI. Placenta as a target organ for maternal obesity. *Gynecology, Obstetrics and Perinatology*. 2021;20(5):93–99. EDN: WSJGRO doi: 10.20953/1726-1678-2021-5-93-99
16. Smirnova NN, Kuprienko NB, Petrenko YuV, Novikova VP. Maternal obesity and the mother–placenta–fetus system: evidence-based mechanisms of influence. *Children's Medicine of the North-West*. 2021;9(3):31–39. EDN: ZZIDYA
17. Edu A, Teodorescu C, Dobjanschi CG, et al. Placenta changes in pregnancy with gestational diabetes. *Rom J Morphol Embryol*. 2016;57(2):507–512.

- 18.** Ortega MA, Asúnsolo Á, Álvarez-Rocha MJ, et al. Remodelling of collagen fibres in the placentas of women with venous insufficiency during pregnancy. *Histol Histopathol.* 2018;33(6):567–576. doi: 10.14670/HH-11-948

- 19.** Shi JW, Lai ZZ, Yang HL, et al. Collagen at the maternal-fetal interface in human pregnancy. *Int J Biol Sci.* 2020;16(12):2220–2234. doi: 10.7150/ijbs.45586

## ОБ АВТОРАХ

**Юрий Валентинович Петренко**, канд. мед. наук, доцент кафедры неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8623-4574; eLibrary SPIN: 1644-1394; e-mail: alez1964@yandex.ru

**Дмитрий Олегович Иванов**, д-р мед. наук, профессор, главный внештатный специалист-неонатолог Минздрава России, ректор, заведующий кафедрой неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**Виктория Олеговна Полякова**, д-р биол. наук, профессор, профессор РАН, заместитель директора по научной работе, ФГУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-8682-9909; eLibrary SPIN: 5581-5413; e-mail: vopol@yandex.ru

**\*Валерия Павловна Новикова**, д-р мед. наук, профессор, заведующая кафедрой пропедевтики детских болезней с курсом общего ухода за детьми, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; ORCID: 0000-0002-0992-1709; eLibrary SPIN: 1875-8137; e-mail: novikova-vp@mail.ru

**Елена Павловна Федотова**, канд. мед. наук, доцент кафедры патологической анатомии с курсом судебной медицины им. Д.Д. Лохова, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-2975-1014; e-mail: Kris6060@mail.ru

**Ольга Алексеевна Демченкова**, лаборант кафедры пропедевтики детских болезней с курсом общего ухода за детьми, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-2686-5785; eLibrary SPIN: 5092-4778; e-mail: dnwhelga@list.ru

**Марина Ивановна Леваднева**, заведующая отделением физиологии новорожденных ПЦ Клиники, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-6716-7567; eLibrary SPIN: 2780-6674; e-mail: m-lev11@yandex.ru

**Елена Борисовна Тарханова**, врач-неонатолог отделения физиологии новорожденных ПЦ Клиники ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-6338-2558; e-mail: kasablanka85@list.ru

## AUTHORS' INFO

**Yuriy V. Petrenko**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Neonatology with Courses in Neurology and Obstetrics-Gynecology, Faculty of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-8623-4574; eLibrary SPIN: 1644-1394; e-mail: alez1964@yandex.ru

**Dmitry O. Ivanov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Chief Freelance Neonatologist of the Ministry of Health of Russia, Rector, Head of the Department of Neonatology with courses of Neurology and Obstetrics and Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**Victoria O. Polyakova**, PhD, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-8682-9909; eLibrary SPIN: 5581-5413; e-mail: vopol@yandex.ru

**\*Valeria P. Novikova**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Head of the Department, Department of Propaedeutics of Childhood Diseases with a course of general child care, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litovskaya st., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0002-0992-1709; eLibrary SPIN: 1875-8137; e-mail: novikova-vp@mail.ru

**Elena P. Fedotova**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Pathological Anatomy with a Course of Forensic Medicine named after D.D. Lokhov, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-2975-1014; e-mail: Kris6060@mail.ru

**Olga A. Demchenkova**, Laboratory Assistant, Department of Propaedeutics of Childhood Diseases with a course of general child care, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-2686-5785; eLibrary SPIN: 5092-4778; e-mail: dnwhelga@list.ru

**Marina I. Levadneva**, Head, Department of Neonatal Physiology, Perinatal Center, Pediatric University Clinic, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-6716-7567; eLibrary SPIN: 2780-6674; e-mail: m-lev11@yandex.ru

**Elena B. Tarkhanova**, Neonatologist, Department of Neonatal Physiology, Perinatal Center, Pediatric University Clinic, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-6338-2558; e-mail: kasablanka85@list.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15137-44>

# Влияние неалкогольной жировой болезни печени на репродуктивную функцию в эксперименте

Т.В. Брус<sup>1</sup>, А.А. Калинина<sup>1</sup>, А.В. Баннова<sup>2</sup>, Р.В. Кораблев<sup>1</sup>, Ю.С. Брус<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В настоящее время внимание специалистов привлекает взаимосвязь неалкогольной жировой болезни печени и развитие репродуктивных нарушений как у мужчин, так и у женщин. Для лучшего понимания этиологии этих состояний и механизмов патогенеза разрабатываются экспериментальные модели. Модель с применением гиперкалорийной диеты, содержащей повышенное количество углеводов, представлена в данном исследовании.

**Цель** — изучить влияние неалкогольной жировой болезни печени на репродуктивную функцию самок крыс линии Wistar.

**Материалы и методы.** Исследование было проведено на 30 крысах-самках линии Wistar, которые были разделены на две группы. Крысы контрольной группы получали стандартное питание. У крыс экспериментальной группы воспроизошла модель неалкогольной жировой болезни печени. Для верификации диагноза в группах оценивали изменения массы тела животных, уровень общего холестерина, триглицеридов и глюкозы. После установки диагноза к самкам подсаживали самцов для оценки fertильности самок.

**Результаты.** Содержание животных на высокоглеводной диете приводило к ожирению самок экспериментальной группы. У крыс с неалкогольной жировой болезнью печени обнаружено достоверное повышение в крови уровня общего холестерина и триглицеридов, а также глюкозы. Зарегистрировано достоверное уменьшение количества беременностей в группе с неалкогольной жировой болезнью печени. Выявлено также уменьшение числа особей в потомстве.

**Выводы.** Результаты эксперимента свидетельствуют, что неалкогольная жировая болезнь печени достоверно снижает fertильность самок лабораторных крыс и уменьшает количество особей в помете. Данная модель может быть использована для изучения причин развития заболевания, а также для лучшего понимания механизмов, лежащих в основе репродуктивной дисфункции у пациентов.

**Ключевые слова:** неалкогольная жировая болезнь печени; гепатоз; стеатогепатит; бесплодие; крысы.

## Как цитировать

Брус Т.В., Калинина А.А., Баннова А.В., Кораблев Р.В., Брус Ю.С. Влияние неалкогольной жировой болезни печени на репродуктивную функцию в эксперименте // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15137-44>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15137-44>

# Influence of non-alcoholic fatty liver disease on reproductive function in an experiment

Tatiana V. Brus<sup>1</sup>, Anna A. Kalinina<sup>1</sup>, Anastasia V. Bannova<sup>2</sup>, Rodion V. Korablev<sup>1</sup>, Yurii S. Brus<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Currently, the attention of specialists is drawn to the relationship between non-alcoholic fatty liver disease and the development of reproductive disorders in both men and women. To better understand the etiology of these conditions and the mechanisms of pathogenesis, experimental models are being developed. A model using a hypercaloric diet containing increased amounts of carbohydrates is presented in this study.

**AIM:** The aim of this study is to study the effect of non-alcoholic fatty liver disease on the reproductive function of female Wistar rats.

**MATERIALS AND METHODS:** The study was conducted on 30 female Wistar rats, which were divided into two groups. The rats in the control group received standard nutrition. The non-alcoholic fatty liver disease model was reproduced in rats of the experimental group. To verify the diagnosis in the groups, changes in animal body weight, total cholesterol, triglycerides and glucose were assessed. After the diagnosis of non-alcoholic fatty liver disease was established, males were placed with the females to assess the females' fertility.

**RESULTS:** Keeping animals on a high-carbohydrate diet led to obesity in the females of the experimental group. In rats with non-alcoholic fatty liver disease, a significant increase in the blood levels of total cholesterol and triglycerides, as well as glucose, was found. A significant decrease in the number of pregnancies was recorded in the group with non-alcoholic fatty liver disease. A decrease in the number of individuals in the offspring was also revealed.

**CONCLUSIONS:** The results of the experiment indicate that the use of a hypercaloric diet in rats causes the development of non-alcoholic fatty liver disease. Non-alcoholic fatty liver disease significantly reduces the fertility of female laboratory rats and reduces the number of individuals in the litter. This model can be used to study the causes of the development of the disease, as well as to better understand the mechanisms underlying reproductive dysfunction in patients.

**Keywords:** non-alcoholic fatty liver disease; hepatosis; steatohepatitis; infertility; rats.

## To cite this article

Brus TV, Kalinina AA, Bannova AV, Korablev RV, Brus YuS. Influence of non-alcoholic fatty liver disease on reproductive function in an experiment. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):37–44. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15137-44>

Received: 11.12.2023

Accepted: 17.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время неалкогольная жировая болезнь печени (НАЖБП) занимает лидирующую позицию в структуре заболеваний печени и рассматривается как мультисистемное заболевание, ассоциированное с метаболическим синдромом [10, 12]. Как известно, МС включает такие патологические состояния, как ожирение, инсулиноврезистентность (ИР), сахарный диабет 2-го типа, гиперлипидемию и артериальную гипертензию [24].

Общая распространенность НАЖБП в мире в среднем составляет 25,24 %. Наиболее высокая распространенность наблюдается на Ближнем Востоке и в Южной Америке, наиболее низкая — в Африке [25]. По данным Всероссийского эпидемиологического исследования DIREG 2 распространенность НАЖБП в России составляет 37,3 % [9], а в Санкт-Петербурге — 49,1 % [11].

Одна из острых проблем у пациенток с НАЖБП — нарушение репродуктивной функции, в том числе ановуляторный менструальный цикл, гиперандрогенемия, синдром поликистозных яичников, бесплодие [16]. Частота бесплодия в группе женщин с НАЖБП составляет 33,6 % по сравнению с 18,6 % среди женщин с нормальной массой тела [8].

Гиперинсулинемия стимулирует синтез яичниковых андрогенов, а также ингибитирует секрецию глобулинов, связывающих половые гормоны в печени, что приводит к увеличению циркуляции свободных андрогенов в кровотоке. Патологическая ИР при беременности может стать причиной развития гестационного сахарного диабета, артериальной гипертензии, привести к прерыванию беременности. Увеличивается риск осложнений и в неонатальном периоде, что связано с нарушениями развития плода, — гипертрофия и гипотрофия плода встречается у женщин с патологической ИР соответственно в 2 и в 3 раза чаще, чем у здоровых женщин [5]. Кроме того, накопление жировых отложений может привести к тканевой гипоксии, митохондриальной дисфункции и развитию окислительного стресса, приводит к активации процессов перекисного окисления липидов [2, 7].

Тем не менее влияние женских половых гормонов на развитие метаболических нарушений у пациенток с НАЖБП не до конца изучено. Для глубокого изучения механизмов взаимосвязи НАЖБП и репродуктивной дисфункции необходим поиск адекватных экспериментальных моделей. В ряде научных исследований была доказана эффективность высококалорийной диеты с повышенным содержанием углеводов («западная диета») [1]. Такая диета приближена к питанию современного человека и считается наиболее подходящей для моделирования НАЖБП. Было также обнаружено, что «диета кафетерия» отрицательно влияет на репродуктивную функцию самок, уменьшая количество ооцитов и толщину фолликулярного слоя [3, 22].

Цель исследования — изучить влияние неалкогольной жировой болезни печени на репродуктивную функцию самок крыс линии Wistar.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на 30 самках крыс Wistar, массой тела на момент включения в исследование 220–240 г, на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры патологической физиологии с курсом иммунопатологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Животные получены из ФГУП ПЛЖ «Рапполово» РАМН (Ленинградская область). Перед началом исследования его план и стандартные операционные процедуры были рассмотрены и утверждены Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России (№ 09/04 от 11.02.2022).

Животные были разделены на 2 группы:

1. «Контроль» ( $n = 15$ ) — здоровые, интактные крысы, у которых производили исследование параметров метаболизма для расчета фоновых, референсных значений («нормальные показатели»).

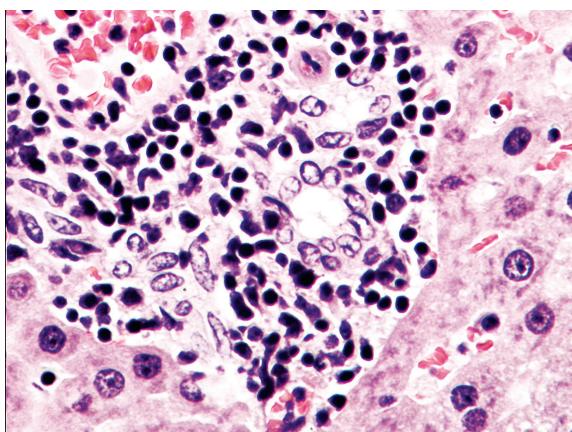
2. «НАЖБП» ( $n = 15$ ) — крысы, которые на протяжении всего эксперимента в течение 30 дней в качестве корма получали брикеты, содержащие пищевые компоненты в следующих соотношениях (по массе): 26 % белок, 10 % животный жир, 50 % фруктоза, 8 % целлюлоза, 5 % минеральные вещества, 1 % витамины.

Через 30 дней часть животных вывели из эксперимента (5 из контрольной группы, 5 из группы НАЖБП) для оценки параметров метаболизма.

В ходе исследования производили морфометрическую оценку изменения массы тела лабораторных животных, биохимический анализ основных метаболических показателей крови, гистологическое исследование печени. Общепринятыми методами *in vitro* определяли: уровень глюкозы, общего холестерина (ОХ), триглицеридов (ТГ).

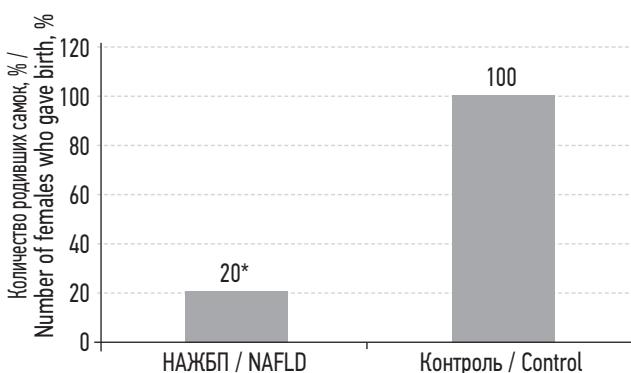
Для оценки fertильности к оставшимся крысам ( $n = 10$  из контрольной группы,  $n = 10$  из группы НАЖБП) подсаживали интактных самцов (по 1 самцу и 1 самке в клетку). На следующий день производили мазок из влагалища самок и фиксировали наличие в нем живых сперматозоидов (этот день считали первым днем беременности). Через 21 день (срок нормальной беременности у крыс) регистрировали число родивших самок и оценивали количество особей в потомстве. Крысы каждой группы на протяжении беременности получали питание, соответствующее их диете.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения SPSS for Windows 13.0. Сравнение средних данных независимых выборочных совокупностей выполняли с помощью *t*-критерия Стьюдента (при нормальном распределении вариант в выборке) и *U*-критерия Манна – Уитни (при распределении вариант, отличном от нормального). Статистически значимыми изменения принимали при  $p < 0,05$ .



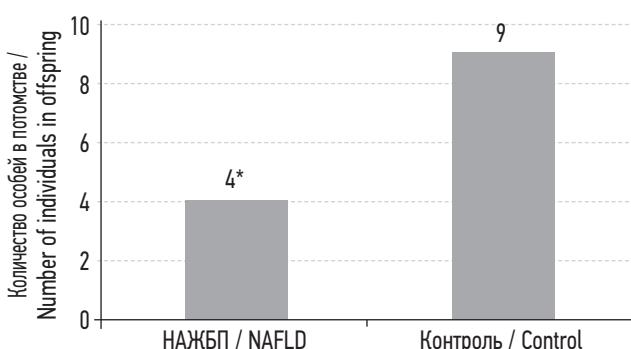
**Рис. 1.** Неалкогольная жировая болезнь печени (аутоптат печени, окраска гематоксилином и эозином, увел.  $\times 40$ ). Мононуклеарная инфильтрация

**Fig. 1.** Non-alcoholic fatty liver disease (liver autopsy, Hematoxylin-eosin staining, magnification  $\times 40$ ). Mononuclear cell infiltration



**Рис. 2.** Количество родивших самок крыс в экспериментальной и контрольной группах. \*Отличия от группы «Контроль» достоверны на принятом уровне значимости ( $p < 0,05$ ). НАЖБП — неалкогольная жировая болезнь печени

**Fig. 2.** The number of female rats who gave birth in the experimental and control groups. \*Difference from the “Control” group at the established detection level ( $p < 0,05$ ). NAFLD — non-alcoholic fatty liver disease



**Рис. 3.** Количественное сравнение родившихся особей в потомстве у экспериментальной и контрольной групп. \*Отличия от группы «Контроль» достоверны на принятом уровне значимости ( $p < 0,05$ ). НАЖБП — неалкогольная жировая болезнь печени

**Fig. 3.** Quantitative comparison of born individuals in offspring in experimental and control groups. \*Difference from the “Control” group at the established detection level ( $p < 0,05$ ). NAFLD — non-alcoholic fatty liver disease

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При воспроизведении НАЖБП у крыс экспериментальной группы были выявлены характерные признаки — висцеральное ожирение, гипергликемия, дислипидемия.

После 30-дневной гиперкалорийной, насыщенной углеводами диеты у животных группы НАЖБП наблюдалось увеличение массы тела на 19 % ( $300 \pm 10$  г) по сравнению с контрольной группой ( $260 \pm 7$  г) ( $p < 0,01$ ).

Основу патогенеза НАЖБП в используемой в исследовании модели поражения печени составляет глубокое нарушение липидного обмена с развитием гиперхолестеринемии и гипертриглицеридемии. Анализ основных биохимических параметров крови выявил статистически значимое повышение уровня ТГ у животных экспериментальной группы ( $1,13 \pm 0,53$  ммоль/л) на 24 % по сравнению с контролем ( $p < 0,01$ ). Регистрировали также статистически значимое повышение уровня ОХ ( $2,52 \pm 0,7$  ммоль/л) на 45 % ( $p < 0,05$ ) и уровня глюкозы ( $7,25 \pm 1,1$  ммоль/л) на 42 % ( $p < 0,05$ ).

Гистологическое исследование также подтвердило различную степень выраженности морфологических изменений в экспериментальной и контрольной группах. У животных группы НАЖБП на гистологических препаратах печени регистрировали мононуклеарную инфильтрацию, гиперемию синусоидов, нарушение балочной структуры (рис. 1). В экспериментальной группе с НАЖБП наблюдалась крупнокапельная жировая дистрофия, которая характеризовалась наличием крупных липидных капель в цитоплазме гепатоцитов со смешением ядра к периферии клетки.

По прошествии 21 дня, после того как к оставшимся крысам были подсажены интактные самцы, было получено потомство. В результате развившихся тяжелых метаболических нарушений в группе животных НАЖБП способность к оплодотворению снизилась на 80 % по сравнению с контрольной группой. Все крысы (100 %) контрольной группы забеременели ( $n = 10$ ), из группы НАЖБП ( $n = 10$ ) — лишь 2 (20 %) (рис. 2).

У двух родивших крыс из группы НАЖБП родилось по 4 крысятка. В контрольной группе количество крысят в потомстве составило  $9 \pm 2$  особи (рис. 3).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Использование фруктозоиндексированной модели НАЖБП приводило к развитию основных компонентов метаболическим синдромом: НАЖБП, ожирению, дислипидемии, инсулинорезистентности. Как известно, метаболизм фруктозы значительно влияет как на липидный гомеостаз, так и на обмен глюкозы [14, 19]. Прием фруктозы усиливает липогенез *de novo* в гепатоцитах, что приводит к накоплению свободных жирных кислот (СЖК) [4, 7].

У животных экспериментальной группы развилась гипергликемия, вследствие развития инсулинерезистентности. Она может быть вызвана снижением как чувствительности клеток-мишеней к инсулину, так и рецепторов инсулина [13]. Гипертрофия жировой ткани сопровождается снижением продукции противовоспалительного адипонектина и увеличением продукции провоспалительных фактора некроза опухоли альфа, интерлейкина 6, лептина, резистина, которые снижают чувствительность тканей к инсулину. Предыдущие эксперименты также доказывают развитие инсулинерезистентности у животных с НАЖБП [1, 17]. Есть данные, подтверждающие увеличение числа апоптотических фолликулов у крыс с НАЖБП по сравнению с контрольной группой [6, 15].

Анализ полученных данных позволяет сделать заключение о снижении fertильности самок крыс с НАЖБП, о чем свидетельствует снижение количества родивших самок, а также уменьшение числа особей в потомстве.

Результаты настоящего эксперимента коррелируют с данными клинических исследований [7, 18, 20]. Механизмы зависимости снижения fertильности при НАЖБП сложны и многофакторны: гормональные изменения могут привести к ановуляции, снижению качества ооцитов и восприимчивости эндометрия. Одним из механизмов повреждения органелл ооцитов является липотоксичность. Избыток СЖК накапливается в виде ТГ в адипоцитах, где они оказывают повреждающее действие на клетки. При снижении способности адипоцитов аккумулировать ТГ, СЖК концентрируются в других тканях, в частности в ооцитах, оказывая токсическое действие [18, 23]. СЖК повышают количество активных форм кислорода, которые способны вызывать окислительный стресс митохондрий [7, 21].

Нередко у женщин с НАЖБП диагностируют синдром поликистозных яичников, недостаточность лютеиновой фазы менструального цикла, гирсутизм, вирилизацию, гиперпластические процессы эндометрия с повышенным риском развития рака эндометрия. Все эти состояния отрицательно влияют на fertильность [20].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирулина Ю.Г., Иванов В.В., Буйко Е.Е., и др. Экспериментальная модель метаболического синдрома у крыс на основе высокожировой и высокоуглеводной диеты // Бюллетень сибирской медицины. 2020. Т. 19, № 4. С. 14–20. EDN: DIHLEB doi: 10.20538/1682-0363-2020-4-14-20
2. Брус Т.В., Васильев А.Г. Современное представление о неалкогольной жировой болезни печени // Российские биомедицинские исследования. 2020. Т. 5, № 1. С. 18–25. EDN: YSAVYS
3. Брус Т.В., Васильев А.Г., Кравцова А.А., и др. Биомоделирование жировой дистрофии печени смешанной этиологии // Педиатр. 2023. Т. 14, № 5. С. 25–31. EDN: BNSRIF doi: 10.17816/PED625940
4. Патент на изобретение № 2757199/ 12.10.2021. Брус Т.В., Васильев А.Г., Трашков А.П., и др. Способ моделирования жировой болезни печени смешанного генеза у крыс. Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2757199C1\\_20211012](https://yandex.ru/patents/doc/RU2757199C1_20211012)
5. Брус Т.В., Евграфов В.А. Патофизиология печеночной недостаточности // Педиатр. 2022. Т. 66, № 1. С. 55–64. EDN: CYDBYP doi: 10.17816/PED13355-64
6. Брус Т.В., Пюрвеев С.С., Васильева А.В., и др. Морфологические изменения печени при жировой дистрофии различной этиологии // Российские биомедицинские исследования. 2021. Т. 6, № 3. С. 21–26. EDN: MAGKAZ

## ВЫВОДЫ

Результаты настоящего исследования подтверждают, что использование гиперкалорийной, насыщенной углеводами диеты у крыс приводит к развитию НАЖБП, основными проявлениями которой являются: висцеральное ожирение, дислипидемия, инсулинерезистентность, гипергликемия. Данная диета максимально приближена к современному питанию большинства людей.

Результаты эксперимента доказывают, что развитие НАЖБП оказывает негативное влияние на репродуктивную функцию самок лабораторных крыс, что выявляется в статистически значимом снижении числа беременностей в экспериментальной группе и уменьшении числа особей в потомстве родивших самок с НАЖБП.

Применяемая в исследовании модель НАЖБП может быть использована для дальнейшего изучения ее влияния на репродуктивную систему, а также для исследования потенциальных подходов к профилактике и лечению возникающих метаболических нарушений.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли равный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made significant contributions to the development of the concept, research and preparation of the article and approved the final version before publication.

**Competing interests.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding source.** The authors declare that there is no external funding for the study.

7. Брус Т.В., Пурвеев С.С., Беляева И.В., и др. Влияние сочетанного действия пренатального метаболического синдрома и применения различных доз глюокортикоидов при беременности на потомство (экспериментальное исследование) // Детская медицина Северо-Запада. 2020. Т. 8, № 1. С. 66–67. EDN: ADRKIV
8. Брус Т.В., Хайцев Н.В., Кравцова А.А. Дисфункция печени в патогенезе ожоговой болезни и ее коррекция сукцинатсодержащими препаратами // Педиатр. 2016. Т. 7, № 4. С. 132–141. EDN: XRJTER doi: 10.17816/PED74132-141
9. Ивашкин В.Т., Драпкина О.М., Маев И.В., и др. Распространенность неалкогольной жировой болезни печени у пациентов амбулаторно-поликлинической практики в Российской Федерации: результаты исследования DIREG 2 // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2015. Т. 25, № 6. С. 31–41. EDN: VOXFQP
10. Ивашкин В.Т., Маевская М.В., Павлов Ч.С., и др. Клинические рекомендации по диагностике и лечению неалкогольной жировой болезни печени Российской общества по изучению печени и Российской гастроэнтерологической ассоциации // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2016. Т. 26, № 2. С. 24–42. EDN: YIYGHF doi: 10.22416/1382-4376-2016-26-2-24-42
11. Пальгова Л.К., Барановский А.Ю., Ушакова Т.И., и др. Эпидемиологические особенности неалкогольной жировой болезни печени в Северо-Западном регионе России (результаты открытого многоцентрового проспективного исследования DIREG 2) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2017. Т. 12, № 2. С. 118–135. EDN: ZDOTCB doi: 10.21638/11701/spbu11.2017.201
12. Савченко Я.В., Сергиевская З.А., Лопатиева С.О. Неалкогольная жировая дегенерация печени у людей различных возрастных групп: современный взгляд на проблему // Университетский терапевтический вестник. 2022. Т. 4, № 1. С. 11–21. EDN: OHBWEN doi: 10.56871/4338.2022.10.13.002
13. Ткачук В.А., Воротников А.В. Молекулярные механизмы развития резистентности к инсулину // Сахарный диабет. 2014. Т. 17, № 2. С. 29–40. EDN: SHBNYL doi: 10.14341/DM2014229-40
14. Трашков А.П., Брус Т.В., Васильев А.Г., и др. Динамика показателей красной крови у крыс с неалкогольной жировой болезнью печени и возможности ее коррекции // Клиническая патофизиология. 2017. Т. 23, № 3. С. 66–72. EDN: YPKUDT
15. Bazzano M.V., Torelli C., Pustovrh M.C., et al. Obesity induced by cafeteria diet disrupts fertility in the rat by affecting multiple ovarian targets // Reprod Biomed Online. 2015. Vol. 31, N. 5. P. 655–667. doi: 10.1016/j.rbmo.2015.08.004
16. Broughton D.E., Moley K.H. Obesity and female infertility: potential mediators of obesity's impact // Fertil Steril. 2017. Vol. 107, N. 4. P. 840–847. doi: 10.1016/j.fertnstert.2017.01.017
17. Buyco D.G., Martin J., Jeon S., et al. Experimental models of metabolic and alcoholic fatty liver disease // World J Gastroenterol. 2021. Vol. 27, N. 1. P. 1–18. doi: 10.3748/wjg.v27.i1.1
18. Guojun C., Zhang W., Sirpa M., et al. A role for the androgen receptor in follicular atresia of estrogen receptor beta knockout mouse ovary // Biol Reprod. 2022. Vol. 66, N. 1. P. 77–84. doi: 10.1095/biolreprod66.1.77
19. Herman M.A., Birnbaum M.J. Molecular aspects of fructose metabolism and metabolic disease // Cell Metab. 2021. Vol. 33, N. 12. P. 2329–2354. doi: 10.1016/j.cmet.2021.09.010
20. Jalilian A., Kiani F., Sayehmiri F., et al. Prevalence of polycystic ovary syndrome and its associated complications in Iranian women: a metaanalysis // Iran J Reprod Med. 2015. Vol. 13, N. 10. P. 591–604.
21. Marei W.F.A., Smits A., Mohey-Elsaeed O., et al. Differential effects of high fat diet-induced obesity on oocyte mitochondrial functions in inbred and outbred mice // Sci Rep. 2020. Vol. 10, N. 1. P. 9806. doi: 10.1038/s41598-020-66702-6
22. Na W., Li-Li L., Jin-Jie X., et al. Obesity accelerates ovarian follicle development and follicle loss in rats // Metabolism. 2014. Vol. 63, N. 1. P. 94–103. doi: 10.1016/j.metabol.2013.09.001
23. Wu L.L., Russell D.L., Wong S.L., et al. Mitochondrial dysfunction in oocytes of obese mothers: transmission to offspring and reversal by pharmacological endoplasmic reticulum stress inhibitors // Development. 2015. Vol. 142, N. 4. P. 681–691. doi: 10.1242/dev.114850
24. Younossi Z.M. Non-alcoholic fatty liver disease — A global public health perspective // J Hepatol. 2019. Vol. 70, N. 3. P. 531–544. doi: 10.1016/j.jhep.2018.10.033
25. Younossi Z.M., Koenig A.B., Abdelatif D., et al. Global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease — Meta-analytic assessment of prevalence, incidence, and outcomes // Hepatology. 2016. Vol. 64, N. 1. P. 73–84. doi: 10.1002/hep.28431

## REFERENCES

1. Birulina YuG, Ivanov VV, Buiko EE, et al. High-fat, high-carbohydrate diet-induced experimental model of metabolic syndrome in rats. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2020;19(4):14–20. EDN: DIHLEB doi: 10.20538/1682-0363-2020-4-14-20
2. Brus TV, Vasiliev AG. Up-to-date concept of non-alcoholic fatty liver disease. *Russian Biomedical Research*. 2020;5(1):18–25. EDN: YSAYYS
3. Brus TV, Vasiliev AG, Kravcova AA, et al. Biomodeling of mixed origin fatty liver disease. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2023;14(5):25–31. EDN: BNSRIF doi: 10.17816/PED625940
4. Patent RU No. 2757199 / 12.10.2021. Brus TV, Vasiliev AG, Trashkov AP, et al. Method of modeling fatty liver disease of mixed genesis in rats. Available from: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2757199C1\\_20211012](https://yandex.ru/patents/doc/RU2757199C1_20211012) (In Russ.)
5. Brus TV, Evgrafov VA. Pathophysiology of hepatic insufficiency. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2022;13(3):55–64. EDN: CYDBYP doi: 10.17816/PED13355-64
6. Brus TV, Pyurveev SS, Vasilieva AV, et al. Morphological liver changes in case of various ethiology fatty dystrophy. *Russian Biomedical Research*. 2021;6(3):21–26. EDN: MAGKAZ
7. Brus TV, Pyurveev SS, Belyaeva IV, et al. Effect of the combined effect of prenatal metabolic syndrome and the use of different doses of glucocorticoids in pregnancy and offspring (experimental study). *Children's Medicine of the North-West*. 2020;8(1):66–67. EDN: ADRKIV
8. Brus TV, Khaytsev NV, Kravtsova AA. Liver dysfunction in pathogenesis of burn disease and its correction with succinate-containing drugs. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2016;7(4):132–141. EDN: XRJTER doi: 10.17816/PED74132-141
9. Ivashkin VT, Drapkina OM, Mayev IV, et al. Of non-alcoholic fatty liver disease in out-patients of the Russian Federation: DIREG 2 study results. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2015;25(6):31–41. EDN: VOXFQP

- 10.** Ivashkin VT, Mayevskaya MV, Pavlov CS, et al. Diagnostics and treatment of non-alcoholic fatty liver disease: clinical guidelines of the Russian Scientific Liver Society and the Russian gastroenterological association. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology.* 2016;26(2):24–42. EDN: YIYGHP doi: 10.22416/1382-4376-2016-26-2-24-42
- 11.** Palgova LK, Baranovsky AY, Ushakova TI, et al. Epidemiological features of non-alcoholic fatty liver disease in the North-West region of Russia (Results of an open multicenter prospective study DIREG 2). *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine.* 2017;12(2):118–135. EDN: ZDOTCB doi: 10.21638/11701/spbu11.2017.201
- 12.** Savchenko YaV, Sergievskaya ZA, Lopatieva SO. Non-alcoholic fatty liver degeneration in people of different age groups: a modern view of the problem. *University Therapeutic Journal.* 2022;4(1):11–21. EDN: OHBWN doi: 10.56871/4338.2022.10.13.002
- 13.** Tkachuk VA, Vorotnikov AV. Molecular mechanisms of insulin resistance development. *Diabetes Mellitus.* 2014;17(2):29–40. EDN: SHBNYL doi: 10.14341/DM2014229-40
- 14.** Trashkov AP, Brus TV, Vasil'ev AG, et al. Red blood indicators' dynamics in rats with non-alcoholic fatty liver disease and possibilities of its correction. *Clinical Pathophysiology.* 2017;23(3):66–72. EDN: YPKUDT
- 15.** Bazzano MV, Torelli C, Pustovrh MC, et al. Obesity induced by cafeteria diet disrupts fertility in the rat by affecting multiple ovarian targets. *Reprod Biomed Online.* 2015;31(5):655–667. doi: 10.1016/j.rbmo.2015.08.004
- 16.** Broughton DE, Moley KH. Obesity and female infertility: potential mediators of obesity's impact. *Fertil Steril.* 2017;107(4):840–847. doi: 10.1016/j.fertnstert.2017.01.017
- 17.** Buyco DG, Martin J, Jeon S, et al. Experimental models of metabolic and alcoholic fatty liver disease. *World J Gastroenterol.* 2021;27(1):1–18. doi: 10.3748/wjg.v27.i1.1
- 18.** Guojun C, Zhang W, Sirpa M, et al. A role for the androgen receptor in follicular atresia of estrogen receptor beta knockout mouse ovary. *Biol Reprod.* 2022;66(1):77–84. doi: 10.1095/biolreprod66.1.77
- 19.** Herman MA, Birnbaum MJ. Molecular aspects of fructose metabolism and metabolic disease. *Cell Metab.* 2021;33(12):2329–2354. doi: 10.1016/j.cmet.2021.09.010
- 20.** Jalilian A, Kiani F, Sayehmiri F, et al. Prevalence of polycystic ovary syndrome and its associated complications in Iranian women: a metaanalysis. *Iran J Reprod Med.* 2015;13(10):591–604.
- 21.** Marei WFA, Smits A, Mohey-Elsaeed O, et al. Differential effects of high fat diet-induced obesity on oocyte mitochondrial functions in inbred and outbred mice. *Sci Rep.* 2020;10(1):9806. doi: 10.1038/s41598-020-66702-6
- 22.** Na W, Li-Li L, Jin-Jie X, et al. Obesity accelerates ovarian follicle development and follicle loss in rats. *Metabolism.* 2014;63(1):94–103. doi: 10.1016/j.metabol.2013.09.001
- 23.** Wu LL, Russell DL, Wong SL, et al. Mitochondrial dysfunction in oocytes of obese mothers: transmission to offspring and reversal by pharmacological endoplasmic reticulum stress inhibitors. *Development.* 2015;142(4):681–691. doi: 10.1242/dev.114850
- 24.** Younossi ZM. Non-alcoholic fatty liver disease — A global public health perspective. *J Hepatol.* 2019;70(3):531–544. doi: 10.1016/j.jhep.2018.10.033
- 25.** Younossi ZM, Koenig AB, Abdelatif D, et al. Global epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease — Meta-analytic assessment of prevalence, incidence, and outcomes. *Hepatology.* 2016;64(1):73–84. doi: 10.1002/hep.28431

## ОБ АВТОРАХ

\***Татьяна Викторовна Брус**, канд. мед. наук, доцент кафедры патологической физиологии с курсом иммунопатологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID: 0000-0001-7468-8563; eLibrary SPIN: 9597-4953; e-mail: bant.90@mail.ru

**Анна Александровна Калинина**, студентка 4-го курса педиатрического факультета, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: aa\_kalinina@list.ru

**Анастасия Викторовна Баннова**, студентка 1-го курса 1-го медицинского факультета, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского ФГБОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия; ORCID: 0009-0007-6867-9477; e-mail: bannova06@list.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**\*Tatiana V. Brus**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Pathological Physiology with the course of Immunopathology, St. Petersburg State Medical Pediatric University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litvinskaya st., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0001-7468-8563; eLibrary SPIN: 9597-4953; e-mail: bant.90@mail.ru

**Anna A. Kalinina**, 4<sup>th</sup> year student of the pediatric faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: aa\_kalinina@list.ru

**Anastasia V. Bannova**, 1<sup>st</sup> year student of the 1<sup>st</sup> medical faculty, S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID: 0009-0007-6867-9477; e-mail: bannova06@list.ru

## ОБ АВТОРАХ

**Родион Владимирович Кораблев**, канд. мед. наук, доцент кафедры патологической физиологии с курсом иммунопатологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0004-5754-8437; eLibrary SPIN: 4969-6038; e-mail: rodion.korablev@gmail.com

**Юрий Сергеевич Брус**, магистрант кафедры общественного здоровья и здравоохранения, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0004-8932-8076; eLibrary SPIN: 4256-9672; e-mail: brusyury@gmail.com

## AUTHORS' INFO

**Rodion V. Korablev**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Pathological Physiology with the course of Immunopathology, St. Petersburg State Medical Pediatric University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0004-5754-8437; eLibrary SPIN: 4969-6038; e-mail: rodion.korablev@gmail.com

**Yuriii S. Brus**, Master's student at the Department of Public Health and Healthcare, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0004-8932-8076; eLibrary SPIN: 4256-9672; e-mail: brusyury@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15145-53>

# Детерминанты возможных воспалительных повреждений миокарда при острых кишечных инфекциях у детей

Н.В. Гончар<sup>1, 2</sup>, К.Д. Ермоленко<sup>2</sup>, С.Н. Чупрова<sup>1, 2</sup>, С.Г. Григорьев<sup>2, 3</sup>,  
Д.В. Феоктистова<sup>1</sup>, Н. Митерев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Детский научно-клинический центр инфекционных болезней, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Кардиомиопатии некоронарогенной природы, включая воспалительную, относят к одной из ведущих причин инвалидизации и смертности детей и взрослых. Воспалительная кардиомиопатия в большинстве случаев является исходом миокардита в результате прямого агент-зависимого повреждения миокарда или аутоиммунных реакций при отсутствии генетической предрасположенности.

**Цель** — на основе клинической оценки изменений сердечно-сосудистой системы разработать дискриминантную модель для предсказания возможности повреждений миокарда воспалительного генеза при острых кишечных инфекциях у детей.

**Материалы и методы.** В отделении кишечных инфекций Детского научно-клинического центра инфекционных болезней ФМБА России в период 2020–2022 гг. последовательно наблюдали 33 ребенка в возрасте от 1 мес. до 13 лет с острыми кишечными инфекциями различной этиологии, у которых по данным клинико-лабораторного и инструментального обследования впервые в жизни выявляли изменения сердечно-сосудистой системы. Выборку формировали с помощью алгоритма диагностики воспалительных поражений миокарда в баллах, по сумме которых делали заключение об отсутствии или наличии таковых, что позволило выделить группу 1 ( $n = 24$ ) и группу 2 ( $n = 9$ ) соответственно. У всех детей проводили этиологическую диагностику острых кишечных инфекций, оценивали клинико-лабораторные данные, результаты 12-канальной электрокардиограммы, трансторакальной эхокардиографии. Выявляли различия в группах с помощью критерия хи-квадрат Пирсона и критерия Манна – Уитни, которые считали достоверными при  $p < 0,05$ . Использовали метод дискриминантного анализа.

**Результаты.** Функциональный sistолический шум и повышение кардиоспецифических ферментов отмечали реже в группе 1, чем в группе 2 (4,2%; 22,2% и 67%; 100%). Из патологических ЭКГ-изменений наблюдали нарушения процесса реполяризации (16,7% и 33,3% соответственно). Значимых изменений по данным трансторакальной эхокардиографии не выявлено. Вирусная этиология острых кишечных инфекций доминировала (79,2, 88,9%). Изменения в гемограмме характеризовались высокой частотой лейкоцитоза в группе 1 (29,2%; 0%) и лейкопении в группе 2 (4,2%; 22,2%). В группе 1 отмечалась более высокая частота нейтрофилеза (79,2%; 44,4%), палочкоядерного сдвига (62,5%; 22,2%), тромбоцитоза (29,2%; 0%), лимфоцитопении (95,8%; 55,6%;  $p < 0,05$ ), моноцитоза (8,3%; 0%); повышения С-реактивного белка (41,7%; 33,3%), аланинаминотрансферазы (29,2%; 11,1%), мочевины (29,2%; 11,1%), лейкоцитурии (16,7%; 0%).

**Выводы.** Клиническая оценка изменений сердечно-сосудистой системы при острых кишечных инфекциях у детей с использованием дискриминантной модели позволяет с высокой вероятностью (95,7%) исключить повреждения миокарда воспалительного генеза, что имеет практическое значение.

**Ключевые слова:** изменения сердечно-сосудистой системы; острые кишечные инфекции; дети; диагностика.

## Как цитировать

Гончар Н.В., Ермоленко К.Д., Чупрова С.Н., Григорьев С.Г., Феоктистова Д.В., Митерев Н. Детерминанты возможных воспалительных повреждений миокарда при острых кишечных инфекциях у детей // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15145-53>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15145-53>

# Determinants of possible inflammatory myocardial damage in acute intestinal infections in children

Natalia V. Gonchar<sup>1, 2</sup>, Konstantin D. Ermolenko<sup>2</sup>, Svetlana N. Chuprova<sup>1, 2</sup>, Stepan G. Grigoriev<sup>2, 3</sup>, Darya V. Feoktistova<sup>1</sup>, Nikol Mitrev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Non-coronary cardiomyopathies, including inflammatory cardiomyopathies, are one of the leading causes of disability and mortality in children and adults. Inflammatory cardiomyopathy in most cases is an outcome of myocarditis as a result of direct agent-dependent myocardial damage or autoimmune reactions in the absence of genetic predisposition.

**AIM:** On the basis of clinical assessment of cardiovascular system changes, to develop a discriminant model to predict the possibility of myocardial damage of inflammatory genesis in acute intestinal infections (AI) in children.

**MATERIALS AND METHODS:** In the Intestinal Infections Department of the Children's Research and Clinical Center for Infectious Diseases of FMBA of Russia in the period 2020–2022, 33 children aged from 1 month to 13 years with AI of different etiology were consecutively observed, in whom, according to clinical, laboratory and instrumental examination data, for the first time in their lives, changes in cardiovascular system were detected. The sample was formed using an algorithm for diagnosing inflammatory myocardial lesions in points, the sum of which concluded that there were no or presence of such, which allowed us to identify group 1 ( $n = 24$ ) and group 2 ( $n = 9$ ), respectively. Etiological diagnosis of acute intestinal infections was performed in all children, clinical and laboratory data, results of a 12-channel electrocardiogram (ECG), transthoracic echocardiography (EchoCG) were evaluated. The differences in the groups were revealed using the Pearson chi-squared test and the Mann–Whitney test, which were considered reliable at  $p < 0.05$ . The method of discriminant analysis was used.

**RESULTS:** Functional systolic noise and increased cardiospecific enzymes were observed less frequently in group 1 than in group 2 (4.2%; 22.2% and 67%; 100%). Of the pathological ECG changes, violations of the repolarization process were observed (16.7%; 33.3%). No significant changes in the Echo-KG were detected. The viral etiology of acute intestinal infections dominated (79.2%; 88.9%). Changes in the hemogram were characterized by a high frequency of leukocytosis in group 1 (29.2%; 0%) and leukopenia in group 2 (4.2%; 22.2%). In group 1, there was a higher frequency of neutrophilosis (79.2%; 44.4%), rod-shaped shift (62.5%; 22.2%), thrombocytosis (29.2%; 0%), lymphocytopenia (95.8%; 55.6%;  $p < 0.05$ ), monocytosis (8.3%; 0%); increased C-reactive protein (41.7%; 33.3%), ALT (29.2%; 11.1%), urea (29.2%; 11.1%), leukocyturia (16.7%; 0%).

**CONCLUSIONS:** Clinical evaluation of cardiovascular system changes in children with acute intestinal infections using a discriminant model allows to exclude myocardial damage of inflammatory genesis with high probability (95.7%), which is of practical importance.

**Keywords:** changes in the cardiovascular system; acute intestinal infections; children; diagnostics.

## To cite this article

Gonchar NV, Ermolenko KD, Chuprova SN, Grigoriev SG, Feoktistova DV, Mitrev N. Determinants of possible inflammatory myocardial damage in acute intestinal infections in children. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):45–53. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15145-53>

Received: 25.12.2023

Accepted: 15.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Кардиомиопатии некоронарогенной природы, включая воспалительную, относятся к одной из ведущих причин инвалидизации и смертности детей и взрослых. Воспалительная кардиомиопатия в 2/3 случаев представляет собой исход миокардита в результате прямого агент-зависимого повреждения миокарда или аутоиммунных реакций при отсутствии генетической предрасположенности [6, 14]. МКБ-10, предложенная в 1989 г., шифрует кардиомиопатию при инфекционных болезнях кодом I43.0 в рубрике «Другие болезни сердца». Термин «воспалительная кардиомиопатия» используют с 1997 г. для обозначения инфекционных поражений миокарда и их последствий [12]. В 2006 г. группа экспертов Американской ассоциации сердца предложила отнести воспалительную кардиомиопатию наряду с миокардитом к группе первичных приобретенных кардиомиопатий [13].

Сегодня хорошо известно, что поражения миокарда встречаются при инфекционных заболеваниях различной этиологии [4, 10]. Острый миокардит сопровождает около 2 % всех случаев острых респираторных заболеваний [2]. У детей с острыми кишечными инфекциями (ОКИ) изменения сердечно-сосудистой системы (ССС) тоже не являются редкостью [8]. Клинические симптомы нетяжелых дистрофических и воспалительных процессов ССС при ОКИ у детей нечеткие и мало специфичные, большинство случаев миокардита протекает в легких и стертых формах, что затрудняет своевременную постановку диагноза [9]. При этом высокотехнологичные методы, позволяющие дифференцировать патологию сердца — ультразвуковые исследования с возможностью денситометрии участков миокарда, магнитно-резонансная томография с контрастированием парамагнитными препаратами, эндомиокардиальная биопсия и др., часто малодоступны или не оправданы по вопросам безопасности их использования у детей [2]. В то же время изменения ССС, такие как преходящий систолический шум в остром периоде инфекции, брадикардия в периоде реконвалесценции, повышение уровня кардиоспецифических ферментов в сыворотке крови, могут трактоваться как проявления миокардита, хотя, по сути, являются реакцией на инфекционно-воспалительный процесс и проходят бесследно [1]. Вопрос дифференциальной диагностики изменений ССС воспалительного происхождения и транзиторных реакций ССС при ОКИ у детей весьма актуален.

Цель работы — на основе клинической оценки изменений сердечно-сосудистой системы разработать дискриминантную модель для предсказания возможности повреждений миокарда воспалительного генеза при острых кишечных инфекциях у детей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В отделении кишечных инфекций Детского научно-клинического центра инфекционных болезней ФМБА

России в период 2020–2022 гг. последовательно наблюдали 33 ребенка в возрасте от 1 мес. до 13 лет с ОКИ различной этиологии. По факту наличия или отсутствия изменений со стороны ССС дети были поделены на 2 группы. Первую группу составили 24 ребенка, у которых по данным клинико-лабораторного и инструментального обследования не выявили изменения ССС. Во вторую группу включены дети с впервые в жизни выявленными признаками поражения ССС (9 детей). В выборку не входили пациенты, имевшие врожденные пороки сердца, а также перенесшие ранее поражения сердца воспалительной или аутоиммунной природы.

При формировании выборки использовали метод диагностики поражений миокарда у детей [9]. Согласно данному методу клиническими признаками изменений ССС считали: приглушение тонов сердца, наличие шумов, тахи- или брадикардию (не соответствующих возрасту, фазе заболевания, эмоциональному состоянию), артериальную гипотензию, проявления сердечной недостаточности II–III степени тяжести (застойные хрипы в легких, пастозность или отечность, гепатомегалия).

ЭКГ-показателями изменений ССС считали: впервые выявленные нарушения ритма сердца и проводимости, нарушения процесса реполяризации, снижение вольтажа зубцов комплекса QRS. Эхокардиографическими признаками изменений ССС считали снижение фракции выброса.

Биохимическими показателями изменений ССС служили повышенные значения кардиоспецифических ферментов в сыворотке крови — МВ-фракции креатинкиназы (МВ-КК), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), аспарагиновой трансаминазы (АСТ); аланиновой трансаминазы (АЛТ), увеличение отношения АСТ/АЛТ >1,75.

Поскольку большинство признаков изменений ССС при инфекционных заболеваниях у детей мало специфично, а отдельные из них соответствуют варианту нормы или имеют функциональный характер, определяли значимость симптомов патологии миокарда, оценивая их в баллах от 0 до 3, затем вычисляли общую сумму баллов [2]. При этом на 1 балл оценивали любые из следующих признаков или их сочетания: приглушение тонов сердца, наличие шумов, тахи- или брадикардию, артериальную гипотензию, проявления сердечной недостаточности II–III степени тяжести, нарушения ритма сердца и проводимости, нарушения процесса реполяризации, снижение вольтажа зубцов комплекса QRS, повышение двух из трех биохимических показателей — МВ-КК, ЛДГ, АСТ/АЛТ. На 2 балла оценивали снижение фракции выброса, на 3 балла — повышение трех биохимических показателей — МВ-КК, ЛДГ, АСТ/АЛТ.

Сумма баллов не более 3 соответствовала отсутствию миокардиальных повреждений воспалительного генеза, сумма баллов более 3, напротив, свидетельствовала о вероятном развитии таковых. С учетом общей суммы баллов пациенты образовали две группы: «группа без миокардиальных повреждений» (группа 1,  $n = 24$ ) — с суммой

баллов 1–3; «группа с вероятным развитием миокардиальных повреждений» (группа 2,  $n = 9$ ) — с суммой баллов 4–5.

У всех детей с ОКИ изучали жалобы, анамнез, антропометрические показатели (с оценкой значений по центильным таблицам), данные объективного осмотра, определяли степень тяжести состояния по индексу Кларка [3, 5]; оценивали результаты клинических анализов крови и мочи, биохимических анализов крови (С-реактивного белка, глюкозы, мочевины, креатинина, амилазы, электролитов), данные копрологического исследования, ультразвукового исследования органов брюшной полости.

Верификацию этиологии ОКИ проводили с помощью бактериологического исследования фекалий, а также исследования фекалий методом ПЦР с применением набора реагентов «АмплиСенс® ОКИ скрин-FL», предназначенного для молекулярно-генетической диагностики бактериальных (шигелл, сальмонелл, иерсиний, кампилобактерий, диареогенных эшерихий) и вирусных (ротавирусы, норовирусы, энтеровирусы, астровирусы, аденонарусы) возбудителей, и в некоторых случаях — по данным серологической диагностики в реакции непрямой гемагглютинации.

Электрокардиографию (ЭКГ) выполняли с помощью аппарата CardiMax FX-8222 (Fukuda Denshi Co., Ltd., Япония). в 12 отведениях, на скорости записи 50 мм/с. Интерпретацию полученных результатов осуществляли согласно общепринятым критериям [7]. Трансторакальные эхокардиографические (Эхо-КГ) исследования выполняли с помощью аппарата экспертного класса Philips EPIQ 5 (Philips, Нидерланды).

Лечение детей проводили согласно клиническим рекомендациям Минздрава России. Выписывали детей из

стационара при достижении отчетливой положительной динамики клинико-лабораторных данных и ЭКГ.

Полученные данные обрабатывали статистически, определяли частоту отклонений показателей от нормы (в %), количественные показатели описывали медианой и квартилями —  $Me [Q_1 - Q_3]$ . Оценку значимости различий количественных показателей в группах из-за малого числа наблюдений выполняли с помощью критерия Манна – Уитни. Оценку значимости различий частоты отклонений показателей в группах выявляли с помощью критерия хи-квадрат Пирсона; различия считали достоверными при  $p < 0,05$ . Использовали метод дискриминантного анализа для выявления основных детерминант наличия воспалительного поражения миокарда и разработки на их основе дискриминантной модели дифференциальной диагностики наличия или отсутствия поражения миокарда у больных ОКИ [11]. Статистическая обработка проведена с использованием пакета прикладных программ Statistica 13 for Windows.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Половой состав детей отличался несколько большим количеством мальчиков в группе 1 — 56 % и девочек в группе 2 — 77,8 % ( $p > 0,05$ ). Возраст пациентов в группе 1 был выше — 3,0 года [1,5–5,5 года], чем в группе 2 — 2,0 года [1,0–4,0 года] ( $p > 0,05$ ).

Выявлено доминирование вирусной этиологии ОКИ у детей в обеих группах (79,2 и 88,9 %;  $p > 0,05$ ) с преобладанием ротавируса (58,3 и 55,6 % соответственно) (см. рисунок).

Среднетяжелые формы заболевания в обеих группах диагностировали чаще, чем легкие (70,8 и 66,7 % против 29,2 и 33,3 %), что соответствовало средним значениям



**Рисунок.** Частота различных этиологических форм кишечных инфекций у детей в группах  
**Figure.** The frequency of various etiological forms of intestinal infections in children in groups

индекса Кларка в группе 1 — 9,5 [8,0–11,0] и в группе 2 — 10,0 [8,0–11,0] ( $p > 0,05$ ). Дети в группе 1 отличались более высокими показателями роста — 4,0 балла [3,5–5,5 балла], чем в группе 2 — 2,0 балла [2,0–4,0 балла] ( $p > 0,05$ ), а также более высокими показателями массы тела по росту — 4,0 балла [2,5–4,5 балла], чем во второй группе — 2,0 балла [1,0–4,0 балла] ( $p > 0,05$ ), более высокими показателями индекса массы тела — 4,5 балла [3,0–5,5 балла] против 4,0 балла [1,0–5,0 балла] во второй группе ( $p > 0,05$ ).

Изменения в гемограмме характеризовались более высокой частотой лейкоцитоза в группе 1 (29,2 %; 0 %;  $p > 0,05$ ) и лейкопении — в группе 2 (4,2 %; 22,2 %;  $p > 0,05$ ), что у детей в группе без миокардиальных повреждений сопровождалось более высокой частотой абсолютного (54,2 %; 33,3 %;  $p > 0,05$ ) и относительно нейтрофилеза (79,2 %; 44,4 %;  $p > 0,05$ ), а также более высокой частотой палочкоядерного сдвига (62,5 %; 22,2 %;  $p > 0,05$ ), тромбоцитоза (29,2 %; 0 %;  $p > 0,05$ ), лимфоцитопении (95,8 %; 55,6 %;  $p < 0,05$ ), моноцитоза (8,3 %; 0 %;  $p > 0,05$ ). Частота повышения СОЭ (54,2 %; 44,4 %;  $p > 0,05$ ), как и частота снижения уровня гемоглобина (8,3 %; 11,1 %;  $p > 0,05$ ) у детей в группах была невысокой.

Изменения показателей биохимического анализа крови выражались более высокой частотой повышения С-реактивного белка (41,7 %; 33,3 %;  $p > 0,05$ ), повышения АЛТ (29,2 %; 11,1 %;  $p > 0,05$ ), повышения мочевины (29,2 %; 11,1 %;  $p > 0,05$ ) у детей группы 1 по сравнению с детьми группы 2. Лейкоцитурия отмечалась только у детей в группе 2 (16,7 %;  $p > 0,05$ ).

Полученные данные свидетельствовали о более выраженных воспалительных изменениях системного характера и реакции почек у детей группы 1. При этом средняя длительность стационарного лечения в группе 2 (6,0 дней [3,0–7,0]) была выше, чем в группе 1 (4,0 дней [3,5–5,5]) ( $p > 0,05$ ), что объяснялось более отчетливой симптоматикой изменений ССС, требующей наблюдения и своевременного лечения.

Среди признаков изменений ССС по частоте выявления в обеих группах доминировали отклонения уровня кардиоспецифических ферментов в сыворотке крови: МВ-КК (в 66,7 и 100 % случаев соответственно), ЛДГ (79,2 и 100 %), АСТ (70,8 и 88,9 %). При этом у детей группы 1 реже, чем у детей группы 2, отмечался функциональный систолический шум (4,2 и 22,2 % случаев соответственно), нарушения процесса реполяризации на ЭКГ (16,7 и 33,3 %). По данным Эхо-КГ диагностически значимых изменений воспалительной природы не выявлено.

Таким образом, у детей в группе с вероятным развитием миокардиальных повреждений более часто встречались изменения со стороны ССС, которые могут свидетельствовать о воспалительной кардиомиопатии (включая миокардит), имеющей у детей чаще вирусную этиологию, и требуют в первую очередь проведения дифференциальной диагностики.

В интересах определения детерминант наличия или отсутствия воспалительных поражений миокарда у больных ОКИ провели дискриминантный анализ на основе матрицы обучающей информации, включающей в качестве предикторов результаты клинических, лабораторных и инструментальных исследований, а в качестве признака отклика — наличие или отсутствие возможного повреждения миокарда воспалительного генеза. В результате пошагового отбора выделены наиболее значимые детерминанты возможного повреждения миокарда, в числе которых оказались оценочные показатели количества лейкоцитов в гемограмме (понижение — 1, нормальное — 0, повышенное — 1), относительного количества лимфоцитов в формуле белой крови (%) (понижение — 1, нормальное — 0, повышенное — 1), количества плоского эпителия в общем анализе мочи (нормальное — 0, повышенное — 1), количества лейкоцитов в общем анализе мочи (нормальное — 0, повышенное — 1). На основе этих же детерминант (признаков) по данным обследования 32 больных рассчитана математико-статистическая модель в виде линейных дискриминантных функций (ЛДФ): ЛДФ<sub>1</sub> — отсутствие миокардиальных повреждений воспалительного генеза; ЛДФ<sub>2</sub> — вероятное развитие миокардиальных повреждений воспалительного генеза. Комплекс клинико-лабораторных признаков, значимо влияющих на отнесение конкретного больного к одной из групп, коды и коэффициенты признаков приведены в табл. 1.

Решение ЛДФ выполняется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{ЛДФ}_1 &= -7,6 + 0,1X_1 - 14,1X_2 + 1,3X_3 + 2,3X_4, \\ \text{ЛДФ}_2 &= -9,3 - 2,9X_1 - 8,2X_2 + 7,6X_3 + 5,6X_4, \end{aligned}$$

где X<sub>1</sub>–X<sub>4</sub> соответствуют числовым значениям признаков.

Больного относят к той группе, для которой ЛДФ имеет максимальное значение с учетом знака (табл. 2).

Дискриминантная модель у 22 из 23 (95,7 %) пациентов подтвердила отсутствие миокардиальных повреждений по данным клинической оценки, в то время как вероятное развитие миокардиальных повреждений воспалительного генеза прогнозировано моделью только у 7 из 9 пациентов (77,8 %). Более высокую чувствительность модель демонстрирует в отношении детей группы с отсутствием потенциально возможных миокардиальных повреждений воспалительного генеза. Общая диагностическая ценность созданной модели составляет 90,6 % при ее высокой статистической значимости ( $p < 0,001$ ). Наиболее важное практическое значение имеет выделение группы без миокардиальных повреждений из общей массы детей с ОКИ, поскольку это позволяет освободить пациентов от длительного врачебного наблюдения и динамического обследования, не назначать кардиометаболическую терапию и ограничения режима. При этом группа пациентов с вероятным развитием миокардиальных повреждений требует исключения воспалительной кардиомиопатии (включая вирусные миокардиты).

**Таблица 1.** Комплекс признаков дискриминантной модели дифференциальной диагностики изменений сердечно-сосудистой системы при кишечных инфекциях у детей, коды и коэффициенты выявленных признаков**Table 1.** A complex signs of a discriminant model of differential diagnosis of changes in the cardiovascular system in intestinal infections in children, codes and coefficients of the detected signs

Наименование признаков / Name of signs	Коды / Codes	Коэффициенты признаков ЛДФ / Feature coefficients of LDF		Уровень значимости, <i>p</i> / Significance level, <i>p</i>
		ЛДФ <sub>1</sub> / LDF <sub>1</sub>	ЛДФ <sub>2</sub> / LDF <sub>2</sub>	
Количество лейкоцитов в гемограмме / The number of leukocytes in the hemogram	X <sub>1</sub>	0,1	-2,9	0,004
Относительное количество лимфоцитов в формуле белой крови / The relative number of lymphocytes in the white blood formula	X <sub>2</sub>	-14,1	-8,2	0,044
Количество плоского эпителия в общем анализе мочи / The amount of squamous epithelium in the general analysis of urine	X <sub>3</sub>	1,3	7,6	0,078
Количество лейкоцитов в общем анализе мочи / The number of white blood cells in the general analysis of urine	X <sub>4</sub>	2,3	5,6	0,136
Константа / Constant		-7,6	-9,3	

Примечание. ДДФ — линейных дискриминантных функций. Note. LDF — linear discriminant functions.

**Таблица 2.** Классификационная матрица изменений сердечно-сосудистой системы при кишечных инфекциях у детей**Table 2.** Classification matrix of changes in the cardiovascular system in intestinal infections in children

Наблюдавшиеся изменения сердечно-сосудистой системы / Observed changes in the cardiovascular system	Прогнозируемые изменения сердечно-сосудистой системы / Predicted changes in the cardiovascular system		
	отсутствие миокардиальных повреждений воспалительного генеза / absence of myocardial damage of inflammatory origin	вероятное развитие миокардиальных повреждений воспалительного генеза / probable development of myocardial lesions of inflammatory genesis	всего детей, абс. (%) / total children, abs. (%)
Отсутствие миокардиальных повреждений воспалительного генеза / Absence of myocardial damage of inflammatory origin	22	1	23 (95,7)
Вероятное развитие миокардиальных повреждений воспалительного генеза / Probable development of myocardial lesions of inflammatory genesis	2	7	9 (77,8)
Итого в прогнозе / Total in the forecast	24	8	32 (90,6)

## ВЫВОДЫ

- На основе клинической оценки изменений сердечно-сосудистой системы создана дискриминантная модель для предсказания возможности повреждений миокарда воспалительного генеза при острых кишечных инфекциях у детей. В комплекс признаков, значимо влияющих на результаты решения дискриминантных функций для конкретного пациента (отсутствие или вероятное наличие миокардиальных повреждений воспалительного генеза), входят оценочные показатели общего количества лейкоцитов, относительного количества лимфоцитов в гемограмме, количества

плоского эпителия и лейкоцитов в общем анализе мочи при более высокой значимости показателей гемограммы. Максимальное значение дискриминантной функции свидетельствует в пользу диагностического заключения.

- Созданная на основе клинико-лабораторной и инструментальной оценки изменений сердечно-сосудистой системы дискриминантная модель позволяет с чувствительностью 95,7 % исключить потенциально возможные повреждения миокарда воспалительного генеза при кишечных инфекциях у детей, что имеет важное практическое значение.

3. Предложенная модель может быть использована в качестве метода поддержки врачебных решений в вопросах дифференциальной диагностики реактивных и воспалительных миокардиальных изменений при острых кишечных инфекциях у детей.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вильчук К.У., Лашина Н.Б., Гнедко Т.В. Электрокардиографические, эхокардиографические и биохимические маркеры гипоксического поражения миокарда у новорожденных детей, рожденных путем абдоминального родоразрешения // Педиатрия. Восточная Европа. 2013. № 4. С. 59–73. EDN: RNOXZR2.
2. Патент РФ на изобретение № 2539990/ 27.01.2015. Горелов А.В., Руженцова Т.А. Способ комплексной оценки показаний к назначению кардиометаболической терапии при инфекционных заболеваниях. Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2539990C2\\_20150127](https://yandex.ru/patents/doc/RU2539990C2_20150127)
3. Ермоленко К.Д., Гончар Н.В., Бехтерева М.К., Лобзин Ю.В. Сравнение информативности шкал Везикари и Кларка для определения тяжести вирусных кишечных инфекций и прогнозирования их исходов у детей // Журнал инфектологии. 2018. Т. 10, № 4. С. 64–71. EDN: YYNXUD doi: 10.22625/2072-6732-2018-10-4-64-71
4. Зыбалова Т.С., Борис А.М., Савченко М.А. Механизмы повреждения и защиты в патогенезе вирусного миокардита // Кардиология в Беларуси. 2019. Т. 11, № 4. С. 619–626. EDN: HVTFSB5.
5. Климова О.И., Гончар Н.В., Раздьяконова И.В., Лобзин Ю.В. Как влияют кишечные инфекции с синдромом гемоколита на антропометрические показатели состояния питания у детей? // Педиатр. 2019. Т. 10, № 2. С. 13–20. EEDN: WXBVPS doi: 10.17816/PED10213-20
6. Курлянская Е.К. Дифференциальная диагностика дилатационной и воспалительной кардиомиопатии // Кардиология в Беларуси. 2021. Т. 13, № 5. С. 764–772. EDN: KTSMKQ doi: 10.34883/PI.2021.13.5.010
7. Макаров Л.М. ЭКГ в педиатрии. 2-е изд. Москва: Медпрактика-М, 2005. 544 с.
8. Руженцова Т.А. Поражения миокарда при острых кишечных инфекциях у детей // Эпидемиология и инфекционные болезни. Актуальные вопросы. 2017. № 6. С. 43–49. EDN: ZXRCTD9.
9. Руженцова Т.А. Диагностика и терапия поражений миокарда у детей, больных острыми кишечными инфекциями (клиническо-экспериментальное исследование): дисс. ... д-ра мед. наук. Москва; 2016. 401 с. EDN: XRZJKP
10. Щедрина А.Ю., Скворцов А.А., Зыков К.А., и др. Роль парвовируса B19 в развитии воспалительной кардиомиопатии // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2013. Т. 9, № 5. С. 542–550. EDN: SDVKRZ
11. Юнкеров В.И., Григорьев С.Г. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. Санкт Петербург: ВМедА. 2002. 266 с.
12. Karatolios K., Pankweit S., Kisselbach C., Maisch B. Inflammatory cardiomyopathy // Hellenic J Cardiol. 2006. Vol. 47, N. 2. P. 54–65.
13. Maron B.J., Towbin J.A., Thiene G., et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies // Circulation. 2006. Vol. 113, N. 14. P. 1807–1816. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174287
14. Metra M. Chronic heart failure: A position statement from the study group on advanced heart failure of the heart failure association of the European Society of Cardiology // Eur J Heart Failure. 2007. Vol. 9, N. 6–7. P. 684–694. doi: 10.1016/j.ejheart.2007.04.003

## REFERENCES

1. Vilchuk KU, Lashina NB, Gnedko TV. Electrocardiographic, echocardiographic and biochemical markers of hypoxic myocardial damage in newborn infants born by abdominal delivery. *Pediatrics Eastern Europe*. 2013;10(4):59–73. EDN: RNOXZR2.
2. Patent RU № 2539990/ 27.01.2015. Gorelov AV, Ruzhentsova TA. *Method of complex evaluation of indications for administration of cardiometabolic therapy in case of infectious diseases*. Available from: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2539990C2\\_20150127](https://yandex.ru/patents/doc/RU2539990C2_20150127)
3. Yermolenko KD, Gonchar NV, Bekhtereva MK, Lobzin YV. Comparison of Vezikari and Clark scale for determination of viral intestinal infections severity and predicting their outputs in children. *Journal Infectology*. 2018;10(4):64–71. EDN: YYNXUD doi: 10.22625/2072-6732-2018-10-4-64-71
4. Zybalova TS, Boris AM, Savchenko MA. Mechanisms of damage and protection in the pathogenesis of viral myocarditis. *Cardiology In Belarus*. 2019;11(4):619–626. EDN: HVTFSB5.
5. Klimova OI, Gonchar NV, Razdyakonova IV, Lobzin YuV. How do the intestinal infections proceeding with the haemocolitis syndrome influence anthropometrical indicators of the nutritional status of children? *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2019;10(2):13–20. EEDN: WXBVPS doi: 10.17816/PED10213-20

6. Kurlyanskaya EK. Differential diagnostics of dilated and inflammatory cardiomyopathy. *Cardiology in Belarus*. 2021;13(5):764–772. EDN: KTSMKQ doi: 10.34883/PI.2021.13.5.010
7. Makarov LM. *ECG in pediatrics*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Medpractica-M; 2005. 544 p.
8. Ruzhentsova TA. Myocardial damages in acute intestinal infections in children. *Epidemiology and Infectious Diseases. Current Items*. 2017;(6):43–49. EDN: ZXRCTD9.
9. Ruzhentsova TA. *Diagnostics and therapy of myocardial lesions in children with acute intestinal infections (clinical and experimental study)* [Dissertation]. Moscow, 2016. 401 p. (In Russ.) EDN: XRZJKP
10. Shchedrina AYU, Skvortsov AA, Zykov KA, et al. The role of parvovirus B19 in the development of inflammatory cardiomyopathy. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2013;9(5):542–50. (In Russ.) EDN: SDVKRZ
11. Yunkerov VI, Grigoriev SG. *Mathematical and statistical processing of medical research data*. Saint Petersburg: VMedA; 2002. 266 p. (In Russ.)
12. Karatolios K, Pankweit S, Kisselbach C, Maisch B. Inflammatory cardiomyopathy. *Hellenic J Cardiol*. 2006;47(2):54–65.
13. Maron BJ, Towbin JA, Thiene G, et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies. *Circulation*. 2006;113(14):1807–1816. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.174287
14. Metra M. Chronic heart failure: A position statement from the study group on advanced heart failure of the heart failure association of the European Society of Cardiology. *Eur J Heart Failure*. 2007;9(6–7): 684–694. doi: 10.1016/j.ejheart.2007.04.003

## ОБ АВТОРАХ

**\*Наталья Васильевна Гончар**, д-р мед. наук, профессор, кафедра педиатрии и неонатологии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России; адрес: Россия, Санкт-Петербург, 191015, ул. Кирочная, д. 41; и.о. руководителя научно-исследовательского отдела кишечных инфекций, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-5938-2934; eLibrary SPIN: 9931-7939; e-mail: nvgonchar@yandex.ru

**Константин Дмитриевич Ермоленко**, канд. мед. наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела кишечных инфекций, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-1730-8576; eLibrary SPIN: 5615-4022; e-mail: ermolenko.kd@yandex.ru

**Светлана Николаевна Чупрова**, канд. мед. наук, доцент кафедры педиатрии и детской кардиологии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ст. научный сотрудник научно-исследовательского отдела функциональных и лучевых методов диагностики, врач-детский кардиолог, врач функциональной диагностики, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-5661-3389; eLibrary SPIN: 8696-7178; e-mail: svetlana\_ch\_70@mail.ru

**Степан Григорьевич Григорьев**, д-р. мед. наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела организации медицинской помощи, ФГБУ «Детский научно-клинический центр инфекционных болезней» ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия; ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-1095-1216; eLibrary SPIN: 2391-4846; e-mail: gsg\_rj@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**\*Natalia V. Gonchar**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Department of Pediatrics and Neonatology, Honored Doctor of the Russian Federation, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 41 Kirochnaya st., Saint Petersburg, 191015, Russia; Head of the Research Department of intestinal infections, leading researcher, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Federal Medical and Biological Agency of Russia, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-5938-2934; eLibrary SPIN: 9931-7939; e-mail: nvgonchar@yandex.ru

**Konstantin D. Ermolenko**, MD, PhD, Research Associate, Research Department of intestinal infections, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Federal Medical and Biological Agency of Russia, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-1730-8576; eLibrary SPIN: 5615-4022; e-mail: ermolenko.kd@yandex.ru

**Svetlana N. Chuprova**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Pediatrics and Pediatric Cardiology, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia; Senior Researcher of the Research Department of Functional and Radiation Diagnostic Methods, pediatric cardiologist, functional diagnostics doctor, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-5661-3389; eLibrary SPIN: 8696-7178; e-mail: svetlana\_ch\_70@mail.ru

**Stepan G. Grigoriev**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Senior Researcher, Research Department of medical care organization, Pediatric Research and Clinical Center for Infectious Diseases, Saint Petersburg, Russia; Leading Researcher, Research Center, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, ORCID: 0000-0003-1095-1216; eLibrary SPIN: 2391-4846; e-mail: gsg\_rj@mail.ru

## ОБ АВТОРАХ

**Дарья Вячеславовна Феоктистова**, студентка 5-го курса, лечебный факультет, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: darya.feoktistova.2017@mail.ru

**Николь Митерев**, студентка 5-го курса, лечебный факультет, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: mitereva2000@mail.ru

## AUTHORS' INFO

**Darya V. Feoktistova**, 5<sup>th</sup> year student, Medical Faculty, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: darya.feoktistova.2017@mail.ru

**Nikol Miterev**, 5<sup>th</sup> year student, Medical Faculty, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; e-mail: mitereva2000@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15155-63>

# Цитокины как маркеры нефункционального перенапряжения у спортсменов-гребцов

Н.Д. Мамиев, В.С. Василенко, Ю.Б. Семенова, Е.Б. Карповская, А.В. Меркулова,  
Н.С. Канавец, В.С. Иванов

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Регулярные упражнения высокой интенсивности в сочетании с другими факторами стресса и отсутствием достаточного времени для восстановления могут вызвать устойчивую провоспалительную реакцию, приводящую к системному воспалению и иммунной дисрегуляции.

**Цель исследования** — установить прогностическую эффективность провоспалительных IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$ , IL-8, противовоспалительного цитокина IL-4 и миокина IL-6 как маркеров нефункционального перенапряжения и перетренированности у спортсменов гребцов.

**Материалы и методы.** Всего обследовано 47 спортсменов мужчин в возрасте 18–22 лет, специализация академическая гребля, I разряд, кандидаты в мастера спорта, из них перенапряжение сердца диагностировано у 19 человек (отстранены от тренировок), а остальные 28 спортсменов были обследованы в динамике (4 раза) на общеподготовительном, специально-подготовительном, соревновательном и переходном периоде годового тренировочного цикла. Контрольная группа включала 24 здоровых донора, мужчин в возрасте 18–22 лет. Перенапряжение сердца диагностировали по данным суточного мониторирования электрокардиограммы: выявление желудочковых и суправентрикулярных экстрасистол на фоне отсутствия органических изменений сердца. Содержание цитокинов в сыворотке крови определяли с помощью панели реагентов Human Cytokine/Chemokine Magnetic Bead Panel 1 (Merck, Millipore) на приборе MagPix. Результаты исследования были обработаны с использованием методов параметрической статистики.

**Результаты и обсуждение.** У спортсменов гребцов отмечается повышение провоспалительных цитокинов, что может быть как следствием адаптационных изменений, так и признаком длительного системного воспаления. Определение IL-6, IL-8, TNF $\alpha$  может быть полезно для оценки адаптации организма к тренировочным нагрузкам. Наибольшие изменения уровня провоспалительных цитокинов отмечаются в соревновательный период, при этом следует учитывать, что повышение противовоспалительного цитокина IL-4 происходит в ответ на высокие уровни провоспалительных цитокинов и является признаком хорошей адаптации.

**Выводы.** Наибольшее значение при диагностике нефункционального перенапряжения сердца у спортсменов гребцов следует придавать повышению уровней IL-1 $\alpha$  и IL-6 и повышению TNF $\alpha$  на фоне снижения IL-4.

**Ключевые слова:** спортсмены; нефункциональное перенапряжение; цитокины; перенапряжение сердца; диагностика.

## Как цитировать

Мамиев Н.Д., Василенко В.С., Семенова Ю.Б., Карповская Е.Б., Меркулова А.В., Канавец Н.С., Иванов В.С. Цитокины как маркеры нефункционального перенапряжения у спортсменов-гребцов // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15155-63>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15155-63>

# Cytokines as markers of non-functional overstrain in rowing athletes

Nazar D. Mamiev, Vladimir S. Vasilenko, Yuliya B. Semenova, Ekaterina B. Karpovskaya, Anna V. Merkulova, Natalia S. Kanavets, Vladimir S. Ivanov

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Regular high-intensity exercise, combined with other stressors and lack of adequate recovery time, can cause a sustained pro-inflammatory response, leading to systemic inflammation and immune dysregulation.

**AIM:** The aim of this study is to establish the prognostic effectiveness of proinflammatory IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$ , IL-8, anti-inflammatory cytokine IL-4 and myokine IL-6 as markers of dysfunctional overstrain and overtraining in rowing athletes.

**MATERIALS AND METHODS:** A total of 47 male athletes aged 18–22 years were examined, specializing in rowing, 1<sup>st</sup> category, candidates for master of sports. Of these, 28 were dynamic (4 times). The control group included 24 healthy donors, men aged 18–22 years. Cardiac overstrain was diagnosed based on 24-hour ECG data: identification of ventricular and supraventricular extrasystoles in the absence of organic changes in the heart. The content of cytokines in blood serum was determined using the Human Cytokine/Chemokine Magnetic Bead Panel 1 reagents (Merck, Millipore) on a MagPix device. The research results were processed using parametric statistics methods.

**RESULTS:** Rowing athletes show an increase in pro-inflammatory cytokines, which can be both a consequence of adaptive changes and a sign of long-term systemic inflammation. Determination of IL-6, IL-8, TNF $\alpha$  may be useful for assessing the body's adaptation to training loads. The greatest changes in the level of pro-inflammatory cytokines are observed during the competitive period, and it should be taken into account that an increase in the anti-inflammatory cytokine IL-4 occurs in response to high levels of pro-inflammatory cytokines and is a sign of good adaptation.

**CONCLUSIONS:** The greatest importance in the diagnosis of non-functional cardiac overstrain in rowing athletes should be given to an increase in IL-1 $\alpha$  and IL-6 and an increase in TNF $\alpha$  against the background of a decrease in IL-4.

**Keywords:** athletes; non-functional overstrain; cytokines; cardiac overstrain; diagnostics.

## To cite this article

Mamiev ND, Vasilenko VS, Semenova YuB, Karpovskaya EB, Merkulova AV, Kanavets NS, Ivanov VS. Cytokines as markers of non-functional overstrain in rowing athletes. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):55–63. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15155-63>

Received: 18.12.2023

Accepted: 10.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Проблема перетренированности спортсменов привлекала внимание специалистов уже с середины прошлого века [4, 22]. Для достижения необходимого тренировочного эффекта тренировки включают короткие периоды перегрузки, за которыми следуют периоды восстановления. Эти периоды вызывают преднамеренное краткосрочное тренировочное состояние функционального перенапряжения (FOR), при котором спортивные результаты временно снижаются в ответ на тренировку. Однако при адекватном восстановлении происходит положительная физиологическая адаптация с соразмерным повышением работоспособности [23]. Напротив, при длительных периодах интенсивных тренировок или при отсутствии адекватного восстановления может возникнуть нефункциональное перенапряжение (NFOR), которое, если не принять мер, в конечном итоге может перерасти в синдром перетренированности (OTS) [3, 10]. NFOR приводит к негативным физиологическим изменениям и снижению работоспособности. В зависимости от серьезности, восстановление работоспособности до исходного состояния может занять от нескольких недель до месяцев [23]. OTS более опасен, чем NFOR, и возникает, когда накопление стресса, связанного с тренировкой, приводит к долгосрочному снижению работоспособности и сопровождается физиологической и психологической усталостью. Эта неадаптивная реакция на тренировочную нагрузку может потребовать от нескольких месяцев до нескольких лет для полного восстановления [5, 11].

Распространенность перетренированности наиболее высока в видах спорта, требующих больших объемов и повторяющихся интенсивных тренировок, таких как плавание, триатлон, велоспорт и гребля. Высококвалифицированные спортсмены в этих видах спорта часто тренируются по 4–6 ч каждый день, 6 дней в неделю, в течение нескольких месяцев без достаточного количества дней для восстановления [8]. Регулярные упражнения высокой интенсивности в сочетании с другими факторами стресса и отсутствием достаточного времени для восстановления, могут вызвать устойчивую провоспалительную реакцию, приводящую к системному воспалению и иммунной дисрегуляции [12, 14, 21], являясь медиаторами развития синдрома перетренированности [2, 14].

Существует потребность в объективных показателях, которые можно отслеживать, чтобы управлять адаптацией спортсменов к тренировочным нагрузкам и обеспечивать раннюю диагностику риска неадаптивной реакции, для предотвращения NFOR и OTS [23]. Предложено множество биомаркеров, которые используются для оценки эффективности физических упражнений. К ним относятся физиологические биомаркеры, такие как частота сердечных сокращений, артериальное давление и  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ , а также биохимические биомаркеры, такие как цитокины, гормоны и метаболические маркеры [13, 24, 26].

Ряд отечественных авторов рассматривает потенциально опасные нарушения — желудочковые и супраавентрикулярные аритмии, включая преждевременные желудочковые сокращения — как один из признаков дезадаптации сердца к физическим нагрузкам с развитием синдрома перенапряжения сердечно-сосудистой системы, приводящего в случае дальнейшего действия нагрузок к синдрому перетренированности (у спортсмена без выявленной органической сердечно-сосудистой патологии) [1, 6].

Изменение цитокинового статуса играет существенную роль в метаболизме сердечно-сосудистой системы. Проведенные исследования показали, что сердечная дисфункция после интенсивных упражнений на выносливость связана с повышенной экспрессией провоспалительных цитокинов — интерлейкинов (IL) 1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), IL-12p70 и фактора некроза опухоли альфа (TNF $\alpha$ ). По мнению авторов, это не доказывает причинно-следственную связь, но дает основание для дальнейших исследований, определяет ли воспаление дисфункцию миокарда, вызванную физической нагрузкой [16]. Воспалительная роль цитокинов также может быть связана с развитием патологической гипертрофии сердца вследствие повышения уровня IL-6 [10].

В последние годы исследователи все больше внимания уделяют роли цитокинов в физической активности и упражнениях, так как они модулируют экспрессию и секрецию цитокинов [15, 20]. Одна интенсивная тренировка вызывает первоначальное (через 1–24 ч после тренировки) высвобождение провоспалительных цитокинов IL-6, IL-1 $\beta$  и TNF $\alpha$ , эти маркеры обычно возвращаются к базальному уровню через 24–30 ч [12]. За активацией следует противовоспалительная реакция (через 24–72 ч после тренировки) с высвобождением противовоспалительных или регуляторных цитокинов IL-10, IL-4, IL-13 и антагониста рецептора интерлейкина 1 (IL-1Ra) [12]. Разрешение воспаления имеет решающее значение для восстановления гомеостаза тканей в ответ на физические упражнения, а также улучшения мышечной функции и восстановления мышц [9].

Провоспалительные цитокины могут действовать как первоначальный стимул в центральной нервной системе, вызывая некоторую дезадаптацию вскоре после периода чрезмерных тренировок, влияя на физическую работоспособность, ограничение питания и клеточный катаболизм [14]. Вызванное физической нагрузкой высвобождение IL-1 $\beta$  и TNF $\alpha$  оказывает негативное влияние на мышцы и может быть также связано с перенапряжением и перетренированностью [20]. Однако при хорошей адаптации физические упражнения могут изменять и ослаблять воспалительные реакции [18]. Таким образом, теоретически снижение провоспалительных цитокинов, таких как IL-1 $\beta$ , IL-6 и TNF $\alpha$ , должно свидетельствовать об уменьшении воспаления, а значит, адаптации к тренировкам на заданном уровне [19].

Аспект, на который стоит обратить внимание при рассмотрении вопроса об использовании цитокинов в качестве биомаркеров в спорте, — это учет особенностей различных спортивных дисциплин. Каждый вид спорта характеризуется разной интенсивностью, что может характеризоваться разными изменениями значений концентрации отдельных цитокинов. Необходимо также учитывать отсутствие эталонных значений, с которыми можно было бы сравнивать результаты тестов. В настоящее время для сравнения результатов используются значения покоя, полученные из аналогичных выборок спортсменов [19].

Подчеркивается, что будущие исследования должны быть сосредоточены на определении значимости повышения или понижения конкретных цитокинов у представителей конкретного вида спорта. Мониторинг реакции цитокинов на физические упражнения поможет выявить индивидуальные различия в воспалительных и иммунных реакциях. Кроме того, использование цитокиновых биомаркеров позволит разработать более целевые вмешательства, способствующие восстановлению и адаптации к тренировкам, в частности — использование противовоспалительных вмешательств для людей с высоким цитокиновым ответом или иммуностимулирующих вмешательств при низком цитокиновом ответе [19].

**Цель исследования** — установить прогностическую эффективность провоспалительных IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$ , IL-8, противовоспалительного цитокина IL-4 и миокина IL-6 как маркеров нефункционального перенапряжения и пере-тренированности у спортсменов-гребцов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта» с соблюдением стандартов Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и Правил клинической практики в Российской Федерации\*. Всеми участниками было подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований, без идентификации личности.

Для установления влияния тренировок, направленных на развитие выносливости, на уровне IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$ , IL-8, IL-6 IL-4 у 28 спортсменов-гребцов проведены 4 исследования: на общеподготовительном периоде, специально-подготовительном периоде, соревновательном периоде и переходном периоде тренировочного цикла.

Для выявления связи уровня провоспалительных и противовоспалительных цитокинов с перенапряжением сердца на протяжении года нами проведены исследования

у 19 спортсменов-гребцов, обратившихся с жалобами на потерю работоспособности и с подтвержденными ЭКГ-признаками перенапряжения сердца.

Всего обследовано 47 спортсменов мужчин в возрасте 18–22 лет, специализация — академическая гребля, I разряд, кандидаты в мастера спорта, из них перенапряжение сердца диагностировано у 19 человек (отстранены от тренировок), а остальные 28 спортсменов были обследованы в динамике (4 раза) на общеподготовительном, специально-подготовительном, соревновательном и переходном периоде годового тренировочного цикла. Контрольная группа включала 24 здоровых донора, мужчин в возрасте 18–22 лет. Референсные интервалы представлены по данным исследования крови 281 условно-здорового донора (возраст 18–35 лет) из коллекции биобанка СПб ГБУЗ «Городская больница № 40» [7].

Перенапряжение сердца диагностировали по данным суточного мониторирования ЭКГ (СМЭКГ) по Холтеру: выявление «потенциально опасных аритмий» — желудочковых и суправентрикулярных экстрасистол на фоне отсутствия органических изменений сердца. Содержание цитокинов в сыворотке крови определяли с помощью панели реагентов Human Cytokine/Chemokine Magnetic Bead Panel 1 (Merck, Millipore) на приборе MagPix.

Результаты исследования обработаны с использованием методов параметрической статистики. Результаты выражались в средних арифметических величинах ( $M$ ) и средней ошибке ( $m$ ), с использованием  $t$ -критерия Стьюдента. Корреляционный анализ проводили с помощью коэффициентов корреляции Пирсона ( $r$ ). Статистически значимыми считали различия при  $p < 0,05$  (вероятность различий больше 95 %).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучали уровень цитокинов у 28 спортсменов-гребцов на этапах годового тренировочного цикла. Концентрации всех определяемых цитокинов в группе спортсменов были статистически значимо выше по сравнению с контролем ( $p < 0,05–0,001$ ), что обусловлено высокими физическими и психическими нагрузками на протяжении годового тренировочного цикла. При этом уровни TNF $\alpha$ , IL-1 $\alpha$ , IL-6 и IL-8 выходили за пределы референсного интервала для лиц аналогичной возрастной группы, не занимающихся спортом (табл. 1).

На этапах тренировочного цикла прослеживается последовательное повышение среднегрупповых показателей TNF $\alpha$ , IL-6 и IL-8, достигающих максимальных значений при исследовании в конце годового цикла в соревновательный период (июль – август) —  $206,3 \pm 20,1$ ,  $76,3 \pm 5,6$  и  $289 \pm 15,9$  пг/мл соответственно. При этом примерно 90 % спортсменов имели значения этих цитокинов выше референсного интервала. IL-1 $\alpha$  оказался повышен на всех тренировочных этапах ( $195,8 \pm 20,3$ ,  $221 \pm 61,4$ ,  $263,2 \pm 40,1$  пг/мл), что может быть связано его участием вместе с TNF $\alpha$  в катаболизме жиров [25].

\* Приказ Минздрава РФ от 01.04.2016 № 200н «Об утверждении правил надлежащей клинической практики».

**Таблица 1.** Динамика цитокинов в крови спортсменов-гребцов на периодах тренировочного цикла**Table 1.** Dynamics of cytokines in the blood of rowing athletes during the training cycle

Цитокины, пг/мл / Cytokines, pg/ml	Здоровые доноры / Healthy donors (n = 19)	Этапы исследования / Study stages (n = 28)			
		ОПП / GPP	СПП / SPP	СП / CP	ПП / TP
TNF $\alpha$	M ± m	16,2 ± 0,9	87,3 ± 15,4	114,7 ± 12,8	206,3 ± 20,1**
РИ (RI): 0–29,6	выше РИ, % / above the RI, %	8,3	50	46,4	92,8
IL-1 $\alpha$	M ± m	93,3 ± 1,0	195,8 ± 20,3	221 ± 61,4	263,2 ± 40,1*
РИ (RI): 0–164	выше РИ, % / above the RI, %	8,3	32,1	67,8	75
IL-4	M ± m	15,6 ± 0,7	20,1 ± 3,2	23,5 ± 1,9	36,7 ± 3,4*
РИ (RI): 0–36	выше РИ, % / above the RI, %	4,2	10,7	7,14	32,1
IL-6	M ± m	9,7 ± 0,9	41,7 ± 3,4**	64,1 ± 3,8**	76,3 ± 5,6**
РИ (RI): 0–20	выше РИ, % / above the RI, %	4,2	75	82,1	89,2
IL-8	M ± m	21,8 ± 1,3	88,9 ± 13,9	134,7 ± 15,5*	289 ± 15,9**
РИ (RI): 0–55	выше РИ, % / above the RI, %	12,5	32,1	53,6	89,2
					25

**Примечание.** ОПП — общеподготовительный период; СПП — специально-подготовительный период; СП — соревновательный период; ПП — переходный период; РИ — референсный интервал по данным исследования крови условно-здоровых доноров (18–35 лет) из коллекции биобанка СПб ГБУЗ «Городская больница № 40» [4]. \*Различия относительно ПП статистически значимы при  $p \leq 0,01$ ; \*\*при  $p \leq 0,001$ .

**Note.** GPP — general preparatory period; SPP — special preparatory period; CP — competitive period; TP — transition period; RI — reference interval according to the blood test of conditionally healthy donors (18–35 years old) from the collection of the biobank of City Hospital No. 40 [4]. \*Differences relative to TP are statistically significant at  $p \leq 0,01$ ; \*\*at  $p \leq 0,001$ .

Следует отметить восстановление в переходный период в среднем по группе (в пределах референсного интервала) всех определяемых цитокинов за исключением TNF $\alpha$  и IL-8 (87,5 ± 11,6 и 61,4 ± 11,2 пг/мл соответственно), что подтверждает, что их повышение свойственно спортсменам-гребцам вне зависимости от качества нагрузки. Уровень провоспалительного IL-4 выраженных колебаний на этапах тренировочного цикла не имел (табл. 1). Наблюдаемое на соревновательном этапе его увеличение вероятно является вторичным в ответ на увеличение TNF $\alpha$  и IL-8.

Таким образом, у спортсменов отмечается повышение провоспалительных цитокинов, что может быть как следствием адаптационных изменений, так и признаком длительного системного воспаления, отражающего недовосстановление мышц и необходимость введения в тренировочный процесс эффективных методов восстановления. Наибольшие изменения отмечаются в соревновательный период, при этом следует учитывать, что повышение противовоспалительного цитокина IL-4 происходит в ответ на высокие уровни провоспалительных цитокинов и является признаком хорошей адаптации. Так, по данным корреляционного анализа повышение IL-4 обусловлено повышением IL-1 $\alpha$  и TNF $\alpha$ , о чем свидетельствуют статистически значимые положительные корреляции средней силы ( $r = +0,61$  и  $r = +0,54$  соответственно). Полученные данные согласуются с результатами других исследований [11, 14, 17, 19].

Провоспалительные цитокины TNF $\alpha$ , IL-1, IL-6 являются не только маркерами атеросклеротического риска, но и риска развития острых коронарных событий. Для выявления информативных маркеров нарушений адаптации к физической нагрузке, приводящих к нефункциональному перенапряжению, одним из признаков которой является перенапряжение сердца, проведено изучение уровня цитокинов в группе спортсменов-гребцов с ЭКГ-признаками перенапряжения сердца и спортсменов без признаков перенапряжения (табл. 2).

Установлено, что в группе спортсменов с перенапряжением отмечаются более высокие средние показатели провоспалительных цитокинов IL-1 $\alpha$  и IL-6 — 323,2 ± 21,9 относительно 180,4 ± 16,8 пг/мл и 74,2 ± 6,1 относительно 21,7 ± 3,4 пг/мл ( $p < 0,001$ ). Уровни провоспалительного TNF $\alpha$  также повышены, но в меньшей степени ( $p \leq 0,01$ ). Снижение на этом фоне противовоспалительного IL-4 (20,4 ± 1,5 относительно 30,1 ± 2,4 пг/мл) свидетельствует о еще более выраженным нарушении адаптации. Так, по данным корреляционного анализа в группе спортсменов с перенапряжением между IL-4 и TNF $\alpha$  отмечается отрицательная средней силы статистически значимая корреляционная связь ( $r = -0,63$ ), а в группе спортсменов без перенапряжения — статистически значимая положительная корреляционная связь средней силы ( $r = +0,48$ ).

Таким образом, несмотря на функциональное повышение уровня провоспалительных цитокинов у всех спортсменов, наибольшее значение при диагностике

**Таблица 2.** Особенности цитокинового статуса у спортсменов с перенапряжением сердца и спортсменов без сердечно-сосудистых нарушений

**Table 2.** Features of cytokine status in athletes with cardiac overstrain and athletes without cardiovascular disorders

Группа / Group	Цитокины, pg/мл / Cytokines, pg/ml					
	TNF $\alpha$ 0–29,6	IL-1 $\alpha$ 0–163,7	IL-4 0–35,7	IL-6 0–19,8	IL-8 0–54,5	
Здоровые доноры / Healthy donors ( $n = 24$ )	$M \pm m$ выше РИ, % / above RI, %	16,2 ± 0,9 8,3	93,3 ± 1,01 8,3	15,6 ± 0,7 4,2	9,7 ± 0,9 4,2	21,8 ± 1,3 12,5
Перенапряжение сердца / Overstrain of the heart ( $n = 19$ )	$M \pm m$ выше РИ, % / above RI, %	206,3 ± 20,1 100	323,2 ± 21,9 89,4	20,4 ± 1,5 5,2	74,2 ± 6,1 78,9	224 ± 16,3 63,1
Без перенапряжения сердца / Without overstrain of the heart ( $n = 28$ )	$M \pm m$ выше РИ, % / above RI, %	119,3 ± 13,8 53,6	180,4 ± 16,8 42,8	30,1 ± 2,4 35,7	21,7 ± 3,4 42,8	189 ± 13,1 60,7
Статистическая значимость различий в группах спортсменов / Statistical significance of differences in groups of athletes ( $t$ )		$p < 0,01$ (3,56)	$p < 0,001$ (5,17)	$p < 0,01$ (3,43)	$p < 0,001$ (7,52)	$p > 0,05$ (1,67)

Примечание.  $t$  — критерий Стьюдента; РИ — референсный интервал по данным исследования крови условно-здоровых доноров (18–35 лет) из коллекции биобанка СПб ГБУЗ «Городская больница № 40» [4].

Note.  $t$  — the Student's criterion; RI — reference interval according to the blood test of conditionally healthy donors (18–35 years old) from the collection of the biobank of City Hospital No. 40 [4].

нефункционального перенапряжения у спортсменов-гребцов следует придавать повышению уровней IL-1 $\alpha$  и IL-6 и повышению TNF $\alpha$  на фоне снижения IL-4.

Полученные данные подтверждаются исследованиями, показавшими связь уровня провоспалительных цитокинов с метаболизмом сосудистой системы, и установивших их роль в качестве предиктора кардиоваскулярных событий. Так, вызванное физической нагрузкой высвобождение IL-1 и TNF $\alpha$  оказывает негативное влияние на мышцы и может быть связано с перенапряжением и перетренированностью [20]. Имеются доказательства возможности определения IL-6 в качестве потенциального биомаркера нефункционального перенапряжения и синдрома перетренированности [17]. У спортсменов с дисфункцией миокарда, по сравнению с теми, у кого ее не было, наблюдалась значительно более высокая экспрессия провоспалительного цитокина TNF $\alpha$  [16].

## ВЫВОДЫ

1. У спортсменов отмечается повышение провоспалительных цитокинов, что может быть как следствием адаптационных изменений, так и признаком длительного системного воспаления, отражающего недовосстановление мышц. Определение IL-6, IL-8, TNF $\alpha$  может быть полезно для оценки адаптации организма к тренировочным нагрузкам.

2. В соревновательный период отмечаются наиболее выраженное повышение уровня провоспалительных цитокинов, при этом следует учитывать, что повышение

противовоспалительного цитокина IL-4 происходит в ответ на высокие уровни провоспалительных цитокинов и является признаком хорошей адаптации.

3. Наибольшее значение при диагностике нефункционального перенапряжения сердца у спортсменов-гребцов следует придавать повышению уровней IL-1 $\alpha$  и IL-6 и повышению TNF $\alpha$  на фоне снижения IL-4.

4. Результаты представленного исследования имеют значение для повышения соревновательных результатов спортсменов-гребцов, поскольку хронические заболевания, характеризующиеся стойким воспалением и иммунной дисрегуляцией, серьезно ухудшают силу мышц, их выносливость, потенциал регенерации и могут стать причиной острых респираторных инфекций на пике достижения «спортивной формы».

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациентов и их представителей на публикацию медицинских данных.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадтиева В.А., Павлов В.И., Шарыкин А.С., и др. Синдром перетренированности как функциональное расстройство сердечно-сосудистой системы, обусловленное физическими нагрузками // Российский кардиологический журнал. 2018. Т. 23, № 6. С. 180–190. EDN: XSLTVZ doi: 10.15829/1560-4071-2018-6-180-190
2. Василенко В.С., Левин М.Я., Семенова Ю.Б., Назаров П.Г. Цитокины как маркеры перенапряжения сердечно-сосудистой системы у спортсменов // Цитокины и воспаление. 2015. Т. 14, № 1. С. 86–90. EDN: UZMOPX
3. Даниленко Л., Калинина М., Калинин А., и др. Восстановительное лечение синдрома перенапряжения мышц спины у спортсменов, занимающихся греблем и плаванием // Медицина: теория и практика. 2023. Т. 8, № 2. С. 10–16. EDN: KJERAH doi: 10.56871/MTP.2023.11.17.002
4. Земцовский Э.В. Спортивная кардиология. Санкт-Петербург: Гиппократ, 1995. 448 с. EDN: VJXJV
5. Лопатин З.В., Василенко В.С., Карповская Е.Б. Роль повреждающих эндотелий факторов в патогенезе кардиомиопатии перенапряжения у спортсменов игровых видов спорта // Педиатр. 2018. Т. 9, № 6. С. 57–62. EDN: FBOJYS doi: 10.17816/PED9657-62
6. Лысенко Л.М., Кузнецова О.А., Шилина Л.В. Патологические изменения сердечно-сосудистой системы у спортсменов на фоне синдрома физического перенапряжения // Русский медицинский журнал. 2015. Т. 23, № 4. С. 239.
7. Сущенцева Н.Н., Попов О.С., Апалько С.В., и др. Биобанк как источник образцов для определения референтных интервалов концентраций циркулирующих в крови цитокинов, хемокинов и факторов роста // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 21, № 11. С. 25–32. EDN: NEVOCC doi: 10.15829/1728-8800-2022-3396
8. Armstrong L.E., Bergeron M.F., Lee E.C., et al. Overtraining syndrome as a complex systems phenomenon // Front Netw Physiol. 2022. Vol. 1. P. 794392. doi: 10.3389/fnnetp.2021.794392
9. Beiter T., Hoene M., Prenzler F., et al. Exercise, skeletal muscle and inflammation: ARE-binding proteins as key regulators in inflammatory and adaptive networks // Exerc Immunol Rev. 2015. Vol. 21. P. 42–57.
10. Bernardo B.C., Weeks K.L., Pretorius L., McMullen J.R. Molecular distinction between physiological and pathological cardiac hypertrophy: Experimental findings and therapeutic strategies // Pharmacol Ther. 2010. Vol. 128, N. 1. P. 191–227. doi: 10.1016/j.pharmthera.2010.04.005
11. Carrard J., Rigort A.C., Appenzeller-Herzog C., et al. Diagnosing overtraining syndrome: A scoping review // Sports Health. 2022. Vol. 14, N. 5. P. 665–673. doi: 10.1177/19417381211044739
12. Cerqueira E., Marinho D.A., Neiva H.P., Lourenco O. Inflammatory effects of high and moderate intensity exercise — a systematic review // Front Physiol. 2019. Vol. 10. P. 1550. doi: 10.3389/fphys.2019.01550.
13. Craighead D.H., Heinbockel T.C., Freeberg K.A., et al. Time-efficient inspiratory muscle strength training lowers blood pressure and improves endothelial function, no bioavailability, and oxidative stress in midlife/older adults with above-normal blood pressure // J Am Heart Assoc. 2021. Vol. 10, N. 13. P. e020980. doi: 10.1161/JAHA.121.020980
14. da Rocha A.L., Pinto A.P., Kohama E.B., et al. The proinflammatory effects of chronic excessive exercise // Cytokine. 2019. Vol. 119. P. 57–61. doi: 10.1016/j.cyto.2019.02.016
15. Kurowski M., Seys S., Bonini M., et al. Physical exercise, immune response, and susceptibility to infections — current knowledge and growing research areas // Allergy. 2022. Vol. 77, N. 9. P. 2653–2664. doi: 10.1111/all.15328
16. La Gerche A., Inder W.J., Roberts T.J., et al. Relationship between inflammatory cytokines and indices of cardiac dysfunction following intense endurance exercise // PloS one. 2015. Vol. 10, N. 6. P. e0130031. doi: 10.1371/journal.pone.0130031
17. Lee E.C., Fragala M.S., Kavouras S.A., et al. Biomarkers in sports and exercise // J Strength Cond Res. 2017. Vol. 31, N. 10. P. 2920–2937. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122
18. Luoto R., Ruuskanen O., Ihlainen J. K., et al. Inflammatory biomarkers in elite cross-country skiers after a competition season: a case-control study // Journal of Science in Sport and Exercise. 2023. Vol. 5, N. 3. P. 254–262. doi: 10.1007/s42978-022-00186-w
19. Małkowska P., Sawczuk M. Cytokines as biomarkers for evaluating physical exercise in trained and non-trained individuals: a narrative review // Int J Mol Sci. 2023. Vol. 24, N. 13. P. 11156. doi: 10.3390/ijms241311156
20. Palmowski J., Kohnhorst S., Bauer P., et al. T-cell-derived TNF- $\alpha$  and a cluster of immunological parameters from plasma allow a separation between SARS-CoV-2 convalescent versus vaccinated elite athletes // Front Physiol. 2023. Vol. 14. P. 1203983. doi: 10.3389/fphys.2023.1203983
21. Roth J., Szczygiel T., Moore M., et al. Profiling inflammatory markers during the competitive season and post season in collegiate wrestlers // J Strength Cond Res. 2019. Vol. 33, N. 8. P. 2153–2161. doi: 10.1519/JSC.0000000000002360
22. Selye H.A. Syndrome produced by diverse nocuous agents // Nature. 1936. Vol. 138, N. 3479. P. 32. doi: 10.1038/138032a0
23. Symons I.K., Bruce L., Main L.C. Impact of overtraining on cognitive function in endurance athletes: a systematic review // Sports Medicine-Open. 2023. Vol. 9, N. 1. P. 69. doi: 10.1186/s40798-023-00614-3
24. Tesema G., George M., Mondal S., Mathivana D. Serum cardiac markers are inversely associated with VO<sub>2</sub>max of amateur athletes in response to endurance training adaptations // BMJ Open Sport Exerc Med. 2019. Vol. 5, N. 1. P. e000537. doi: 10.1136/bmjjsem-2019-000537

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information.

- 25.** Van Den Eeckhout B, Tavernier J. Interleukin-1 as innate mediator of T cell immunity // *Front Immunol.* 2021. Vol. 11. P. 621931. doi: 10.3389/fimmu.2020.621931
- 26.** Xu X. Effects of regular exercise on inflammasome activation-related inflammatory cytokine levels in older adults: a systematic review and meta-analysis // *J Sports Sci.* 2021. Vol. 39, N. 20. P. 2338–2352. doi: 10.1080/02640414.2021.1932279

## REFERENCES

- 1.** Badtjeva VA, Pavlov VI, Sharykin AS, et al. An overtraining syndrome as functional cardiovascular disorder due to physical overload. *Russian Journal of Cardiology.* 2018;23(6):180–190. EDN: XSLTVZ doi: 10.15829/1560-4071-2018-6-180-190
- 2.** Vasilenko VS, Levin MYa, Semyonova YuB, Nazarov PG. Cytokines as markers of the cardiovascular overexertion in athletes. *Cytokines and Inflammation.* 2015;14(1):86–90. EDN: UZMOPX
- 3.** Danilenko L, Kalinina M, Kalinin A, et al. Recovery treatment overstrain syndrome of back muscles in rowing and swimming athletes. *Medicine: Theory and Practice.* 2023;8(2):10–16. EDN: KJEPAH doi: 10.56871/MTP.2023.11.17.002
- 4.** Zemtsovsky EV. *Sport cardiology.* Saint Petersburg: Hippocrates; 1995. 448 p. (In Russ.) EDN: VJXJV8
- 5.** Lopatin ZV, Vasilenko VS, Karpovskaya EB. Role of endothelium damage factors in the pathogenesis of cardiomyopathy surge in athletes sports. *Pediatrician (St. Petersburg).* 2018;9(6):57–62. EDN: FBOJYS doi: 10.17816/PED9657-62
- 6.** Lysenko LM, Kuznetsova OA, Shilina LV. Pathologic changes in the cardiovascular system in athletes against the background of physical overstrain syndrome. *Russian Medical Journal.* 2015;23(4):239. (In Russ.)
- 7.** Sushentseva NN, Popov OS, Apalko SV, et al. Biobank as a source of samples for determination of concentration reference ranges for cytokines, chemokines and growth factors circulating in the blood. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2022;21(11):25–32. EDN: NEVOCC doi: 10.15829/1728-8800-2022-3396
- 8.** Armstrong LE, Bergeron MF, Lee EC, et al. Overtraining syndrome as a complex systems phenomenon. *Front Netw Physiol.* 2022;1:794392. doi: 10.3389/fnnetp.2021.794392
- 9.** Beiter T, Hoene M, Prenzler F, et al. Exercise, skeletal muscle and inflammation: ARE-binding proteins as key regulators in inflammatory and adaptive networks. *Exerc Immunol Rev.* 2015;21: 42–57.
- 10.** Bernardo BC, Weeks KL, Pretorius L, McMullen JR. Molecular distinction between physiological and pathological cardiac hypertrophy: Experimental findings and therapeutic strategies. *Pharmacol Ther.* 2010;128(1):191–227. doi: 10.1016/j.pharmthera.2010.04.005
- 11.** Carrard J, Rigort AC, Appenzeller-Herzog C, et al. Diagnosing overtraining syndrome: A scoping review. *Sports Health.* 2022;14(5):665–673. doi: 10.1177/19417381211044739
- 12.** Cerqueira E, Marinho DA, Neiva HP, Lourenco O. Inflammatory effects of high and moderate intensity exercise — a systematic review. *Front Physiol.* 2019;10:1550. doi: 10.3389/fphys.2019.01550.
- 13.** Craighead DH, Heinbockel TC, Freeberg KA, et al. Time-efficient inspiratory muscle strength training lowers blood pressure and improves endothelial function, no bioavailability, and oxidative stress in midlife/older adults with above-normal blood pressure. *J Am Heart Assoc.* 2021;10(13): e020980. doi: 10.1161/JAHA.121.020980
- 14.** da Rocha AL, Pinto AP, Kohama EB, et al. The proinflammatory effects of chronic excessive exercise. *Cytokine.* 2019;119:57–61. doi: 10.1016/j.cyto.2019.02.016
- 15.** Kurowski M, Seys S, Bonini M, et al. Physical exercise, immune response, and susceptibility to infections — current knowledge and growing research areas. *Allergy.* 2022;77(9):2653–2664. doi: 10.1111/all.15328
- 16.** La Gerche A, Inder WJ, Roberts TJ, et al. Relationship between inflammatory cytokines and indices of cardiac dysfunction following intense endurance exercise. *PLoS one.* 2015;10(6):e0130031. doi: 10.1371/journal.pone.0130031
- 17.** Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, et al. Biomarkers in sports and exercise. *J Strength Cond Res.* 2017;31(10):2920–2937. doi: 10.1519/JSC.0000000000002122
- 18.** Luoto R, Ruuskanen O, Ihälainen JK, et al. Inflammatory biomarkers in elite cross-country skiers after a competition season: a case-control study. *Journal of Science in Sport and Exercise.* 2023;5(3):254–262. doi: 10.1007/s42978-022-00186-w
- 19.** Małkowska P, Sawczuk M. Cytokines as biomarkers for evaluating physical exercise in trained and non-trained individuals: a narrative review. *Int J Mol Sci.* 2023;24(13):11156. doi: 10.3390/ijms241311156
- 20.** Palmowski J, Kohnhorst S, Bauer P, et al. T-cell-derived TNF- $\alpha$  and a cluster of immunological parameters from plasma allow a separation between SARS-CoV-2 convalescent versus vaccinated elite athletes. *Front Physiol.* 2023;14:1203983. doi: 10.3389/fphys.2023.1203983
- 21.** Roth J, Szczygiel T, Moore M, et al. Profiling inflammatory markers during the competitive season and post season in collegiate wrestlers. *J Strength Cond Res.* 2019;33(8):2153–2161. doi: 10.1519/JSC.0000000000002360
- 22.** Selye HA. Syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature.* 1936;138(3479):32. doi: 10.1038/138032a0
- 23.** Symons IK, Bruce L, Main LC. Impact of overtraining on cognitive function in endurance athletes: a systematic review. *Sports Medicine Open.* 2023;9(1):69. doi: 10.1186/s40798-023-00614-3
- 24.** Tesema G, George M, Mondal S, Mathivana D. Serum cardiac markers are inversely associated with VO<sub>2</sub>max of amateur athletes in response to endurance training adaptations. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2019;5(1): e000537. doi: 10.1136/bmjssem-2019-000537
- 25.** Van Den Eeckhout B, Tavernier J. Interleukin-1 as innate mediator of T cell immunity. *Front Immunol.* 2021;11:621931. doi: 10.3389/fimmu.2020.621931
- 26.** Xu X. Effects of regular exercise on inflammasome activation-related inflammatory cytokine levels in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Sports Sci.* 2021;39(20):2338–2352. doi: 10.1080/02640414.2021.1932279

## ОБ АВТОРАХ

**\*Назар Джуманазарович Мамiev**, ассистент кафедры госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; ORCID: 0000-0002-1292-306X; eLibrary SPIN: 9834-5762; e-mail: nazarmamiev1986@yandex.ru

**Владимир Станиславович Василенко**, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8833-304X; eLibrary SPIN: 1355-1790; e-mail: vasilenkovladi@yandex.ru

**Юлия Борисовна Семенова**, канд. мед. наук, доцент, кафедра госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-4397-7079; eLibrary SPIN: 9868-7645; e-mail: ulasema@rambler.ru

**Екатерина Борисовна Карповская**, канд. мед. наук, доцент, кафедра госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-2363-6100; eLibrary SPIN: 5214-2693; e-mail: karpovskaya@yandex.ru

**Анна Владимировна Меркулова**, ассистент, кафедра госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0006-3732-6890; e-mail: dr\_anmerkulova@mail.ru

**Наталья Сергеевна Канавец**, канд. мед. наук, ассистент, кафедра госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-4693-4338; eLibrary SPIN: 1652-8330; e-mail: natalia.kanavets@mail.ru

**Владимир Сергеевич Иванов**, канд. мед. наук, доцент, кафедра госпитальной терапии с курсом эндокринологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-5705-7057; eLibrary SPIN: 5790-9543; e-mail: ivanovvs@eliz-spb.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**\*Nazar D. Mamiev**, Assistant Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litovskaya st., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0002-1292-306X; eLibrary SPIN: 9834-5762; e-mail: nazarmamiev1986@yandex.ru

**Vladimir S. Vasilenko**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Head, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-8833-304X; eLibrary SPIN: 1355-1790; e-mail: vasilenkovladi@yandex.ru

**Yuliya B. Semenova**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-4397-7079; eLibrary SPIN: 9868-7645; e-mail: ulasema@rambler.ru

**Ekaterina B. Karpovskaya**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-2363-6100; eLibrary SPIN: 5214-2693; e-mail: karpovskaya@yandex.ru

**Anna V. Merkulova**, Assistant Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0006-3732-6890; e-mail: dr\_anmerkulova@mail.ru

**Natalia S. Kanavets**, MD, PhD, Assistant Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-4693-4338; eLibrary SPIN: 1652-8330; e-mail: natalia.kanavets@mail.ru

**Vladimir S. Ivanov**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Hospital Therapy with Endocrinology Course, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-5705-7057; eLibrary SPIN: 5790-9543; e-mail: ivanovvs@eliz-spb.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15165-78>

# Метаболические нарушения и андрогенный дефицит в патогенезе мочекаменной болезни

З.К. Эмиргаев, Н.С. Тагиров, А.Г. Васильев, Р.Н. Тагиров

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

В данном обзоре содержится обобщение и критический анализ современных данных о патогенезе мочекаменной болезни (уролитиаз, нефролитиаз). Акцент сделан на таких вопросах, как: механизмы образования мочевых камней; факторы риска камнеобразования; роль окислительного стресса; химический состав почечных камней (и особенно оксалатов); роль бляшек Рэндалла, остеопонтина, уромодулина (белка Тамма – Хорсфолла), а-енолазы; механизм образования камней в собирательных трубочках. Рассмотрены также недостаточно изученные вопросы влияния микробиоты — (а) почек и мочевыводящих путей и (б) желудочно-кишечного тракта. Уделено внимание новым подходам к пониманию патогенеза и лечению мочекаменной болезни, а именно работам по генетике, эпигенетике, генной инженерии и протеомике. Показано несовершенство существующих экспериментальных моделей мочекаменной болезни. Отдельно рассмотрен вопрос о применении андрогенной заместительной терапии в лечении пациентов, страдающих уролитиазом. Главный теоретический результат данного аналитического обзора — обоснование представления о мочекаменной болезни как системном заболевании, при котором любое значительное отклонение констант внутренней среды нарушает тонкий баланс, обеспечивающий растворимость веществ в первичной моче и выведение их со вторичной мочой. Практический итог анализа литературы — подтверждение применимости андрогенной заместительной терапии в лечении пациентов, страдающих мочекаменной болезнью.

**Ключевые слова:** мочекаменная болезнь; уролитиаз; нефролитиаз; метаболический синдром; патогенез; андрогены.

## Как цитировать

Эмиргаев З.К., Тагиров Н.С., Васильев А.Г., Тагиров Р.Н. Метаболические нарушения и андрогенный дефицит в патогенезе мочекаменной болезни // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 65–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15165-78>

Рукопись получена: 26.12.2023

Рукопись одобрена: 17.01.2024

Опубликована: 29.02.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15165-78>

# Metabolic disorders and androgen deficiency in the pathogenesis of urolithiasis

Zaur K. Emirgaev, Nair S. Tagirov, Andrei G. Vasiliev, Ruslan N. Tagirov

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

This review summarizes and critically analyzes current data on the pathogenesis of urolithiasis (urolithiasis, nephrolithiasis). Emphasis is placed on such issues as: mechanisms of urinary stone formation; risk factors for stone formation; the role of oxidative stress; the chemical composition of renal stones (and especially oxalates); the role of Randall's plaques, osteopontin, uromodulin (Tamm–Horsfall protein),  $\alpha$ -enolase; and the mechanism of stone formation in the collecting ducts. Insufficiently studied issues of microbiota influence — (a) kidney and urinary tract and (b) gastrointestinal tract are also considered. Attention is paid to new approaches to understanding the pathogenesis and treatment of urolithiasis, namely works on genetics, epigenetics, genetic engineering and proteomics. The imperfection of existing animal models of urolithiasis is shown. The issue of application of androgen replacement therapy in the treatment of patients suffering from urolithiasis is considered separately. The author considers the main theoretical result of his work to be the approval of the idea of urolithiasis as a systemic disease, in which any significant deviation of the internal environment constants violates the delicate balance that ensures the solubility of substances in primary urine and their excretion with secondary urine. The practical result is to confirm the applicability of androgen replacement therapy in the treatment of patients suffering from urolithiasis.

**Keywords:** urolithiasis; nephrolithiasis; metabolic syndrome; pathogenesis; androgens.

## To cite this article

Emirgaev ZK, Tagirov NS, Vasiliev AG, Tagirov RN. Metabolic disorders and androgen deficiency in the pathogenesis of urolithiasis. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):65–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15165-78>

Received: 26.12.2023

Accepted: 17.01.2024

Published: 29.02.2024

## МОЧЕКАМЕННАЯ БОЛЕЗНЬ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Мочекаменная болезнь (МКБ, уролитиаз, нефролитиаз) преследует человечество с древних времен [28]. Почечные камни были обнаружены в останках человека, погребенного 7 тыс. лет назад [58].

**Заболеваемость** МКБ в настоящее время составляет в Азии от 1 до 5 %, в Европе 5–9 %, в Северной Америке от 7 до 13 % [13] и показывает тенденцию к росту. В Китае частота МКБ приближается к 6 % [81]. В последние два десятилетия во всем мире отмечается рост распространенности МКБ [71]. Некоторые исследователи оценивают заболеваемость МКБ по всему миру величиной около 12 % [14], другие оценки даже приближаются к 15 % [39]. В Российской Федерации МКБ составляет 2/5 от числа всех заболеваний урологической природы [1, 2].

### Риск рецидивов

Частота рецидивов нефролитиаза в течение первых 5 лет после первого эпизода камнеобразования составляет от 30 до 50 % [15, 39, 41], а по некоторым данным, и более 50 % [45]. За следующее пятилетие частота рецидивов возрастает до 90 %, и в результате нефролитиаз ложится тяжким экономическим бременем на пациентов и общество в целом [57]. В настоящее время не существует удовлетворительного лекарственного препарата для лечения и/или профилактики рецидивов МКБ [14].

### Мочекаменная болезнь как системное заболевание

Камни в почках — минеральные отложения в чашечках и лоханке — либо находятся в свободном состоянии, либо прикреплены к почечным сосочкам. Они содержат кристаллические и органические компоненты и образуются при перенасыщении мочи минералами [6, 7, 34].

Часть исследователей указывает на то, что нефролитиаз может проявляться образованием идиопатических кальциевых камней у пациентов без отчетливых симптомов системных заболеваний [22]. Все же, по мнению большинства специалистов, метаболические изменения при МКБ не могут быть описаны как изменения обмена лишь нескольких конкретных веществ [75], и поэтому нефролитиаз предлагают считать **системным заболеванием** [18].

### Степень изученности МКБ

Как и в какой степени множественные факторы (генетические, биохимические, гигиенические и др.) взаимодействуют друг с другом и приводят к образованию, росту и рецидивам конкрементов в почках, до конца не ясно [18]. Необходимость разработки патофизиологии МКБ признается очевидной [14].

## МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ МОЧЕВЫХ КАМНЕЙ

### Факторы риска камнеобразования

Факторами риска камнеобразования считаются: (а) малоподвижный образ жизни [39, 71]; (б) сахарный диабет и метаболический синдром [24, 62]; (в) гипертония [39, 71] и другие сердечно-сосудистые заболевания [33]; (г) низкое потребление жидкости и высокое — белка [15]; (д) неалкогольная жировая болезнь печени [31]; (е) малый объем выделяемой мочи и дегидратация [52]; (ж) первичный гиперпаратиреоз [15] и гиперкальциурия [52]; (з) гипероксалурия, гипоцитратурия [52].

У пациентов с гиперкальциурией часто наблюдается снижение минерализации костей вплоть до остеопороза, в связи с чем им назначают препараты витамина D и/или кальция. Такие назначения повышают риск развития МКБ за счет увеличения экскреции с мочой кальция, фосфатов и оксалатов [47].

Избыточное потребление оксалата с пищей, например со шпинатом, может способствовать образованию камней, а высокое содержание кальция в пище влияет на формирование бляшек Рэндалла [17].

### Химический состав почечных камней

На долю оксалата кальция ( $\text{CaOx}$ ) — кальциевой соли щавелевой кислоты  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  — приходится 65,9 % общего числа почечных камней [77, 81].

Входящие в состав почечных камней соли фосфорной кислоты также представлены, главным образом, солями кальция ( $\text{CaP}$ ). Это карбапатит (carbapatite)  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , на долю которого приходится 15,6 % камней, и брушит ( $\text{brushite}$ )  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — 1,7 % камней [77]. В сумме с  $\text{CaOx}$  соли фосфорной кислоты составляют более 80 % числа почечных конкрементов [11].

Относительно часто (12,4 %) встречаются камни, состоящие из уратов (urates)  $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$  — солей мочевой кислоты. Реже (2,7 %) обнаруживаются конкременты из водного фосфата магния и аммония — струвита ( $\text{struvite}$ )  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  [11].

Цистиновые камни (cystine stones) состоят из окисленного производного аминокислоты цистеина —  $(\text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{CO}_2\text{H})_2$ . На их долю приходится около 1 % МКБ у взрослых [35].

Оксалатные и уратные камни чаще встречаются у мужчин, а карбапатиты и струвиты — у женщин [20].  $\text{CaOx}$  и карбапатиты наблюдаются чаще у людей в возрасте от 30 до 50 лет. Брушиты и струвиты преобладают у лиц моложе 20 и старше 70 лет. Ураты и струвиты чаще формируются не в почках, а в мочевом пузыре [77].

Анализ огромного статистического материала (50 тыс. больных МКБ) показал, что за последние десятилетия доля карбапатитовых камней уменьшилась, а доля брушитовых — увеличилась [23].

Для каждого типа камней характерна особая картина отложения минералов [27], но в понимании патогенеза наиболее распространенного типа камнеобразования — идиопатического кальциево-оксалатного камнеобразования — достигнут значительный прогресс [28].

## Оксалат кальция

Конкременты, сформированные из CaOx, как сказано выше, составляют около 2/3 всех камней почки [14, 81], и оксалаты рассматриваются как основные промоторы кристаллообразования, они ускоряют кристаллизацию или агрегацию компонентов камня за счет активации нескольких механизмов [68].

Образованию камней способствует перенасыщение мочи оксалатом кальция [68]. Гомеостаз оксалатов поддерживается тонким балансом между эндогенными источниками, экзогенным поступлением и выведением из организма ряда веществ [25]. В частности, он контролируется оксалатным транспортером *SLC26A6* [59]. Эта эволюционно консервативная анионная транспортная система играет критическую роль в ионном гомеостазе и кислотно-основном балансе [67]. Помимо почек она присутствует и в стенке кишки [75].

На модели гипероксалурии *in vivo* [42] наблюдали повышенную экспрессию молекулы повреждения почек 1 (*kidney injury molecule-1*, KIM-1) в тканях почек крысы. Измерение содержания эктодомена молекулы KIM-1 в моче авторы предлагают в качестве маркера нефротоксичности при гипероксалурии.

## Креатинин сыворотки крови

Креатинин сыворотки крови пока является наиболее распространенным методом глобальной оценки функции почек, хотя он обладает низкой чувствительностью в отношении ранних изменений скорости гломеруллярной фильтрации или при односторонней почечной патологии. Авторы соглашаются с идеей использовать в качестве маркера тест на содержание KIM-1 [50].

## Выведение оксалатов

Существует три основных пути выведения оксалатов: (а) снижение поступления, (б) увеличение экскреции и (в) превращение в другие вещества [75]. У пациентов с первичной или вторичной гипероксалурией, нефролитиазом, острой или хронической оксалатной нефропатией, хронической болезнью почек независимо от этиологии нарушается один или несколько из этих элементов.

Относительно образования камней в почках выдвинуты пять постулатов [68]:

1. Перенасыщение мочи и кристаллизация — движущие силы внутрипочечного выпадения кристаллов.
2. Бляшки Рэндалла — источник образования камней из CaOx.
3. Половые гормоны могут играть ключевую роль в развитии нефролитиаза и, следовательно, быть

потенциальными мишениями для новых препаратов, подавляющих образование камней в почках.

4. Микробиота почки и мочевыводящих путей (включая уреазопродуцирующие бактерии), а также толстой кишки, оказывает сильное (как положительное, так и отрицательное) влияние на урологическое здоровье благодаря своей метаболической активности.

5. Иммунный ответ, и в частности дифференцировка макрофагов, играет важнейшую роль в формировании почечных кристаллов CaOx.

Все же точные механизмы образования и роста камней в почках оцениваются как «не до конца выясненные» [28].

## Фиксация камня

Каким образом камнидерживаются в почке, пока они имеют небольшие размеры, до конца не изучено. Рассматриваются два варианта удержания камней на ранних стадиях процесса их формирования: один — рост на интерстициальной бляшке Рэндалла; другой — рост на минерале, сформировавшемся в виде люминальной пробки в терминальной собирающей трубочке [70].

Пока кристаллы свободно проходят по почечным канальцам и не задерживаются в почках, кристаллизация опасности не представляет [40]. Вероятно, в норме транзит мочи по нефрому происходит слишком быстро, чтобы кристаллы успели вырасти достаточно крупными для прикрепления. В почках должен существовать механизм фиксации («заякоривания») кристаллов. Их контакт с тканями вызывает повреждения и способствует прикреплению — либо к эпителиальным клеткам, либо к их базальной мемbrane.

Возможно, все-таки успевает произойти образование частиц, достаточно крупных, чтобы блокировать канальцы, особенно в тех местах, где нарушено течение мочи из-за изменения диаметра просвета канальца. Результатом могут стать кристаллические отложения, закупоривающие отверстия собираемых трубочек. Таким образом, фиксация происходит либо за счет образования бляшек Рэндалла, либо за счет закупорки отверстий собираемых трубочек кристаллическими пробками, либо за счет субэпителиального отложения кристаллов [40].

**Бляшки Рэндалла** (Randall's plaques or plugs) названы по имени описавшего их американского хирурга Александра Рэндалла [56]. Бляшки появляются сначала в тонкой части петли Генле [27]. Это апатитовые, то есть состоящие из CaP, отложения в межклеточном пространстве, расположенные близко к поверхности почечного сосочка и рассматриваемые как основа, на которой образуются мочевые камни, хотя сами камни состоят, главным образом, из CaOx [14, 22, 28, 39, 73]. Кальцификация начинается в базальной мембране петель Генле, откуда бляшки распространяются через интерстиций в сторону уротелии [21].

Внутритубулярные кристаллы, проникая в почечный интерстиций, могут вызывать изменения в эпителиальных или эндотелиальных клетках, приводящие к образованию

бляшек Рэндалла [40]. Проксимально расположенные минеральные агрегаты находятся в наружной части междудиллярного комплекса и интранефронарно. Дистальная интерстициальная минерализация у верхушки сосочка, соответствующая бляшке Рэндалла, не возникает прежде проксимальной минерализации [34].

В камнях есть апатитовая область, обычно <0,5 мм в поперечнике, и в ней встречаются свободные пространства — свидетельство происхождения из соединительной ткани сосочка [70]. После прикрепления к бляшке оксалатный камень продолжает увеличиваться в размерах. При нарушении целостности уротелия участки бляшки подвергаются воздействию мочи. Процессы пересыщения, зарождения, роста, агрегации и удержания компонентов мочевого камня в канальцах следуют один за другим [14].

**Остеопонтин (OPN)** — белок, синтезируемый во многих органах и тканях, обладает широким спектром функций, в том числе в минерализации костей и заживлении ран. Контакт мочи, перенасыщенной кристаллами солей, OPN и уромодулином, с открытой (поврежденной) поверхностью клеток образует череду матрикса и кристаллов [21].

В почках OPN регулирует метаболизм кальция и фосфатов. Благодаря своей способности прочно связываться с гидроксиапатитом OPN в почках способствует развитию воспаления и фиброза. У пациентов с хронической болезнью почек (ХБП) концентрация OPN повышена в почках, крови и моче, особенно при сочетании этого заболевания с сахарным диабетом и гломерулонефритом. OPN рассматривается в качестве биомаркера ХБП [60].

В опытах *in vivo* на крысах CaOx усиливал окислительный стресс, адгезию кристаллов, экспрессию остеопонтина и KIM-1. Кроме того, наблюдалось снижение уровня цитрата мочи, а также повышение уровня креатинина и мочевины в сыворотке крови. Кальций-чувствительные рецепторы (CaSRs) также могут играть важную роль в индукции нефролитиаза [74].

**Уромодулин**, или белок Тамма – Хорсфолла (*uromodulin aka Tamm–Horsfall protein, THP*) — гликопротеин, в норме наиболее распространенный белок в моче. Экскреция его с мочой происходит в результате протеолиза предшественника, расположенного на луминальной поверхности клеток петли Генле. Это ингибитор кристаллизации кальция в почке — присутствуя в моче, он участвует в защите мочевыводящих путей от инфекций, — и эффективный биомаркер тяжести любых заболеваний почек — при ХБП концентрация THP в моче снижается, коррелируя с изменениями скорости гломеруллярной фильтрации. Уровень THP в сыворотке крови тесно связан с тяжестью поражения почек [64].

**Собирательные трубочки** (*collecting ducts or ducts of Bellini*). Камни, состоящие преимущественно из CaP (гидроксиапатит, брушит), часто формируются в собирательных трубочках. Такие отложения вызывают локальное повреждение тканей и могут стать местом роста минералов [22].

В чашечках обнаруживаются цистинурические камни — многочисленные, мелкие, овальные, гладкие и желтые; что рассматривается как доказательство их образования в свободном растворе [28]. Камни, растущие на пробках в собирательных трубочках (*ductal plugs*), прикрепляются к кусочку апатита, но апатитовые участки обычно крупнее (часто >1 мм в длину и >0,5 мм в ширину), и они сплошные, без просветов, проходящих через них [70].

### Окислительный стресс

Оксалатно-кальциевый уролитиаз — наиболее распространенный тип МКБ — связан с окислительным стрессом и воспалением/повреждением тканей [19]. Щавелевая кислота и/или кристаллы CaOx повреждают митохондрии, и те становятся источником реактивных форм кислорода в почечных эпителиальных клетках [66]. Индуцированный кислородом окислительный стресс играет ключевую роль в патогенезе МКБ [38]. Митохондриальная дисфункция участвует в удержании и агрегации кристаллов CaOx, а также в формировании бляшек Рэндалла — местах образования камней в почках [19]. Проникая в эпителиоциты, кристаллы CaOx повреждают митохондрии, из них высвобождаются реактивные формы кислорода (*reactive oxygen species, ROS*), которые усиливают воспалительную реакцию [66], способствуют агрегации, росту и адгезии кристаллов, что в конечном итоге приводит к образованию камней [38]. Удержанию частиц на поверхности почечных сосочков способствует повреждение клеток [14]. Продукцию ROS и прогрессирование окислительного стресса можно считать основой образования камней в почках [37].

Механизм повреждения почек в результате инфекции включает как прямую инвазию патогенов, так и отложение комплекса антиген – антитело [12].

### Роль моноцитов

Взаимодействие моноцитов с растворимыми и нерастворимыми оксалатами повреждает митохондрии и нарушает окислительно-восстановительный гомеостаз [51]. Макрофаги — конечная стадия дифференцировки моноцитов крови — вызывают воспаление и так участвуют в формировании почечных кристаллов CaOx [48].

Нарушение оксалатного гомеостаза усиливает локальное воспаление в почках, а противовоспалительные лекарственные препараты смягчают последствия оксалатозависимых заболеваний [25].

Вторичный системный воспалительный ответ поддерживается высоким уровнем инсулина в сочетании с инсулинорезистентностью, и в совокупности с ожирением они составляют триаду признаков метаболического синдрома. Дисфункция эндотелия, в том числе в мочеполовой системе, участвует в развитии уролитиаза [3].

## РОЛЬ МИКРОБИОТЫ

### Почка и мочевыводящие пути

Микробиота кишки состоит из комменсальных, симбиотических и патогенных микроорганизмов. У лиц, страдающих МКБ, микробиота почек и мочевыводящих путей отлична от таковой у здоровых людей: в наибольшей степени они различаются количеством микроорганизмов, принадлежащих к таксонам *Lactobacilli* и *Enterobacteriaceae* [36]. Сильными предикторами почечных камней являются *Escherichia coli*, *Staphylococcus* и *Lactobacillus* [30]. В образовании камней установлена роль уреазопродуцирующих бактерий *Proteus mirabilis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Providencia stuartii*, *Serratia marcescens* и *Morganella morganii* [36]. Кристаллы CaOx образуются в присутствии уропатогенных бактерий *E. coli* и *K. pneumoniae* [36]. В проявлении литогенного действия CaOx участвуют и непатогенные бактерии *S. aureus* и *Streptococcus pneumoniae* [36].

Микробиота почек и мочевыводящих путей может быть вовлечена в образование камней через гипероксалурию и перенасыщение CaOx, образование и агрегацию биопленок, повреждение уретелия. Бактерии связывают кристаллы CaOx, что приводит к пиелонефриту и изменениям в нефронах с образованием бляшек Рэндалла [36].

Бактерии, продуцирующие уреазу, такие как *Aspergillus chimaera*, *K. pneumoniae*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, регулируют образование CaP, расщепляя мочевину и стимулируя выработку CO<sub>2</sub> [26].

### Желудочно-кишечный тракт

*Lactobacillus* участвует в метаболизме кишечных микроорганизмов, разлагая щавелевую кислоту, снижая уровень мочевой кислоты и скорости образования камней в почках. *Lactobacillus*, разлагающая оксалат, ассоциируется с более низким риском образования CaOx-камней в почках [46].

В модели мочекаменной болезни введение *Bacillus subtilis* 168 (BS168) в желудочно-кишечный тракт *Drosophila melanogaster* снижало количество камней в мальпигиевых канальцах и повышало выживаемость насекомых, что, по мнению авторов, позволяет предложить новую микробную терапию для лечения МКБ [13].

При экспериментальном (этиленгликолевом) нефролитиазе добавление *L. plantarum* N-1 (LPN1) в питьевую воду нормализовало обмен аргинина в микробиоте кишки крыс и уменьшало образование кристаллов CaOx в почках [44].

Данный терапевтический эффект обусловлен снижением содержания щавелевой кислоты в моче и экспрессии остеопонтина и CD44 в почках, при этом уменьшалось воспаление и восстанавливалась барьерная функция кишки, посредством воздействия на клаудин 2 (claudin-2) — белок кишечного барьера. Кроме того, вырастала

продукция короткоцепочечных жирных кислот (необходимых для питания эпителиоцитов кишки) и численность полезных бактерий, продуцирующих эти кислоты [69]. *L. plantarum* J-15, воздействуя на микробиоту кишки, снижает выраженность воспаления и тем восстанавливает кишечный барьер, а это, в свою очередь, уменьшает образование камней в почках [65]. В экспериментах на мышах *L. plantarum* усиливала метаболизм оксалатов в кишке, снижала их экскрецию с мочой и отложение кристаллов [59]. Рекомбинантные молочнокислые бактерии, экспрессирующие ферменты, разрушающие оксалат, предлагаются в качестве перорального лекарственного средства при гипероксалурии [82].

*Oxalobacter formigenes* — грамотрицательная анаэробная бактерия, обитающая в толстой кишке. Это основной источник фермента оксалил-КоА-декарбоксилазы, который перерабатывает оксалат путем декарбоксилирования в формиат и тем способствует удалению части потенциальных источников почечных камней [58, 61].

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЛЕЧЕНИЮ МОЧЕКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ

### Генетика и генная инженерия

Выявлены генетические полиморфизмы, потенциально вовлеченные в патогенез кальциевого нефролитиаза. Установлены полиморфизмы 11 генов, ассоциированных с камнями. Гены *VDR*, *SLC34A1*, *SLC34A4*, *CLDN14* и *CaSR* кодируют белки, регулирующие канальцевую реабсорбцию фосфатов и кальция; гены *CaSR*, *MGP*, *OPN*, *PLAU* и *UMOD* кодируют белки, препятствующие выпадению солей кальция; ген *AQP1* кодирует водный канал в проксимальном канальце [16].

Созданы модели нокаутных мышей, у которых развивается интерстициальный кальциноз в почечных сосочках. Это мыши, дефицитные по белку Тамма – Хорсфолла, остеопонтину и одновременно по обоим названным белкам [73].

### Эпигенетика

Факторы внешней среды и диеты могут влиять на возникновение и развитие нефролитиаза через экспрессию генов [18]. Ингибиция экспрессии остеопонтина может ослабить повреждение почек [60]. Подавление экспрессии и высвобождения провоспалительных факторов может стать стратегией борьбы с камнями и их профилактики [75].

В качестве методов лечения также предлагаются: (а) сайленсеры генов на основе малых интерферирующих РНК; (б) рекомбинантные ферменты, расщепляющие оксалаты, и (в) штаммы бактерий, расщепляющих оксалаты [25].

### Протеомика

На основе протеомики и масс-спектрометрии были созданы вычислительные инструменты для оценки взаимодействия между белками (protein-protein interactions, PPI).

Метод был применен для анализа биологических материалов, полученных от пациентов, страдающих МКБ, — мочи, матрикса почечных камней, бляшек Рэндалла, почечных сосочков, клеток почечных канальцев, митохондрий и иммунных клеток. Выявлена роль а-енолазы в качестве центрального узла РР1. Локализация а-енолазы на клеточной мемbrane указывает на то, что этот белок может быть рецептором кристаллов СОМ (CaOx monohydrate), способствующего образованию камней в почках [20, 78].

### Модели МКБ

У собак и кошек образуются уролиты из оксалата кальция, которые могут быть рецидивирующими. Однако модель грызунов, на которой достоверно формировались бы бляшки Рэндалла, не создана. Ощущается потребность в подборе новой модели — животного, достаточно крупного, имеющего среду обитания, сходную с человеческой, небольшую продолжительность жизни (и меньшее время до рецидива нефролитиаза) [49].

В последнюю декаду исследования и разработки были нацелены на создание новых лекарственных средств, включая: (1) сенсибилизаторы инсулина; (2) пробиотическую терапию с использованием *O. formigenes*, рекомбинантных ферментов или инженерных бактерий; (3) методы лечения, включающие повышение секреции оксалата в просвете кишечника путем увеличения активности анионного транспортера Slc26a6, люминально-активных не всасывающихся агентов или связывающих оксалат веществ; (4) препараты, предотвращающие образование бляшек Рэндалла и/или спаек почечных клубочков [58].

## ПРОФИЛАКТИКА РЕЦИДИВОВ УРОЛИТИАЗА

### Традиционные методы

Риск образования камней повышается, если экскреция цитрата с мочой составляет менее 400 мг в сутки, поэтому для профилактики образования камней используется лечение цитратом калия [22].

Уровень кальция в моче >200 мг в сутки повышает риск образования камней и часто приводит к отрицательному кальциевому балансу. Снижение почечной реабсорбции кальция играет определенную роль в развитии идиопатической гиперкальциурии. Диеты с низким содержанием натрия и тиазидные диуретики (thiazide-type diuretics) снижают уровень кальция в моче и потенциально уменьшают риск рецидива камнеобразования и заболевания костей [22].

Обосновано применение щелочных агентов (alkaline agents) и тиазидов-диуретиков для снижения перенасыщения мочи минеральными веществами и предотвращения рецидивов [22]. Для профилактики камней используют также антиоксиданты, средства для связывания свободных радикалов, ингибиторы NADPH-оксидазы и ангиотензин-превращающего фермента [41].

Статины (используемые для снижения уровня холестерина липопroteинов низкой плотности) уменьшают оксалатный нефролитиаз. Это показано в экспериментах на крысах, но клинические данные об их использовании для профилактики камнеобразования пока ограничены [41].

В экспериментах на животных противовоспалительные препараты смягчают или устраниют последствия оксалатозависимых заболеваний [25].

Цистинурия может вызывать образование камней и обструкцию почек, а альфа-липоевая кислота — уменьшать отложение камней за счет ускорения растворимости цистина в моче [80].

### Диета

В профилактике МКБ важную роль играют потребление жидкости (2,5–3,0 л/сут), диурез (>2,0–2,5 л/сут), модификация образа жизни и привычек (поддержание нормального индекса массы тела, компенсация жидкости при работе в условиях высокой температуры, отказ от курения), а также управление питанием (например, достаточное количество кальция 1000–1200 мг/сут, потребление натрия не более 2 г/сут (или 3–5 г/сут NaCl), ограничение продуктов, богатых оксалатами, ограничение животных белков до 0,8–1,0 г/кг массы тела в сутки [52]. Высокое суточное потребление белка повышает риск рецидива камнеобразования [15]. В диете для пациентов с кальциевыми и мочекислыми камнями в почках следует увеличить количество растительных белков и долю цитрусовых. Таким образом предлагают отказаться от приема дополнительных количеств витаминов С и D [52].

Низкобелковая диета и высокое потребление растительного белка могут снижать экскрецию цистина, тем самым влияя на образование камней [72]. Рассматривается возможность использования кофеина и бактериальной эрадикации, а также пробиотиков [52], например, лактобактерин-содержащих [80].

### Эффекты высоких доз андрогенов

Метabolизм оксалатов регулируется многими гормонами, и прежде всего половыми [75]. У пациентов, страдающих МКБ, уровни общего и свободного тестостерона, а также дигидротестостерона в сыворотке крови повышены [32]. Повышенный уровень андрогенов ассоциируется с усиленной экскрецией оксалатов с мочой, высокой концентрацией их в плазме крови и отложением почечных кристаллов CaOx. В экспериментальных условиях клетки почки, обработанные тестостероном, секретируют белки, которые значительно увеличивают образование кристаллов CaOx моногидрат (COM) [20, 63]. Повышенные дозы андрогена рассматриваются в качестве предвестника почечных камней [76]; они индуцируют гибель клеток почечного канальцевого эпителия [55].

## Механизм действия высоких доз тестостерона

Андроген стимулирует гликолят-оксидазу и влияет на экскрецию оксалата с мочой [75]. Трансдукция сигнала от рецепторов андрогенов (AR) способствует прямой регуляции гликолят-оксидазы в печени и NADPH-субъединицы P22-RHOx в почечном эпителии на транскрипционном уровне, что может повышать биосинтез оксалата. Напротив, таргетирование AR с помощью усилителя деградации ASC-J9 может подавлять этот эффект [43].

## Андрогенные рецепторы

Усиленная сигнализация AR повышает уровень гликолят-оксидазы в печени, и это может усиливать биосинтез оксалатов [43]. Подавление уровня AR в эпителиоцитах почечных канальцев (renal tubular epithelial cells — RTECs) способствует рекрутингу макрофагов, усилиению фагоцитоза внутрипочечных кристаллов CaOx. AR может ингибировать фагоцитоз кристаллов CaOx, опосредованный поляризацией макрофагов M2 [79]. Все перечисленные выше эффекты связаны с **повышенными** концентрациями тестостерона.

$\alpha$ -Енолаза локализована на апикальной поверхности RTECs. Активируя ее, андроген усиливает связывание кристаллов СОМ с поверхностью эпителиоцитов [20, 63], а гибель RTECs приводит к развитию камней [54]. Роль  $\alpha$ -енолазы как рецептора кристаллов СОМ подтверждена экспериментально [20, 52]. Нейтрализация поверхностной  $\alpha$ -енолазы с помощью анти- $\alpha$ -енолазных антител снижает адгезию [20]. Андроген, по-видимому, ускоряет камнеобразование и за счет подавления белка остеопонтина в почках [76].

## Андрогенная недостаточность и заместительная терапия

Все перечисленные выше эффекты связаны с **повышенными** концентрациями тестостерона. Заслуживает рассмотрения вопрос и об эффектах андрогенной недостаточности. Заболеваемость МКБ у мужчин уменьшается с возрастом параллельно снижению уровня тестостерона в сыворотке крови [32]. Андрогенный дефицит может быть дополнительным фактором камнеобразования [4, 10]. В качестве предикторов рецидивирования уролитиаза у пациентов пожилого возраста назвал в том числе: (а) отношение «свободный тестостерон / эстрадиол» в плазме крови; (б) концентрацию инсулина в плазме крови; и (в) суммарное число клинических признаков метаболического синдрома [5].

При уровнях андрогенов ниже физиологической нормы, а также при метаболических нарушениях, сопровождающих МКБ, существенно возрастает число рецидивов [8]. Метаболические нарушения и андрогенный дефицит следует рассматривать как важные составляющие патогенеза нефролитиаза. Коррекция их способна снизить выраженность симптомов МКБ, такие меры считаются обязательными при проведении

хирургического лечения МКБ [8]. Эти предложения подтверждены результатами опытов на лабораторных животных [9]. Имеется также обширная сводка литературных данных о влиянии патологически высоких и патологически низких уровней тестостерона на развитие нефролитиаза [8].

## Эффекты эстрогенов в мужском организме

В ряде экспериментальных моделей эстрогены оказывали ингибирующее действие на образование камней в почках. Женские половые гормоны снижают экскрецию оксалатов с мочой [32] и уровень  $\alpha$ -енолазы, а также ее способность связывать кристаллы, формируя тем самым защитный эффект в отношении камней [53]. Эстрогены, по-видимому, препятствуют камнеобразованию, повышая экспрессию остеопонтина в почках [76]. Они способны снижать активность гликолят-оксидазы [75]. В экспериментах на мышах показано, что receptor эстрогена  $\beta$  ( $ER\beta$ ) подавляет биосинтез оксалатов и повреждение почек, затормаживая экспрессию глиоксилатаминотрансферазы (AGT1), что предотвращает образование камней [83]. Однако более высокий уровень эстрадиола, по-видимому, не является защитным фактором у мужчин с МКБ, имеющих и более высокий уровень тестостерона в сыворотке крови [32].

Помимо прямого воздействия половые гормоны косвенно влияют на почечную экскрецию кальция, регулируя метаболизм кальция в кишечнике или костной ткани [29]. Эти данные используют для объяснения большей распространенности камней у мужчин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мочекаменную болезнь необходимо рассматривать как системное заболевание. Попытки развивать представления о патогенезе уролитиаза на основе одного или нескольких параметров внутренней среды организма (например, концентрации важнейших ионов или гормонов) вряд ли будут успешны. Поддержание солей и других соединений, входящих в состав мочи, в растворенном состоянии требует поддержания тонкого баланса между множеством факторов. Значительное отклонение от нормы любого из них (и в любую сторону) может нарушить баланс и привести к камнеобразованию. До настоящего времени недостаточное внимание было уделено роли, которую играют в процессах камнеобразования микроорганизмы, обитающие в мочевыводящих путях (или иногда попадающие в них), и тем более — микроорганизмы желудочно-кишечного тракта. Новые подходы к пониманию патогенеза мочекаменной болезни, ее профилактике и лечению лежат в активно разрабатываемых ныне областях — генетике, эпигенетике, генной инженерии и протеомике. Существующие животные модели мочекаменной болезни отличает излишняя упрощенность. Необходима разработка новых моделей — на животных,

более близких к человеку по массе тела, среде обитания и характеру питания. Применение андрогенной заместительной терапии в лечении больных, страдающих уролитиазом на фоне андрогенного дефицита, остается перспективным направлением исследований.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аничкова И.В., Архипов В.В., Бенаменьо Ж.П., и др. Клиническая нефрология детского возраста. Санкт-Петербург: Сотис, 1997. 717 с. EDN: VRKSMB
2. Аполихин О.И., Сивков А.В., Солнцева Т.В., Комарова В.А. Анализ урологической заболеваемости в Российской Федерации в 2005–2010 годах // Экспериментальная и клиническая урология. 2012. № 2. С. 64–72. EDN: PDARKJ
3. Гаджиев Н.К., Малхасян В.А., Мазуренко Д.В., и др. Мочекаменная болезнь и метаболический синдром // Патофизиология камнеобразования. Экспериментальная и клиническая урология. 2018. № 1. С. 66–75. EDN: WCZJLF
4. Назаров Т.Х., Гулиев Б.Г., Стецик О.В., и др. Диагностика и коррекция метаболических нарушений у больных рецидивным уролитиазом после удаления камней эндоскопическими методами // Андрология и генитальная хирургия. 2015. Т. 16. С. 22–28. EDN: ULHBXH doi: 10.17650/2070-9781-2015-16-3-22-28
5. Ниткин Д.М. Предикторы рецидивирования мочекаменной болезни у пациентов с возрастными нарушениями андрогенного статуса // Медицинские новости. 2017. № 11. С. 53–56. EDN: XGLPPA
6. Смирнова Н.Н., Куприенко Н.Б. Уромодулин и его роль в образовании почечных конкрементов у детей и подростков // Children's Medicine of the North-West. 2022. Т. 10, № 1. С. 44–48.
7. Тагиров Н.С., Трашков А.П., Балашов Л.Д., Балашов Н.А. Роль андрогенного дефицита в развитии мочекаменной болезни на этиленгликоловой экспериментальной крысиной модели // Педиатр. 2015. Т. 6, № 3. С. 86–90. doi: 10.17816/PED6386-90
8. Тагиров Н. С. Патогенетическая коррекция метаболических нарушений и андрогенного дефицита в лечении больных уролитиазом (клинико-экспериментальное исследование). Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. Санкт Петербург, 2019. 256 с. Доступен: [https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document\\_file/h50PaCxTzp.pdf](https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/h50PaCxTzp.pdf)
9. Трашков А.П., Васильев А.Г., Коваленко А.Д., Тагиров Н.С. Метаболическая терапия мочекаменной болезни на различных моделях поражения почек у крыс // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2015. Т. 78, № 3. С. 17–21. EDN: TNJRKB
10. Шустер П.И., Глыбочки П.В. Состояние процессов камнеобразования в почках на фоне андрогенной терапии // Саратовский научно-медицинский журнал. 2009. Т. 5, № 4. С. 612–615. EDN: KXWZOF
11. Aggarwal K.P., Narula S., Kakkar M., Tandon C. Nephrolithiasis: molecular mechanism of renal stone formation and the critical role played by modulators // Biomed Res Int. 2013. Vol. 2013. P. 292953. doi: 10.1155/2013/292953
12. Akagi S., Sugiyama H., Makino H. [Infection and chronic kidney disease] // Nihon Rinsho. 2008. Vol. 66, N. 9. P. 1794–1798.
13. Al K.F., Daisley B.A., Chanyi R.M., Bjazevic J., et al. Oxalate-degrading bacillus subtilis mitigates urolithiasis in a drosophila melanogaster model // mSphere. 2020. Vol. 5, N. 5. P. e00498–e00420. doi: 10.1128/mSphere.00498-20
14. Alelign T., Petros B. Kidney stone disease: an update on current concepts // Adv Urol. 2018. Vol. 2018. P. 3068365. doi: 10.1155/2018/3068365
15. Alshehri M., Alsaeed H., Alrowili M., et al. Evaluation of risk factors for recurrent renal stone formation among Saudi Arabian patients: Comparison with first renal stone episode // Arch Ital Urol Androl. 2023. Vol. 95, N. 3. P. 11361. doi: 10.4081/aiua.2023.11361
16. Arcidiacono T., Mingione A., Macrina L., et al. Idiopathic calcium nephrolithiasis: a review of pathogenic mechanisms in the light of genetic studies // Am J Nephrol. 2014. Vol. 40, N. 6. P. 499–506. doi: 10.1159/000369833
17. Bagga H.S., Chi T., Miller J., Stoller M.L. New insights into the pathogenesis of renal calculi // Urol Clin North Am. 2013. Vol. 40, N. 1. P. 1–12. doi: 10.1016/j.ucl.2012.09.006
18. D'Ambrosio V., Ferraro P.M., Lombardi G., et al. Unravelling the complex relationship between diet and nephrolithiasis: the role of nutrigenomics and nutrigenetics // Nutrients. 2022. Vol. 14, N. 23. P. 4961. doi: 10.3390/nu14234961
19. Chaiyarat S., Thongboonkerd V. Mitochondrial dysfunction and kidney stone disease // Front Physiol. 2020. Vol. 11. P. 566506. doi: 10.3389/fphys.2020.566506
20. Changtong C., Peerapen P., Khamchun S., et al. *In vitro* evidence of the promoting effect of testosterone in kidney stone disease: A proteomics approach and functional validation // J Proteomics. 2016. Vol. 144. P. 11–22. doi: 10.1016/j.jprot.2016.05.028
21. Chung H.J. The role of Randall plaques on kidney stone formation // Transl Androl Urol. 2014. Vol. 3, N. 3. P. 251–254. doi: 10.3978/j.issn.2223-4683.2014.07.03

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

- 22.** Coe F.L., Worcester E.M., Evan A.P. Idiopathic hypercalciuria and formation of calcium renal stones // *Nat Rev Nephrol.* 2016. Vol. 12, N. 9. P. 519–533. doi: 10.1038/nrneph.2016.101
- 23.** Daudon M., Bouzidi H., Bazin D. Composition and morphology of phosphate stones and their relation with etiology // *Urological Research.* 2010. Vol. 38, N. 6. P. 459–467. doi: 10.1007/s00240-010-0320-3
- 24.** Emami E., Heidari-Soureshjani S., Oroojeni Mohammadjavad A., Sherwin C.M. Obesity and the risk of developing kidney stones: a systematic review and meta-analysis // *Iran J Kidney Dis.* 2023. Vol. 1, N. 2. P. 63–72.
- 25.** Ermer T., Nazzal L., Tio M.C., et al. Oxalate homeostasis // *Nat Rev Nephrol.* 2023. Vol. 19, N. 2. P. 123–138. doi: 10.1038/s41581-022-00643-3
- 26.** Espinosa-Ortiz E.J., Eisner B.H., Lange D., Gerlach R. Current insights into the mechanisms and management of infection stones // *Nat Rev Urol.* 2019. Vol. 16, N. 1. P. 35–53. doi: 10.1038/s41585-018-0120-z
- 27.** Evan A., Lingeman J., Coe F.L., Worcester E. Randall's plaque: pathogenesis and role in calcium oxalate nephrolithiasis // *Kidney Int.* 2006. Vol. 69, N. 8. P. 1313–1318. doi: 10.1038/sj.ki.5000238
- 28.** Evan A.P., Worcester E.M., Coe F.L., et al. Mechanisms of human kidney stone formation // *Urolithiasis.* 2015. Vol. 43, N. S1. P. 19–32. doi: 10.1007/s00240-014-0701-0
- 29.** Fuster D.G., Morard G.A., Schneider L., et al. Association of urinary sex steroid hormones with urinary calcium, oxalate and citrate excretion in kidney stone formers // *Nephrol Dial Transplant.* 2022. Vol. 37, N. 2. P. 335–348. doi: 10.1093/ndt/gfaa360
- 30.** Gao H., Lin J., Xiong F., Yu Z., et al. Urinary microbial and metabolomic profiles in kidney stone disease // *Front Cell Infect Microbiol.* 2022. Vol. 12. P. 953392. doi: 10.3389/fcimb.2022.953392
- 31.** Gianmoena K., Gasparoni N., Jashari A., et al. Epigenomic and transcriptional profiling identifies impaired glyoxylate detoxification in NAFLD as a risk factor for hyperoxaluria // *Cell Rep.* 2021. Vol. 36, N. 8. P. 109526. doi: 10.1016/j.celrep.2021.109526
- 32.** Gupta K., Gill G.S., Mahajan R. Possible role of elevated serum testosterone in pathogenesis of renal stone formation // *Int J Appl Basic Med Res.* 2016. Vol. 6, N. 4. P. 241–244. doi: 10.4103/2229-516X.192593
- 33.** Hamano S., Nakatsu H., Suzuki N., et al. Kidney stone disease and risk factors for coronary heart disease // *Int J Urol.* 2005. Vol. 12, N. 10. P. 859–863. doi: 10.1111/j.1442-2042.2005.01160.x
- 34.** Hsi R.S., Ramaswamy K., Ho SP., Stoller M.L. The origins of urinary stone disease: upstream mineral formations initiate downstream Randall's plaque // *BJU Int.* 2017. Vol. 119, N. 1. P. 177–184. doi: 10.1111/bju.13555
- 35.** Jeong J.Y., Oh K.J., Sohn J.S., et al. Clinical course and mutational analysis of patients with cystine stone: a single-center experience // *Biomedicines.* 2023. Vol. 11, N. 10. P. 2747. doi: 10.3390/biomedicines11102747
- 36.** Jung H.D., Cho S., Lee J.Y. Update on the effect of the urinary microbiome on urolithiasis // *Diagnostics (Basel).* 2023. Vol. 13, N. 5. P. 951. doi: 10.3390/diagnostics13050951
- 37.** Khan S.R. Is oxidative stress, a link between nephrolithiasis and obesity, hypertension, diabetes, chronic kidney disease, metabolic syndrome? // *Urol Res.* 2012. Vol. 40, N. 2. P. 95–112. doi: 10.1007/s00240-011-0448-9
- 38.** Khan S.R. Reactive oxygen species as the molecular modulators of calcium oxalate kidney stone formation: evidence from clinical and experimental investigations // *J Urol.* 2013. Vol. 189, N. 3. P. 803–811. doi: 10.1016/j.juro.2012.05.078
- 39.** Khan S.R., Pearle M.S., Robertson W.G., et al. Kidney stones // *Nat Rev Dis Primers.* 2016. Vol. 2. P. 16008. doi: 10.1038/nrdp.2016.8
- 40.** Khan S.R. Histological aspects of the «fixed-particle» model of stone formation: animal studies // *Urolithiasis.* 2017. Vol. 45, N. 1. P. 75–87. doi: 10.1007/s00240-016-0949-7
- 41.** Khan S.R., Canales B.K. Proposal for pathogenesis-based treatment options to reduce calcium oxalate stone recurrence // *Asian J Urol.* 2023. Vol. 10, N. 3. P. 246–257. doi: 10.1016/j.ajur.2023.01.008
- 42.** Khandrika L., Koul S., Meacham RB., Koul H.K. Kidney injury molecule-1 is up-regulated in renal epithelial cells in response to oxalate *in vitro* and in renal tissues in response to hyperoxaluria *in vivo* // *PLoS One.* 2012. Vol. 7, N. 9. P. e44174. doi: 10.1371/journal.pone.0044174. Retraction in: *PLoS One.* 2020. Vol. 15, N. 6. P. e0234862
- 43.** Liang L., Li L., Tian J., et al. Androgen receptor enhances kidney stone-CaOx crystal formation via modulation of oxalate biosynthesis & oxidative stress // *Mol Endocrinol.* 2014. Vol. 28, N. 8. P. 1291–1303. doi: 10.1210/me.2014-1047
- 44.** Liu Y., Jin X., Tian L., et al. *Lactiplantibacillus plantarum* reduced renal calcium oxalate stones by regulating arginine metabolism in gut microbiota // *Front Microbiol.* 2021. Vol. 12. P. 743097. doi: 10.3389/fmicb.2021.743097
- 45.** Matsuura K., Maehara N., Hirota A., et al. Two independent modes of kidney stone suppression achieved by AIM/CD5L and KIM-1 // *Commun Biol.* 2022. Vol. 5, N. 1. P. 783. doi: 10.1038/s42003-022-03750-w
- 46.** Mehta M., Goldfarb D.S., Nazzal L. The role of the microbiome in kidney stone formation // *Int J Surg.* 2016. Vol. 36, Pt D. P. 607–612. doi: 10.1016/j.ijsu.2016.11.024
- 47.** Messa P., Castellano G., Vettoretti S., et al. Vitamin D and calcium supplementation and urolithiasis: a controversial and multifaceted relationship // *Nutrients.* 2023. Vol. 15, N. 7. P. 1724. doi: 10.3390/nu15071724
- 48.** Nikolic-Paterson D.J., Wang S., Lan H.Y. Macrophages promote renal fibrosis through direct and indirect mechanisms // *Kidney Int Suppl (2011).* 2014. Vol. 4, N. 1. P. 34–38. doi: 10.1038/kisup.2014.7
- 49.** O'Kell A.L., Grant D.C., Khan S.R. Pathogenesis of calcium oxalate urinary stone disease: species comparison of humans, dogs, and cats // *Urolithiasis.* 2017. Vol. 45, N. 4. P. 329–336. doi: 10.1007/s00240-017-0978-x
- 50.** Olvera-Posada D., Dayarathna T., Dion M., et al. Kim-1 is a potential urinary biomarker of obstruction: results from a prospective cohort study // *J Endourol.* 2017. Vol. 31, N. 2. P. 111–118. doi: 10.1089/end.2016.0215
- 51.** Patel M., Yarlagadda V., Adedoyin O., et al. Oxalate induces mitochondrial dysfunction and disrupts redox homeostasis in a human monocyte derived cell line // *Redox Biol.* 2018. Vol. 15. P. 207–215. doi: 10.1016/j.redox.2017.12.003
- 52.** Peerapen P., Thongboonkerd V. Protective cellular mechanism of estrogen against kidney stone formation: a proteomics approach and functional validation // *Proteomics.* 2019. Vol. 19, N. 19. P. e1900095. doi: 10.1002/pmic.201900095

- 53.** Peerapen P., Thongboonkerd V. Protein network analysis and functional enrichment via computational biotechnology unravel molecular and pathogenic mechanisms of kidney stone disease // *Biomed J.* 2023. Vol. 46, N. 2. P. 100577. doi: 10.1016/j.bj.2023.01.001
- 54.** Peng Y., Fang Z., Liu M., et al. Testosterone induces renal tubular epithelial cell death through the HIF-1 $\alpha$ /BNIP3 pathway // *J Transl Med.* 2019. Vol. 17, N. 1. P. 62. doi: 10.1186/s12967-019-1821-7 Erratum in: *J Transl Med.* 2021. Vol. 19, N. 1. P. 146.
- 55.** Peng Y., Fang Z., Liu M., et al. Correction to: Testosterone induces renal tubular epithelial cell death through the HIF-1 $\alpha$ /BNIP3 pathway // *J Transl Med.* 2021. Vol. 19, N. 1. P. 146. doi: 10.1186/s12967-021-02799-1 Erratum in: *J Transl Med.* 2019. Vol. 17, N. 1. P. 62.
- 56.** Randall A. The origin and growth of renal calculi // *Ann Surg.* 1937. Vol. 105, N. 6. P. 1009–1027. doi: 10.1097/00000658-193706000-00014
- 57.** Rivera M., Jaeger C., Yefimov D., Krambeck A.E. Risk of chronic kidney disease in brushite stone formers compared with idiopathic calcium oxalate stone formers // *Urology.* 2017. Vol. 99. P. 23–26. doi: 10.1016/j.urology.2016.08.041
- 58.** Sakhaei K. Recent advances in the pathophysiology of nephrolithiasis // *Kidney Int.* 2009. Vol. 75, N. 6. P. 585–595. doi: 10.1038/ki.2008.626
- 59.** Shimshilashvili L., Aharon S., Moe O.W., Ohana E. Novel human polymorphisms define a key role for the SLC26A6-stas domain in protection from Ca<sup>2+</sup>-oxalate lithogenesis // *Front Pharmacol.* 2020. Vol. 11. P. 405. doi: 10.3389/fphar.2020.00405
- 60.** Sinha S.K., Mellody M., Carpio M.B., et al. osteopontin as a biomarker in chronic kidney disease // *Biomedicines.* 2023. Vol. 11, N. 5. P. 1356. doi: 10.3390/biomedicines11051356
- 61.** Siener R., Bangen U., Sidhu H., et al. The role of *Oxalobacter formigenes* colonization in calcium oxalate stone disease // *Kidney Int.* 2013. Vol. 83, N. 6. P. 1144–1149. doi: 10.1038/ki.2013.104
- 62.** Spatola L., Ferraro P.M., Gambaro G., et al. Metabolic syndrome and uric acid nephrolithiasis: insulin resistance in focus // *Metabolism.* 2018. Vol. 83. P. 225–233. doi: 10.1016/j.metabol.2018.02.008
- 63.** Sueksakit K., Thongboonkerd V. Protective effects of finasteride against testosterone-induced calcium oxalate crystallization and crystal-cell adhesion // *J Biol Inorg Chem.* 2019. Vol. 24, N. 7. P. 973–983. doi: 10.1007/s00775-019-01692-z
- 64.** Thielemans R., Speeckaert R., Delrue C., et al. Unveiling the hidden power of uromodulin: a promising potential biomarker for kidney diseases // *Diagnostics (Basel).* 2023. Vol. 13, N. 19. P. 3077. doi: 10.3390/diagnostics13193077
- 65.** Tian L., Liu Y., Xu X., et al. *Lactiplantibacillus plantarum* J-15 reduced calcium oxalate kidney stones by regulating intestinal microbiota, metabolism, and inflammation in rats // *FASEB J.* 2022. Vol. 36, N. 6. P. e22340. doi: 10.1096/fj.202101972RR
- 66.** Veena C.K., Josephine A., Preetha S.P., et al. Mitochondrial dysfunction in an animal model of hyperoxaluria: a prophylactic approach with fucoidan // *Eur J Pharmacol.* 2008. Vol. 579, N. 1–3. P. 330–336. doi: 10.1016/j.ejphar.2007.09.044
- 67.** Wang J., Wang W., Wang H., Tuo B. Physiological and pathological functions of SLC26A6 // *Front Med (Lausanne).* 2021. Vol. 7. P. 618256. doi: 10.3389/fmed.2020.618256
- 68.** Wang Z., Zhang Y., Zhang J., et al. Recent advances on the mechanisms of kidney stone formation (Review) // *Int J Mol Med.* 2021. Vol. 48, N. 2. P. 149. doi: 10.3892/ijmm.2021.4982
- 69.** Wei Z., Cui Y., Tian L., et al. Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* N-1 could prevent ethylene glycol-induced kidney stones by regulating gut microbiota and enhancing intestinal barrier function // *FASEB J.* 2021. Vol. 35, N. 11. P. e21937. doi: 10.1096/fj.202100887RR
- 70.** Williams J.C., Worcester E., Lingeman J.E. What can the microstructure of stones tell us? // *Urolithiasis.* 2017. Vol. 45, N. 1. P. 19–25. doi: 10.1007/s00240-016-0944-z
- 71.** Wong Y.V., Cook P., Somani B.K. The association of metabolic syndrome and urolithiasis // *Int J Endocrinol.* 2015. Vol. 2015. P. 570674. doi: 10.1155/2015/570674
- 72.** Woodard L.E., Welch R.C., Veach R.A., et al. Metabolic consequences of cystinuria // *BMC Nephrol.* 2019. Vol. 20, N. 1. P. 227. doi: 10.1186/s12882-019-1417-8
- 73.** Wu X.R. Interstitial calcinosis in renal papillae of genetically engineered mouse models: relation to Randall's plaques // *Urolithiasis.* 2015. Vol. 43 Suppl. 1(01). P. 65–76. doi: 10.1007/s00240-014-0699-3
- 74.** Xiaoran Li X., Chen S., Feng D., et al. Calcium-sensing receptor promotes calcium oxalate crystal adhesion and renal injury in Wistar rats by promoting ROS production and subsequent regulation of PS ectropion, OPN, KIM-1, and ERK expression // *Ren Fail.* 2021. Vol. 43, N. 1. P. 465–476. doi: 10.1080/0886022X.2021.1881554
- 75.** Xu Z., Yao X., Duan C., et al. Metabolic changes in kidney stone disease // *Front Immunol.* 2023. Vol. 14. P. 1142207. doi: 10.3389/fimmu.2023.1142207
- 76.** Yagisawa T., Ito F., Osaka Y., et al. The influence of sex hormones on renal osteopontin expression and urinary constituents in experimental urolithiasis // *J Urol.* 2001. Vol. 166, N. 3. P. 1078–1082.
- 77.** Ye Z., Zeng G., Yang H., et al. The status and characteristics of urinary stone composition in China // *BJU Int.* 2020. Vol. 125, N. 6. P. 801–809. doi: 10.1111/bju.14765
- 78.** Yoodee S., Thongboonkerd V. Bioinformatics and computational analyses of kidney stone modulatory proteins lead to solid experimental evidence and therapeutic potential // *Biomed Pharmacother.* 2023. Vol. 159. P. 114217. doi: 10.1016/j.biopharm.2023.114217
- 79.** Yuan P., Sun X., Liu X., et al. Kaempferol alleviates calcium oxalate crystal-induced renal injury and crystal deposition via regulation of the AR/NOX2 signaling pathway // *Phytomedicine.* 2021. Vol. 86. P. 153555. doi: 10.1016/j.phymed.2021.153555
- 80.** Zee T., Bose N., Zee J., et al.  $\alpha$ -Lipoic acid treatment prevents cystine urolithiasis in a mouse model of cystinuria // *Nat Med.* 2017. Vol. 23, N. 3. P. 288–290. doi: 10.1038/nm.4280
- 81.** Zeng G., Mai Z., Xia S., et al. Prevalence of kidney stones in China: an ultrasonography based cross-sectional study // *BJU Int.* 2017. Vol. 120, N. 1. P. 109–116. doi: 10.1111/bju.13828
- 82.** Zhao C., Yang H., Zhu X., et al. Oxalate-degrading enzyme recombinant lactic acid bacteria strains reduce hyperoxaluria // *Urology.* 2018. Vol. 113. P. 253.e1–253.e7. doi: 10.1016/j.urology.2017.11.038
- 83.** Zhu W., Zhao Z., Chou F.J., et al. The protective roles of estrogen receptor  $\beta$  in renal calcium oxalate crystal formation via reducing the liver oxalate biosynthesis and renal oxidative stress-mediated cell injury // *Oxid Med Cell Longev.* 2019. Vol. 2019. P. 5305014. doi: 10.1155/2019/5305014

## REFERENCES

1. Anichkova IV, Arkhipov VV, Benaméño JP, et al. *Clinical pediatric nephrology*. Saint Petersburg: Sotis; 1997. 717 p. EDN: VRKSMB
2. Apolikhin Ol, Sivkov AV, Solntseva TV, Komarova VA. Analysis of urological morbidity in the Russian Federation within the period of 2005–2010. *Experimental and Clinic Urology*. 2012(2):64–72. EDN: PDARKJ
3. Gadzhiev NK, Makhayyan VA, Mazurenko DV, et al. Urolithiasis and metabolic syndrome. Pathophysiology of stone formation. *Experimental & Clinical Urology*. 2018;(1):66–75. EDN: WCZJLF
4. Nazarov TH, Guliev BG, Stetsik OV, et al. Diagnostics and correction of metabolic disorders in patients with recurrent urolithiasis after endoscopic removal of stones. *Andrology and Genital Surgery*. 2015;16(3):22–28. EDN: ULHBXH doi: 10.17650/2070-9781-2015-16-3-22-28
5. Nitkin DM. Predictors of recurrent urolithiasis in patients with age-related androgenic disorders. *Medical News*. 2017;(11):53–56. EDN: XGLPPA
6. Smirnova NN, Kuprienko NB. Uromodulin and its role in the formation of renal components in children and adolescents. *Children's Medicine of the North-West*. 2022;10(1):44–48.
7. Tagirov NS, Trashkov AP, Balashov LD, Balashov NA. The role of androgenous deficiency in the development of urolithiasis in experimental ethylenglycol rat model. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2015;6(3):86–90. doi: 10.17816/PED6386-90
8. Tagirov NS. Pathogenetic correction of metabolic disorders and androgen deficiency in the treatment of patients with urolithiasis (clinical and experimental study) [Dissertation]. Saint Petersburg; 2019. 256 p. (In Russ.) Available from: [https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document\\_file/h50PaCxTzp.pdf](https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/h50PaCxTzp.pdf)
9. Trashkov AP, Vasiliev AG, Kovalenko AD, Tagirov NS. Metabolic therapy of nephrolithiasis in two different rat models of kidney disease. *Éksperimentalnaya i Klinicheskaya Farmakologiya*. 2015;78(3):17–21. EDN: TNJRKB
10. Shuster PI, Glybochko PV. Condition of lithogenesis processes in kidneys secondary to androgynous therapies lithogenesis processes in kidneys at receiving androgynous therapy. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2009;5(4):612–615. EDN: KXWZOF
11. Aggarwal KP, Narula S, Kakkar M, Tandon C. Nephrolithiasis: molecular mechanism of renal stone formation and the critical role played by modulators. *Biomed Res Int*. 2013;2013:292953. doi: 10.1155/2013/292953
12. Akagi S, Sugiyama H, Makino H. [Infection and chronic kidney disease]. *Nihon Rinsho*. 2008;66(9):1794–1798. (In Japanese).
13. Al KF, Daisley BA, Chanyi RM, Bjazevic J, et al. Oxalate-degrading bacillus subtilis mitigates urolithiasis in a drosophila melanogaster model. *mSphere*. 2020;5(5):e00498–e00420. doi: 10.1128/mSphere.00498-20
14. Alelign T, Petros B. Kidney stone disease: an update on current concepts. *Adv Urol*. 2018;2018:3068365. doi: 10.1155/2018/3068365
15. Alshehri M, Alsaeed H, Alrowili M, et al. Evaluation of risk factors for recurrent renal stone formation among Saudi Arabian patients: Comparison with first renal stone episode. *Arch Ital Urol Androl*. 2023;95(3):11361. doi: 10.4081/aiua.2023.11361
16. Arcidiacono T, Mingione A, Macrina L, et al. Idiopathic calcium nephrolithiasis: a review of pathogenic mechanisms in the light of genetic studies. *Am J Nephrol*. 2014;40(6):499–506. doi: 10.1159/000369833
17. Bagga HS, Chi T, Miller J, Stoller ML. New insights into the pathogenesis of renal calculi. *Urol Clin North Am*. 2013;40(1):1–12. doi: 10.1016/j.ucl.2012.09.006
18. D'Ambrosio V, Ferraro PM, Lombardi G, et al. Unravelling the complex relationship between diet and nephrolithiasis: the role of nutrigenomics and nutrigenetics. *Nutrients*. 2022;14(23):4961. doi: 10.3390/nu14234961
19. Chaiyarat S, Thongboonkerd V. Mitochondrial dysfunction and kidney stone disease. *Front Physiol*. 2020;11:566506. doi: 10.3389/fphys.2020.566506
20. Changtong C, Peerapen P, Khamchun S, et al. *In vitro* evidence of the promoting effect of testosterone in kidney stone disease: A proteomics approach and functional validation. *J Proteomics*. 2016;144:11–22. doi: 10.1016/j.jprot.2016.05.028
21. Chung HJ. The role of Randall plaques on kidney stone formation. *Transl Androl Urol*. 2014;3(3):251–254. doi: 10.3978/j.issn.2223-4683.2014.07.03
22. Coe FL, Worcester EM, Evan AP. Idiopathic hypercalciuria and formation of calcium renal stones. *Nat Rev Nephrol*. 2016;12(9):519–533. doi: 10.1038/nrneph.2016.101
23. Daudon M, Bouzidi H, Bazin D. Composition and morphology of phosphate stones and their relation with etiology. *Urological Research*. 2010;38(6):459–467. doi: 10.1007/s00240-010-0320-3
24. Emami E, Heidari-Soureshjani S, Oroojeni Mohammadjavad A, Sherwin CM. Obesity and the risk of developing kidney stones: a systematic review and meta-analysis. *Iran J Kidney Dis*. 2023;1(2):63–72.
25. Ermer T, Nazzal L, Tio MC, et al. Oxalate homeostasis. *Nat Rev Nephrol*. 2023;19(2):123–138. doi: 10.1038/s41581-022-00643-3
26. Espinosa-Ortiz EJ, Eisner BH, Lange D, Gerlach R. Current insights into the mechanisms and management of infection stones. *Nat Rev Urol*. 2019;16(1):35–53. doi: 10.1038/s41585-018-0120-z
27. Evan A, Lingeman J, Coe FL, Worcester E. Randall's plaque: pathogenesis and role in calcium oxalate nephrolithiasis. *Kidney Int*. 2006;69(8):1313–1318. doi: 10.1038/sj.ki.5000238
28. Evan AP, Worcester EM, Coe FL, et al. Mechanisms of human kidney stone formation. *Urolithiasis*. 2015;43(S1):19–32. doi: 10.1007/s00240-014-0701-0
29. Fuster DG, Morard GA, Schneider L, et al. Association of urinary sex steroid hormones with urinary calcium, oxalate and citrate excretion in kidney stone formers. *Nephrol Dial Transplant*. 2022;37(2):335–348. doi: 10.1093/ndt/gfaa360
30. Gao H, Lin J, Xiong F, Yu Z, et al. Urinary microbial and metabolomic profiles in kidney stone disease. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:953392. doi: 10.3389/fcimb.2022.953392
31. Gianmoena K, Gasparoni N, Jashari A, et al. Epigenomic and transcriptional profiling identifies impaired glyoxylate detoxification in NAFLD as a risk factor for hyperoxaluria. *Cell Rep*. 2021;36(8):109526. doi: 10.1016/j.celrep.2021.109526
32. Gupta K, Gill GS, Mahajan R. Possible role of elevated serum testosterone in pathogenesis of renal stone formation. *Int J Appl Basic Med Res*. 2016;6(4):241–244. doi: 10.4103/2229-516X.192593
33. Hamano S, Nakatsu H, Suzuki N, et al. Kidney stone disease and risk factors for coronary heart disease. *Int J Urol*. 2005;12(10):859–863. doi: 10.1111/j.1442-2042.2005.01160.x

- 34.** Hsi RS, Ramaswamy K, Ho SP, Stoller ML. The origins of urinary stone disease: upstream mineral formations initiate downstream Randall's plaque. *BJU Int.* 2017;119(1):177–184. doi: 10.1111/bju.13555
- 35.** Jeong JY, Oh KJ, Sohn JS, et al. Clinical course and mutational analysis of patients with cystine stone: a single-center experience. *Biomedicines.* 2023;11(10):2747. doi: 10.3390/biomedicines11102747
- 36.** Jung HD, Cho S, Lee JY. Update on the effect of the urinary microbiome on urolithiasis. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(5):951. doi: 10.3390/diagnostics13050951
- 37.** Khan SR. Is oxidative stress, a link between nephrolithiasis and obesity, hypertension, diabetes, chronic kidney disease, metabolic syndrome? *Urol Res.* 2012;40(2):95–112. doi: 10.1007/s00240-011-0448-9
- 38.** Khan SR. Reactive oxygen species as the molecular modulators of calcium oxalate kidney stone formation: evidence from clinical and experimental investigations. *J Urol.* 2013;189(3):803–811. doi: 10.1016/j.juro.2012.05.078
- 39.** Khan SR, Pearle MS, Robertson WG, et al. Kidney stones. *Nat Rev Dis Primers.* 2016;2:16008. doi: 10.1038/nrdp.2016.8
- 40.** Khan SR. Histological aspects of the “fixed-particle” model of stone formation: animal studies. *Urolithiasis.* 2017;45(1):75–87. doi: 10.1007/s00240-016-0949-7
- 41.** Khan SR, Canales BK. Proposal for pathogenesis-based treatment options to reduce calcium oxalate stone recurrence. *Asian J Urol.* 2023;10(3):246–257. doi: 10.1016/j.ajur.2023.01.008
- 42.** Khandrika L, Koul S, Meacham RB, Koul HK. Kidney injury molecule-1 is up-regulated in renal epithelial cells in response to oxalate *in vitro* and in renal tissues in response to hyperoxaluria *in vivo*. *PLoS One.* 2012;7(9): e44174. doi: 10.1371/journal.pone.0044174. Retraction in: *PLoS One.* 2020;15(6): e0234862
- 43.** Liang L, Li L, Tian J, et al. Androgen receptor enhances kidney stone-CaOx crystal formation via modulation of oxalate biosynthesis & oxidative stress. *Mol Endocrinol.* 2014;28(8):1291–1303. doi: 10.1210/me.2014-1047
- 44.** Liu Y, Jin X, Tian L, et al. *Lactiplantibacillus plantarum* reduced renal calcium oxalate stones by regulating arginine metabolism in gut microbiota. *Front Microbiol.* 2021;12:743097. doi: 10.3389/fmicb.2021.743097
- 45.** Matsuura K, Maehara N, Hirota A, et al. Two independent modes of kidney stone suppression achieved by AIM/CD5L and KIM-1. *Commun Biol.* 2022;5(1):783. doi: 10.1038/s42003-022-03750-w
- 46.** Mehta M, Goldfarb DS, Nazzal L. The role of the microbiome in kidney stone formation. *Int J Surg.* 2016;36(Pt D):607–612. doi: 10.1016/j.ijsu.2016.11.024
- 47.** Messa P, Castellano G, Vettoretti S, et al. Vitamin D and calcium supplementation and urolithiasis: a controversial and multifaceted relationship. *Nutrients.* 2023;15(7):1724. doi: 10.3390/nu15071724
- 48.** Nikolic-Paterson DJ, Wang S, Lan HY. Macrophages promote renal fibrosis through direct and indirect mechanisms. *Kidney Int Suppl (2011).* 2014;4(1):34–38. doi: 10.1038/kisup.2014.7
- 49.** O'Kell AL, Grant DC, Khan SR. Pathogenesis of calcium oxalate urinary stone disease: species comparison of humans, dogs, and cats. *Urolithiasis.* 2017;45(4):329–336. doi: 10.1007/s00240-017-0978-x
- 50.** Olvera-Posada D, Dayarathna T, Dion M, et al. Kim-1 is a potential urinary biomarker of obstruction: results from a prospective cohort study. *J Endourol.* 2017;31(2):111–118. doi: 10.1089/end.2016.0215
- 51.** Patel M, Yarlagadda V, Adedoyin O, et al. Oxalate induces mitochondrial dysfunction and disrupts redox homeostasis in a human monocyte derived cell line. *Redox Biol.* 2018;15:207–215. doi: 10.1016/j.redox.2017.12.003
- 52.** Peerapen P, Thongboonkerd V. Protective cellular mechanism of estrogen against kidney stone formation: a proteomics approach and functional validation. *Proteomics.* 2019;19(19):e1900095. doi: 10.1002/pmic.201900095
- 53.** Peerapen P, Thongboonkerd V. Protein network analysis and functional enrichment via computational biotechnology unravel molecular and pathogenic mechanisms of kidney stone disease. *Biomed J.* 2023;46(2):100577. doi: 10.1016/j.bj.2023.01.001
- 54.** Peng Y, Fang Z, Liu M, et al. Testosterone induces renal tubular epithelial cell death through the HIF-1 $\alpha$ /BNIP3 pathway. *J Transl Med.* 2019;17(1):62. doi: 10.1186/s12967-019-1821-7 Erratum in: *J Transl Med.* 2021;19(1):146.
- 55.** Peng Y, Fang Z, Liu M, et al. Correction to: Testosterone induces renal tubular epithelial cell death through the HIF-1 $\alpha$ /BNIP3 pathway. *J Transl Med.* 2021;19(1):146. doi: 10.1186/s12967-021-02799-1 Erratum in: *J Transl Med.* 2019;17(1):62.
- 56.** Randall A. The origin and growth of renal calculi. *Ann Surg.* 1937;105(6):1009–1027. doi: 10.1097/00000658-193706000-00014
- 57.** Rivera M, Jaeger C, Yelfimov D, Krambeck AE. Risk of chronic kidney disease in brushite stone formers compared with idiopathic calcium oxalate stone formers. *Urology.* 2017;99:23–26. doi: 10.1016/j.urology.2016.08.041
- 58.** Sakhaei K. Recent advances in the pathophysiology of nephrolithiasis. *Kidney Int.* 2009;75(6):585–595. doi: 10.1038/ki.2008.626
- 59.** Shimshilashvili L, Aharon S, Moe OW, Ohana E. Novel human polymorphisms define a key role for the SLC26A6-stas domain in protection from Ca<sup>2+</sup>-oxalate lithogenesis. *Front Pharmacol.* 2020;11:405. doi: 10.3389/fphar.2020.00405
- 60.** Sinha SK, Mellody M, Carpio MB, et al. Osteopontin as a biomarker in chronic kidney disease. *Biomedicines.* 2023;11(5):1356. doi: 10.3390/biomedicines11051356
- 61.** Siener R, Bangen U, Sidhu H, et al. The role of *Oxalobacter formigenes* colonization in calcium oxalate stone disease. *Kidney Int.* 2013;83(6):1144–1149. doi: 10.1038/ki.2013.104
- 62.** Spatola L, Ferraro PM, Gambaro G, et al. Metabolic syndrome and uric acid nephrolithiasis: insulin resistance in focus. *Metabolism.* 2018;83:225–233. doi: 10.1016/j.metabol.2018.02.008
- 63.** Sueksakit K, Thongboonkerd V. Protective effects of finasteride against testosterone-induced calcium oxalate crystallization and crystal-cell adhesion. *J Biol Inorg Chem.* 2019;24(7):973–983. doi: 10.1007/s00775-019-01692-z
- 64.** Thielemans R, Speeckaert R, Delrue C, et al. Unveiling the hidden power of uromodulin: a promising potential biomarker for kidney diseases. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(19):3077. doi: 10.3390/diagnostics13193077
- 65.** Tian L, Liu Y, Xu X, et al. *Lactiplantibacillus plantarum* J-15 reduced calcium oxalate kidney stones by regulating intestinal microbiota, metabolism, and inflammation in rats. *FASEB J.* 2022;36(6):e22340. doi: 10.1096/fj.202101972RR
- 66.** Veena CK, Josephine A, Preetha SP, et al. Mitochondrial dysfunction in an animal model of hyperoxaluria: a prophylactic approach with fucoidan. *Eur J Pharmacol.* 2008;579(1–3):330–336. doi: 10.1016/j.ejphar.2007.09.044

- 67.** Wang J, Wang W, Wang H, Tuo B. Physiological and pathological functions of SLC26A6. *Front Med (Lausanne)*. 2021;7:618256. doi: 10.3389/fmed.2020.618256
- 68.** Wang Z, Zhang Y, Zhang J, et al. Recent advances on the mechanisms of kidney stone formation (Review). *Int J Mol Med*. 2021;48(2):149. doi: 10.3892/ijmm.2021.4982
- 69.** Wei Z, Cui Y, Tian L, et al. Probiotic *Lactiplantibacillus plantarum* N-1 could prevent ethylene glycol-induced kidney stones by regulating gut microbiota and enhancing intestinal barrier function. *FASEB J*. 2021;35(11): e21937. doi: 10.1096/fj.202100887RR
- 70.** Williams JC Jr, Worcester E, Lingeman JE. What can the microstructure of stones tell us? *Urolithiasis*. 2017;45(1):19–25. doi: 10.1007/s00240-016-0944-z
- 71.** Wong YV, Cook P, Somani BK. The association of metabolic syndrome and urolithiasis. *Int J Endocrinol*. 2015;2015:570674. doi: 10.1155/2015/570674
- 72.** Woodard LE, Welch RC, Veach RA, et al. Metabolic consequences of cystinuria. *BMC Nephrol*. 2019;20(1):227. doi: 10.1186/s12882-019-1417-8
- 73.** Wu XR. Interstitial calcinosis in renal papillae of genetically engineered mouse models: relation to Randall's plaques. *Urolithiasis*. 2015;43 Suppl. 1(01):65–76. doi: 10.1007/s00240-014-0699-3
- 74.** Xiaoran Li X, Chen S, Feng D, et al. Calcium-sensing receptor promotes calcium oxalate crystal adhesion and renal injury in Wistar rats by promoting ROS production and subsequent regulation of PS ectropion, OPN, KIM-1, and ERK expression. *Ren Fail*. 2021;43(1):465–476. doi: 10.1080/0886022X.2021.1881554
- 75.** Xu Z, Yao X, Duan C, et al. Metabolic changes in kidney stone disease. *Front Immunol*. 2023;14:1142207. doi: 10.3389/fimmu.2023.1142207
- 76.** Yagisawa T, Ito F, Osaka Y, et al. The influence of sex hormones on renal osteopontin expression and urinary constituents in experimental urolithiasis. *J Urol*. 2001;166(3):1078–1082.
- 77.** Ye Z, Zeng G, Yang H, et al. The status and characteristics of urinary stone composition in China. *BJU Int*. 2020;125(6):801–809. doi: 10.1111/bju.14765
- 78.** Yoodee S, Thongboonkerd V. Bioinformatics and computational analyses of kidney stone modulatory proteins lead to solid experimental evidence and therapeutic potential. *Biomed Pharmacother*. 2023;159:114217. doi: 10.1016/j.biopharm.2023.114217
- 79.** Yuan P, Sun X, Liu X, et al. Kaempferol alleviates calcium oxalate crystal-induced renal injury and crystal deposition via regulation of the AR/NOX2 signaling pathway. *Phytomedicine*. 2021;86:153555. doi: 10.1016/j.phymed.2021.153555
- 80.** Zee T, Bose N, Zee J, et al. α-Lipoic acid treatment prevents cystine urolithiasis in a mouse model of cystinuria. *Nat Med*. 2017;23(3):288–290. doi: 10.1038/nm.4280
- 81.** Zeng G, Mai Z, Xia S, et al. Prevalence of kidney stones in China: an ultrasonography based cross-sectional study. *BJU Int*. 2017;120(1):109–116. doi: 10.1111/bju.13828
- 82.** Zhao C, Yang H, Zhu X, et al. Oxalate-degrading enzyme recombined lactic acid bacteria strains reduce hyperoxaluria. *Urology*. 2018;113:253.e1–253.e7. doi: 10.1016/j.urology.2017.11.038
- 83.** Zhu W, Zhao Z, Chou FJ, et al. The protective roles of estrogen receptor β in renal calcium oxalate crystal formation via reducing the liver oxalate biosynthesis and renal oxidative stress-mediated cell injury. *Oxid Med Cell Longev*. 2019;2019:5305014. doi: 10.1155/2019/5305014

## ОБ АВТОРАХ

**Заур Келбялиевич Эмиргаев**, аспирант кафедры патологической физиологии с курсом иммунопатологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; eLibrary SPIN: 6771-7532; e-mail: zaur.emirgaev@mail.ru

**Наир Сабирович Тагиров**, д-р мед. наук, профессор кафедры патологической физиологии с курсом иммунопатологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-4362-3369; eLibrary SPIN: 9810-1650; e-mail: ruslana73nair@mail.ru

**\*Андрей Глебович Васильев**, д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой патологической физиологии с курсом иммунопатологии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID: 0000-0002-8539-7128; eLibrary SPIN: 1985-4025; e-mail: avas7@mail.ru

**Руслан Наирович Тагиров**, студент 5-го курса стоматологического факультета, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0002-9375-4364

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**Zaur K. Emirgaev**, Postgraduate Student, Pathophysiology Department, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; eLibrary SPIN: 6771-7532; e-mail: zaur.emirgaev@mail.ru

**Nair S. Tagirov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Pathophysiology Department, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-4362-3369; eLibrary SPIN: 9810-1650; e-mail: ruslana73nair@mail.ru

**Andrei G. Vasilev**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Head of Pathophysiology Department, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russian Federation; address: 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0002-8539-7128; eLibrary SPIN: 1985-4025; e-mail: avas7@mail.ru

**Ruslan N. Tagirov**, Student, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0002-9375-4364

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15179-89>

# Нетрадиционные методы коррекции нарушений микробиоты у детей, рожденных путем кесарева сечения

В.В. Баринова<sup>1</sup>, И.О. Буштырева<sup>1</sup>, Д.О. Иванов<sup>2</sup>, Н.Б. Кузнецова<sup>3</sup>, Е.Э. Артоуз<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Клиника профессора Буштыревой, Ростов-на-Дону, Россия;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Ростовский государственный медицинский университет, Ростов-на-Дону, Россия

## АННОТАЦИЯ

Рост частоты кесарева сечения, ассоциированный с увеличением числа осложнений этой операции, беспокоит не только акушеров-гинекологов во всем мире, но и педиатров. Избыточная медикализация такого биологически естественного процесса, как роды, увеличение частоты кесарева сечения, отсутствие контакта плода с микрофлорой влагалища матери, последующие сложности в налаживании грудного вскармливания непосредственно оказывают влияние на формирование микробиоты кишечника ребенка первого года жизни. На сегодняшний день микробиом кишечника рассматривается как отдельный орган человека, определяющий предрасположенность к развитию таких заболеваний, как ожирение, сахарный диабет, инсулинорезистентность, аллергия, аутизм и даже депрессия. Корректируя микробиоту кишечника ребенка первого года жизни, можно воздействовать на риски формирования этих нозологий. На сегодняшний день предложены различные способы коррекции микробиоты кишечника детей, рожденных путем кесарева сечения. Самый простой и физиологичный способ — это налаживание длительного грудного вскармливания, поскольку именно олигосахариды грудного молока способствуют росту бифидобактерий. Перспективной представляется и пробиотическая коррекция. В обзоре представлены новые технологии восстановления микробиоты кишечника детей, рожденных путем кесарева сечения, избежавших по объективным причинам контакта с микрофлорой влагалища матери. Некоторые из этих технологий являются достаточно спорными, ряд методик, как, например, вагинальное обсеменение, представляются легко выполнимыми и перспективными. Дальнейшее их изучение на больших когортах пациентов позволит оценить их безопасность и эффективность в профилактике нарушений микробиома детей первого года жизни.

**Ключевые слова:** вагинальное обсеменение; микробиом кишечника; кесарево сечение; лактобактерии; естественные роды.

## Как цитировать

Баринова В.В., Буштырева И.О., Иванов Д.О., Кузнецова Н.Б., Артоуз Е.Э. Нетрадиционные методы коррекции нарушений микробиоты у детей, рожденных путем кесарева сечения // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 79–89. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15179-89>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15179-89>

# Non-traditional methods of microbiota disorders correction in children born by cesarean section

Victoria V. Barinova<sup>1</sup>, Irina O. Bushtyрева<sup>1</sup>, Dmitry O. Ivanov<sup>2</sup>,  
Natalia B. Kuznetsova<sup>3</sup>, Ekaterina E. Artouz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Clinic of Professor Bushtyрева, Rostov-on-Don, Russia;

<sup>2</sup> Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

## ABSTRACT

The high frequency of cesarean sections, associated with an increase in the number of complications of this surgery, worries not only obstetricians and gynecologists around the world, but also pediatricians. Excessive medicalization of such a biologically natural process as childbirth, an increase in the frequency of caesarean section, the lack of contact of the fetus with the microflora of the mother's vagina, subsequent difficulties in establishing breastfeeding directly affect the formation of the intestinal microbiota of a child in the first year of life. Today, the gut microbiome is considered as a separate human organ that determines the predisposition to the development of obesity, diabetes mellitus, insulin resistance, allergies, autism and even depression. By correcting the intestinal microbiota of a child of the first year of life, it is possible to influence the risks of the formation of these diseases. The simplest and most physiological way is to establish long-term breastfeeding, since it is the oligosaccharides of the breast milk that increase the level of Bifidobacteria. Probiotic correction also seems promising. The review presents new technologies for restoring the intestinal microbiota of children born by caesarean section, who, for objective reasons, avoided contact with the mother's vaginal microflora. Some of these technologies are quite controversial, some of them, such as vaginal seeding, seem easy to implement and promising. Their further study on large cohorts of patients will make it possible to fully assess their safety and effectiveness in the prevention of microbiome disorders in children of the first year of life.

**Keywords:** vaginal seeding; intestinal microbiome; caesarean section; lactobacilli; vaginal delivery.

## To cite this article

Barinova VV, Bushtyрева IO, Ivanov DO, Kuznetsova NB, Artouz EE. Non-traditional methods of microbiota disorders correction in children born by cesarean section. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):79–89. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15179-89>

Received: 21.12.2023

Accepted: 15.01.2024

Published: 29.02.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Желудочно-кишечный тракт человека является сложной экосистемой, на формирование которой оказывает влияние множество различных факторов: диета, состояния здоровья, особенности родоразрешения — через естественные родовые пути или кесарево сечение, и др. Микробиом кишечника состоит более чем из 35 тыс. видов различных микроорганизмов, включая бактерии, вирусы, грибы и простейшие, однако основными представителями являются бактерии типов *Firmicutes* и *Bacteroidetes* [44].

Новорожденные дети начинают свою жизнь с относительно простым набором микроорганизмов, населяющих их желудочно-кишечный тракт, приобретая микробиоту, схожую с микробиотой взрослого человека, в течение первых 3 лет жизни [5, 7, 43, 44].

У младенцев, появившихся на свет через естественные родовые пути, у которых не было никакой антибактериальной терапии в течение первых 3 мес. жизни, находившихся на исключительно грудном вскармливании, в составе микробиоты кишечника преобладают лактат-продуцирующие микроорганизмы, такие как лактобактерии и стрептококки, а также лактат-утилизирующие микроорганизмы, такие как представители родов *Veillonella*, *Roseburia* и *Faecalibacterium*. При этом в экспериментальных моделях доказана эффективность лактат-утилизирующих бактерий в предупреждении аллергических реакций [42].

Еще в прошлом столетии было принято считать, что матка является стерильным органом, и что плод внутриутробно развивается в абсолютно стерильных условиях. Тем не менее ряд исследований подтвердил присутствие в эндометрии в состоянии физиологической нормы представителей трех типов бактерий: *Proteobacteria*, *Firmicutes* и *Bacteroidetes* [39]. В связи с этим можно утверждать, что кишечник плода еще внутриутробно колонизируется различными микроорганизмами матери. Кроме того, формированию микробиома кишечника новорожденного способствует контаминация микрофлорой влагалища и промежности во время естественных родов при прохождении через родовые пути матери. И именно процесс оперативного родоразрешения путем кесарева сечения может нарушить правильное формирование кишечного микробиома новорожденного.

## ОСНОВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В МИКРОБИОТЕ КИШЕЧНИКА ДЕТЕЙ, РОЖДЕННЫХ ЧЕРЕЗ ЕСТЕСТВЕННЫЕ РОДОВЫЕ ПУТИ И ПУТЕМ КЕСАРЕВА СЕЧЕНИЯ

Множество различных внешних факторов влияет на состав и динамику микробиома на первом году жизни ребенка, при этом во многом способ появления ребенка на свет остается одним из этих важнейших факторов (см. таблицу). Микробиом кишечника детей, рожденных путем

CESAREVA сечения, значительно отличается от такового у детей, рожденных через естественные родовые пути, у которых в составе микробиома имеется более высокое процентное соотношение *Bacteroides species* и большее микробное разнообразие в целом [11, 34]. У детей, рожденных путем кесарева сечения, в составе микробиоты кишечника преобладают *Staphylococcus spp.*, что является маркером первичной контаминации микрофлорой кожи матери, а также высока доля условно-патогенных микроорганизмов — *Enterococcus spp.*, *Klebsiella spp.* и *Clostridium spp.*, кроме того, в целом снижено микробное разнообразие как последствие интраоперационной антибиотикопрофилактики до пересечения пуповины во время кесарева сечения [4, 8, 19, 23, 27, 32, 36, 37].

Такая особенность микробиома кишечника у детей, рожденных путем кесарева сечения, сохраняется как минимум до 6 мес. постнатальной жизни, даже несмотря на положительное влияние грудного вскармливания на состав микрофлоры кишечника.

Самые первые исследования в этой области показали, что состав микробиома определяется во многом способом родоразрешения, а именно контактом плода с влагалищной микрофлорой при прохождении через родовые пути, однако публикации, доказывающие это, все же ограничены: ряд исследований проводился на единичном образце кала новорожденного, собранном в раннем неональном периоде, другие исследования содержали малый размер выборки — 20–30 диад мать – новорожденный [8, 13, 14, 19, 33].

Изучение процесса трансляции материнского микробиома плоду требует обязательного попарного сравнения на уровне штаммов с помощью глубокого метагеномного исследования — секвенирования. Метагеномика изучает набор генов всех микроорганизмов, находящихся в образце среды, и позволяет определить видовое разнообразие исследуемого образца без необходимости выделения и культивирования микроорганизмов. Широкое развитие метагеномики обусловлено распространением методов секвенирования нового поколения. Они позволяют получить последовательности практически всех генов каждого микроорганизма сообщества.

Важность изучения путей формирования здорового микробиома кишечника новорожденного лежит в плоскости раннего взаимодействия иммунитета новорожденного с комменсалами в желудочно-кишечном тракте, что является абсолютно естественным механизмом обучения иммунной системы и метаболического программирования. Эпидемиологические исследования показали взаимосвязь родоразрешения путем кесарева сечения с более высоким риском ожирения, астмы, аллергических реакций и иммуно-дефицита [9, 10, 21]. При этом крайне важно не забывать, что частота кесарева сечения в некоторых странах превышает 50 %, что значительно превышает рекомендуемые Всемирной организацией здравоохранения 15 % для обеспечения сохранности здоровья матери и плода [2, 6, 15, 16].

**Таблица.** Имеющиеся литературные данные о различиях в составе микробиоты кишечника детей первого месяца жизни в зависимости от способа рождения

**Table.** Available literature data on differences in the composition of the intestinal microbiota of children in the first month of life depending on the method of birth

Кесарево сечение / Cesarean section	Естественные роды / Vaginal birth	Литературный источник / Source
Снижение доли <i>Bacteroidetes</i> и <i>Actinobacteria</i> , в частности <i>Bifidobacterium</i> spp. / Decrease in <i>Bacteroidetes</i> and <i>Actinobacteria</i> , particularly <i>Bifidobacterium</i> spp.	Выше представленность бактерий рода <i>Bifidobacterium</i> / Higher representation of bacteria of the genus <i>Bifidobacterium</i>	[24]
Выше доля <i>Clostridium</i> spp. / Higher proportion of <i>Clostridium</i> spp.	Ниже доля условно-патогенных и абсолютно-патогенных микроорганизмов / The proportion of opportunistic and pathogenic microorganisms is lower	[17]
Доминирование <i>Staphylococcus</i> и <i>Corynebacterium</i> в первые дни жизни / Predominance of <i>Staphylococcus</i> and <i>Corynebacterium</i> in the first days of life	Доминирование <i>Lactobacillus</i> в первые дни жизни / Predominance of <i>Lactobacillus</i> in the first days of life	[13]
Выше доля <i>Streptococcus</i> , <i>Enterococcus</i> и <i>Klebsiella</i> spp. / A higher proportion of <i>Streptococcus</i> , <i>Enterococcus</i> and <i>Klebsiella</i> spp.	Выше доля <i>Escherichia</i> , <i>Bacteroides</i> и <i>Bifidobacterium</i> spp. / A higher proportion of <i>Escherichia</i> , <i>Bacteroides</i> and <i>Bifidobacterium</i> spp.	[3, 31, 35, 41]
Меньшая относительная представленность <i>Actinobacteria</i> и <i>Bacteroidetes</i> , преобладание <i>Firmicutes</i> до 3 мес. жизни / Less relative abundance of <i>Actinobacteria</i> and <i>Bacteroidetes</i> , predominance of <i>Firmicutes</i> up to 3 months of life	<i>Bifidobacterium</i> и <i>Bacteroidetes</i> доминируют. Различия между микробиотой кишечника при кесаревом сечении и после вагинальных родов нивелируются после 6 мес. жизни / Predominance of <i>Bifidobacterium</i> and <i>Bacteroidetes</i> . Differences between the intestinal microbiota during cesarean section and after vaginal birth are leveled out after 6 months of life	[28]

## СПОСОБ РОДОРАЗРЕШЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩИЕ РИСКИ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Роль микробиоты кишечника крайне важна именно в «обучении» иммунной системы и формировании адекватной ее реактивности. Именно микробиота кишечника со сниженным микробным разнообразием, формирование которой является следствием оперативного родоразрешения, антибактериальной терапии во время беременности или в неонатальном периоде, способствует нарушенному функционированию CD4<sup>+</sup> Т-клеток, причастных к развитию аллергических реакций и атопического дерматита у детей. В этом ключе интересными представляются данные о том, что в семьях, содержащих в качестве домашних животных именно собак, а не кошек, дети значительно реже страдают аллергическими заболеваниями. Вероятно, этот факт объясняется тем, что собаки контактируют с окружающей средой несколько раз в день во время выгула, в отличие от более «домашних» кошек, и, как следствие, контакт ребенка с собакой значимо обогащает микробиоту кишечника и профилактирует аллергические реакции.

Взаимосвязь оперативного родоразрешения и аллергических реакций у детей была подтверждена в ретроспективном когортном исследовании, проведенном в США

в штате Орегон, с 2005 г. Было обследовано почти 9 тыс. детей, у которых был диагностирован аллергический риноконъюнктивит, астма, атопический дерматит или пищевая аллергия. Риск аллергического риноконъюнктивита был значительно выше у детей, рожденных путем кесарева сечения. Кесарево сечение также ассоциировалось с последующим диагнозом астмы. Дети, рожденные от повторных операций кесарева сечения, имели более высокий риск аллергического риноконъюнктивита [26].

В ретроспективном обзоре Датского национального регистра родов проанализировано состояние здоровья 2 млн детей, рожденных между 1977 и 2012 г. Дети, рожденные путем кесарева сечения, имели более высокий риск развития астмы, системных заболеваний соединительной ткани, ювенильных артритов, иммунодефицитных состояний, лейкемии, воспалительных заболеваний кишечника. Поскольку в этом обзоре не оценено влияние таких факторов, как кесарево сечение после попытки влагалищных родов и разрыв плодных оболочек до операции кесарева сечения, специфический эффект недостаточного контакта с материнской влагалищной микрофлорой изолированно проанализировать сложно [30].

Проспективные исследования доказали, что ребенок, рожденный через естественные родовые пути, контактирует с вагинальной микрофлорой матери, а дети,

рожденные путем кесарева сечения, обсеменяются в первую очередь микрофлорой кожи и микрофлорой самой операционной [13, 24]. В систематическом обзоре, оценивающем связь способа родоразрешения и биологического разнообразия и типа микрофлоры кишечника в течение первого года жизни, показано, что тип микробиома кишечника у детей, находящихся на грудном вскармливании, определяется способом родоразрешения только в первые 3 мес. жизни, и эти различия полностью исчезают после полугода жизни ребенка [28].

В небольшом исследовании у 60 случайно отобранных 7-летних детей, 31 из которых был рожден путем кесарева сечения, а 29 — через естественные родовые пути, оценивали микрофлору кишечника с помощью флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). Значимо более высокий уровень клостридий (которые чаще всего относятся к патогенной микрофлоре) был обнаружен у детей, рожденных через естественные родовые пути. Никаких других различий в составе микробиома кишечника, включая бифидобактерии, которые считаются показателем «здоровой» микрофлоры кишечника, обнаружено не было [29]. При этом дети с диагностированной бронхиальной астмой имели более низкий процент клостридий в образцах кала, а здоровые дети — более высокое их процентное соотношение. И хотя авторы делают вывод, что патологическое развитие микрофлоры кишечника после кесарева сечения продолжается и после периода новорожденности, взаимосвязь между естественными родами, клостридиальной колонизацией и бронхиальной астмой остается неясной.

Что касается влияния кесарева сечения на последующий риск развития ожирения, то в систематическом обзоре и метаанализе историй болезни 163 тыс. новорожденных, которые появились на свет при оперативном родоразрешении, выявлена значительная взаимосвязь повышенного индекса массы тела у подростков, а впоследствии и развитие ожирения во взрослом периоде жизни, с оперативным родоразрешением [25].

Одним из способов снизить частоту основных неинфекционных заболеваний XXI в. (ожирения, сахарного диабета, гипертонии, аллергии) безусловно является снижение частоты кесарева сечения во всем мире. Однако этот способ требует изменения подхода к перинатальной медицине в целом, обучению персонала мануальным на-выкам ведения родов, и в целом является более длительным и торpidным.

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДИКИ ТРАНСПЛАНТАЦИИ МАТЕРИНСКОЙ МИКРОБИОМЫ НОВОРОЖДЕННОМУ

С целью добиться максимального соответствия микробиомы кишечника новорожденного ребенка после кесарева сечения наиболее физиологичным параметрам, соответствующим детям, рожденным через естественные родовые пути, разработано много неоднозначных

методик. Достаточно интересными и спорными предстают способы трансплантации микробиома кишечника, в том числе, например, трансплантация материнского кала новорожденному после оперативного родоразрешения [20]. Так, 7 беременным женщинам за 3 нед. до планируемого кесарева сечения брали образцы кала, которые затем в постнатальном периоде в виде раствора вводили новорожденным. Состав микробиома кишечника таких детей по своему составу значительно отличался от микробиома кишечника детей, которые также родились путем кесарева сечения, но которым не проводилось трансплантации кала, и в то же время практически не отличался от микробиома детей, рожденных естественным путем. Безопасность этой методики вызывает сомнения, поскольку полностью исключить наличие патогенной микрофлоры в микробиоте кишечника матери невозможно, а спровоцировать развитие острой кишечной инфекции у новорожденного ребенка с незрелой иммунной системой не составляет труда.

Представляет интерес научный труд, в котором исследователи попытались добиться максимального соответствия микробиома кишечника детей, рожденных путем кесарева сечения, микробиому детей, при естественном рождении. Исследователи предложили вводить постнатально 3 мл вагинального секрета младенцам сразу после кесарева сечения. Однако через 1 мес. и через 3 мес. постнатальной жизни не было обнаружено каких-либо отличий между группами исследуемых новорожденных. В обеих группах (кесарево сечение с вагинальным обсеменением постнатально и без него) отмечалось сниженное количество бактерий типа *Bacteroidetes* [40].

Перспективным, но в то же время и чрезвычайно дискутируемым, представляется метод «вагинального обсеменения» или «вагинального микробного переноса». Суть метода заключается в установке во влагалище женщины стерильного марлевого тампона за некоторое время до планового кесарева сечения с последующей обработкой этим тампоном кожи и слизистых новорожденного. При этом обязательными условиями, обеспечивающими безопасность данной методики, были отрицательный тест на В-гемолитический стрептококк, отрицательные анализы на заболевания, передающиеся половым путем (гонорея, хламидиоз, трихомониаз), а также показатели pH-метрии влагалища в диапазоне до 4,5. После кесарева сечения тампоном обрабатываются в первую очередь ротовое отверстие, нос и кожные покровы новорожденного. Таким образом, происходит имитация обсеменения кожных покровов и слизистых оболочек новорожденного влагалищной микрофлорой матери. В эпоху расцвета минимально интervенционного акушерства, ориентированного на полное отсутствие акушерской агрессии и приближенность к физиологичному естественному родоразрешению, включающего в себя такие перинатальные технологии, как отсроченное пересечение пуповины, раннее прикладывание к груди матери,

контакт «кожа к коже» с первых минут жизни с матерью и отцом ребенка и технологии кесарева сечения претерпевают изменения. Имитация биомеханизма родов при извлечении плода во время кесарева сечения, «медленное» кесарево сечение с возможностью проведения потуг роженицей дополняются и поиском путей «возмещения» материнской влагалищной микрофлоры для новорожденного во время оперативного родоразрешения.

Однако на сегодняшний день ни одни клинические рекомендации в мире не советуют методику вагинального обсеменения, поскольку эффективность методики не доказана на больших когортах пациентов. Например, Американское общество акушеров-гинекологов (ACOG) не рекомендует и не поддерживает рутинное проведение вагинального обсеменения, за исключением случаев проводимых клинических исследований и одобрения локальным этическим комитетом [38].

В 2016 г. проведено пилотное исследование по оценке эффективности вагинального обсеменения: обследованы 18 пар мать – новорожденный, из которых 7 были рождены через естественные родовые пути, 11 — путем планового кесарева сечения, 4 из которых было проведено вагинальное обсеменение [12]. Исследование показало, что в течение первой недели жизни состав микробиома различных биотопов детей, рожденных через естественные родовые пути, и детей, которым проводилось вагинальное обсеменение, был практически идентичным. Так, например, в течение первых 2 нед. жизни микробиом области анального отверстия у обеих групп был представлен *Lactobacillus*, затем постепенно сменялся на *Bacteroidetes*, чего нельзя сказать о детях, рожденных путем кесарева сечения при отсутствии вагинального обсеменения. У них в составе микробиоты кишечника сначала доминировали *Streptococcus* spp., являющиеся представителями кожного микробиома, а затем присоединялись представители условно-патогенной микробиоты — *Clostridia* spp. и *Klebsiella* spp. [12].

Эффективность вагинального обсеменения оценена в рандомизированном контролируемом исследовании, проведенном в 2021 г. [35]. Было доказано, что способ рождения значительно модулировал развитие микробиома кишечника и кожи младенцев, вагинальное обсеменение корректировало траекторию развития микробиоты новорожденных после кесарева сечения, частично приближая микробиом различных локусов к микробиому детей, рожденным через естественные родовые пути. Известно, что *Bacteroides* и *Parabacteroides*, распространенные кишечно-ассоциированные роды, ассоциированы с естественными влагалищными родами. В исследовании показано, что именно вагинальное обсеменение помогает восстановить доминирование этих родов в составе кишечной микробиоты новорожденных [35].

Изучалось также и влияние вагинального обсеменения на последующий риск развития аллергии и ожирения у детей. Было исследовано 117 новорожденных.

Общий риск аллергических реакций был ниже в группе детей, которым во время кесарева сечения проводилось вагинальное обсеменение. У младенцев из этой группы относительное содержание родов *Lactobacillus* и *Bacteroides* в микробиоте кишечника было незначительно повышенено при рождении и в 6 мес. жизни, а риск избыточной массы тела и ожирения был ниже в 6 мес. (0 из 57 детей и 6 из 59 детей соответственно; относительный риск 0,03 [95 % доверительный интервал 0,00–0,57];  $p = 0,03$ ), однако в дальнейшем этих различий обнаружено не было. Другие отсроченные исходы не отличались между группами. О нежелательных явлениях, ассоциированных с выполнением вагинального обсеменения, не сообщалось [22].

Однако описан и случай ранней неонатальной острой герпетической инфекции у новорожденного после выполнения вагинального обсеменения от матери, вероятно инфицированной вирусом простого герпеса [18]. Хотя избежать неонатального заражения зачастую невозможно и при естественных родах. В связи с этим для обеспечения безопасности этой манипуляции разработана методика ее выполнения, включающая обязательное дообследование матери. Накануне планового кесарева сечения пациентке измеряют pH влагалища с помощью тест полосок. Выполняют экспресс-тест на В-гемолитический стрептококк. Предварительно женщина обследуется в условиях женской консультации. Необходимо исключить наличие абсолютных патогенов в отделяемом из влагалища: хламидий, трихомонад, гонококков и микоплазм. При значениях pH-теста менее 4,5, отрицательном teste на В-гемолитический стрептококк во влагалище устанавливают стерильный марлевый тампон, пропитанный стерильным 0,9 % раствором натрия хлорида. Сразу перед кесаревым сечением тампон извлекают из влагалища, помещают в стерильную емкость и хранят при комнатной температуре. Как только новорожденного помещают на неонатальный столик для осмотра неонатологом после родов, в течение первой минуты после рождения марлевым тампоном обрабатывают сначала губы, затем лицо, грудь, руки, ноги, спину, гениталии и область анального отверстия. Обработка занимает около 15–20 с [38].

Существует мнение, что влияние кесарева сечения на микробиоту новорожденного и развитие соматической патологии в последующем несколько переоценено [1]. На сегодняшний день не существует исследований, которые бы четко указывали на прямую связь между кесаревым сечением и бронхиальной астмой, ожирением, диабетом, в которых бы исключались другие факторы, способствующие развитию этих заболеваний. До сих пор точно не ясно, действительно ли риск связан с самим кесаревым сечением, основными медицинскими показаниями со стороны матери или плода, которые привели к операции, или другими сопутствующими процессами, которые сопровождают либо операцию, либо ее основную медицинскую причину. На протяжении

постнатальной жизни более значимые факторы способны влиять на формирование микробиоты кишечника ребенка, а именно тип питания, принятый в конкретной семье, наличие домашних животных, место рождения — домашние роды или госпитальные, срок родов — преждевременные или срочные, география проживания, тип вскармливания постнатально — грудное или искусственное и др. [1].

Концепция «первых 1000 дней жизни» человека, определяющих во многом здоровье на многие последующие годы и склонность к тем или иным заболеваниям, ставит перед врачебным сообществом глобальную задачу откорректировать даже минимальные отклонения от нормы в детском возрасте. Поскольку в настоящий момент микробиом человека рассматривается по сути как целый отдельный орган, своевременная коррекция нарушений состава микробиоты способна профилактировать развитие заболеваний в будущем. Поиск простых и надежных способов приблизить микробиоту кишечника новорожденного к максимально физиологичным параметрам — задача современных неонатологов и педиатров.

Так, вероятно, вагинальное обсеменение представляется физиологичным и безопасным способом восстановления микрофлоры кишечника у детей, рожденных путем кесарева сечения, но при этом требует дальнейшего изучения на больших выборках новорожденных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научные данные последних лет свидетельствуют о том, что микробиом человека играет важную роль в формировании предрасположенности к различным заболеваниям. Внешние воздействия на микробиом меняют не только состав микробного профиля, но и, в конечном итоге, модулируют траекторию заболеваемости человека. Эти внешние воздействия начинаются еще с периода внутриутробного развития ребенка, поскольку при беременности состояние микробиоты влагалища, желудочно-кишечного тракта, ротовой полости матери во многом определяет исход беременности и родов. Первое массивное столкновение ребенка с микробным окружающим миром происходит именно в момент рождения, способ которого формирует первый контакт либо с вагинальной микробиотой матери при естественных родах, либо с микробиотой кожи при кесаревом сечении.

На сегодняшний день известно о четырех фазах развития микробиома кишечника ребенка: первая — от рождения и до 2 нед. жизни, характеризуется наличием *Streptococcus*, *Escherichia*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Bacteroides*, с преобладанием тех или иных родов в зависимости именно от способа родоразрешения; вторая — от 2 нед. жизни до момента введения прикорма, нарастает количество *Bacteroides*; третья — до момента завершения грудного вскармливания, наряду с ростом *Bacteroides* увеличивается и рост анаэробных

граммоположительных кокков; четвертая фаза характеризуется формированием «взрослого» типа микробиома кишечника и совпадает с завершением грудного вскармливания. Внешние врачебные интервенции именно на первом этапе формирования микробиома ребенка способны модулировать и становление микробиоты на остальных этапах. Некоторые из этих способов могут казаться достаточно сомнительными, как, например, трансплантация материнской микробиоты кишечника ее же ребенку путем приготовления собственных пробиотических штаммов или пероральное введение ребенку вагинального секрета матери.

Метод вагинального обсеменения сегодня является одним из самых изученных альтернативных способов восстановления микробиома новорожденного после кесарева сечения, хотя и представляется достаточно спорным и не всегда абсолютно безопасным. Вероятно, этот способ может быть перспективным вспомогательным методом воздействия на микробный мир новорожденного в группах риска нарушения формирования микробиоты у младенцев, например, от матерей с гестационным сахарным диабетом, ожирением, при индуцированных преждевременных родах по медицинским показаниям путем кесарева сечения.

Однако дальнейшее изучение методики вагинального обсеменения возможно позволит поставить этот метод в один ряд с другими современными перинатальными технологиями, приближающими кесарево сечение к естественным родам.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aagaard K.M. Mode of delivery and pondering potential sources of the neonatal microbiome // EBioMedicine. 2020. Vol. 51. P. 102554. doi: 10.1016/j.ebiom.2019.11.015
2. Appropriate technology for birth // Lancet. 1985. Vol. 2, N. 8452. P. 436–437.
3. Azad M., Konya T., Persaud R., et al. Impact of maternal intrapartum antibiotics, method of birth and breastfeeding on gut microbiota during the first year of life: A prospective cohort study // Br J Obstet Gynaecol. 2016. Vol. 123, N. 6. P. 983–993. doi: 10.1111/1471-0528.13601
4. Azad M., Owora A. Is early-life antibiotic exposure associated with obesity in children? // JAMA Netw Open. 2020. Vol. 3, N. 1. P. e1919694. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.19694
5. Bäckhed F., Roswall J., Peng Y., et al. Dynamics and stabilization of the human gut microbiome during the first year of life // Cell Host Microbe. 2015. Vol. 17, N. 5. P. 690–703. doi: 10.1016/j.chom.2015.04.004
6. Barber E.L. Indications contributing to the increasing cesarean delivery rate // Obstet Gynecol. 2011. Vol. 118, N. 1. P. 29–38. doi: 10.1097/AOG.0b013e31821e5f65
7. Bokulich N.A., Chung J., Battaglia T., et al. Antibiotics, birth mode, and diet shape microbiome maturation during early life // Sci Transl Med. 2016. Vol. 8, N. 343. P. 343ra82. doi: 10.1126/scitranslmed.aad7121
8. Brumbaugh D.E., Arruda J., Robbins K., et al. Mode of delivery determines neonatal pharyngeal bacterial composition and early intestinal colonization // J Pediatr Gastroenterol. Nutr. 2016. Vol. 63, N. 3. P. 320–328. doi: 10.1097/MPG.0000000000001124
9. Cardwell C.R., Stene L.C., Joner G., et al. Cesarean section is associated with an increased risk of childhood-onset type 1 diabetes mellitus: a metaanalysis of observational studies // Diabetologia. 2008. Vol. 51, N. 5. P. 726–735. doi: 10.1007/s00125-008-0941-z
10. Decker E., Engelmann G., Findeisen A., et al. Cesarean delivery is associated with celiac disease but not inflammatory bowel disease in children // Pediatrics. 2010. Vol. 125, N. 6. P. e1433–e1440. doi: 10.1542/peds.2009-2260
11. Dominguez-Bello M.G., Godoy-Vitorino F., Knight R., Blaser M.J. Role of the microbiome in human development // Gut. 2019. Vol. 68, N. 6. P. 1108–1114. doi: 10.1136/gutjnl-2018-317503
12. Dominguez-Bello M.G., De Jesus-Laboy K.M., Shen N., et al. Partial restoration of the microbiota of cesarean-born infants via vaginal microbial transfer // Nat Med. 2016. Vol. 22, N. 3. P. 250–253. doi: 10.1038/nm.4039
13. Dominguez-Bello M.G., Costello E.K., Contreras M., et al. Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns // Proc Natl Acad Sci USA. 2010. Vol. 107, N. 26. P. 11971–11975. doi: 10.1073/pnas.1002601107
14. Ferretti P., Pasolli E., Tett A., et al. Mother-to-infant microbial transmission from different body sites shapes the developing infant gut microbiome // Cell Host Microbe. 2018. Vol. 24, N. 1. P. 133–145.e5. doi: 10.1016/j.chom.2018.06.005
15. Finger C. Caesarean section rates skyrocket in Brazil. Many women are opting for caesareans in the belief that it is a practical solution // Lancet. 2003. Vol. 362, N. 9384. P. 628. doi: 10.1016/s0140-6736(03)14204-3
16. Gibbons L., Belizan J.M., Lauer J.A., et al. The global numbers and costs of additionally needed and unnecessary caesarean sections performed per year: overuse as a barrier to universal coverage. World Health Report. 2010. Background Paper No. 30.
17. Hesla H.M., Stenius F., Jäderlund L., et al. Impact of lifestyle on the gut microbiota of healthy infants and their mothers — the ALADDIN birth cohort // FEMS Microbiol Ecol. 2014. Vol. 90, N. 3. P. 791–801. doi: 10.1111/1574-6941.12434.
18. Huynh J., Palasanthiran P., McMullan B. Potential transmission of herpes simplex virus via vaginal seeding // Pediatr Infect Dis J. 2018. Vol. 37, N. 11. P. e278. doi: 10.1097/INF.0000000000001965
19. Jakobsson H.E., Abrahamsson T.R., Jenmalm M.C., et al. Decreased gut microbiota diversity, delayed Bacteroidetes colonization and reduced Th1 responses in infants delivered by caesarean section // Gut. 2014. Vol. 63, N. 4. P. 559–566. doi: 10.1136/gutjnl-2012-303249
20. Korpela K., Helve O., Kolho K.L., et al. Maternal fecal microbiota transplantation in cesarean-born infants rapidly restores normal gut microbial development: a proof-of-concept study // Cell. 2020. Vol. 183, N. 2. P. 324–334.e5. doi: 10.1016/j.cell.2020.08.047
21. Kuhle S., Tong O.S., Woolcott C.G. Association between caesarean section and childhood obesity: a systematic review and meta-analysis // Obes Rev. 2015. Vol. 16, N. 4. P. 295–303. doi: 10.1111/obr.12267
22. Liu Y., Li H.T., Zhou S.J., et al. Effects of vaginal seeding on gut microbiota, body mass index, and allergy risks in infants born through cesarean delivery: a randomized clinical trial // Am J Obstet Gynecol MFM. 2023. Vol. 5, N. 1. P. 100793. doi: 10.1016/j.ajogmf.2022.100793
23. Madan, J.C., Hoen, A.G., Lundgren, S.N., et al. Association of cesarean delivery and formula supplementation with the intestinal microbiome of 6-week-old infants // JAMA Pediatr. 2016. Vol. 170, N. 3. P. 212–219. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.3732
24. Makino H., Kushiro A., Ishikawa E., et al. Mother-To-Infant transmission of intestinal bifidobacterial strains has an impact on the early development of vaginally delivered infant's microbiota // PLoS One 2013. Vol. 8, N. 11. P. e78331. doi: 10.1371/journal.pone.0078331
25. Darmasseelane K., Hyde M.J., Santhakumaran S., et al. Mode of delivery and offspring body mass index, overweight and obesity in adult life: a systematic review and meta-analysis // PLoS One. 2014. Vol. 9, N. 2. P. e87896. doi: 10.1371/journal.pone.0087896
26. Renz-Polster H., David M.R., Buist A.S., et al. Cesarean section delivery and the risk of allergic disorders in childhood // Clin Exp Allergy. 2005. Vol. 35, N. 11. P. 1466–1472. doi: 10.1111/j.1365-2222.2005.02356.x
27. Reyman M., van Houten M.A., van Baarle D., et al. Impact of delivery mode-associated gut microbiota dynamics on health in the first year of life // Nat Commun. 2019. Vol. 10, N. 1. P. 4997. doi: 10.1038/s41467-019-13014-7
28. Rutayisire E., Huang K., Liu Y., Tao F. The mode of delivery affects the diversity and colonization pattern of the gut microbiota during the first year of infants' life: a systematic review // BMC Gastroenterol. 2016. Vol. 16, N. 1. P. 86. doi: 10.1186/s12876-016-0498-0
29. Salminen S., Gibson G.R., McCartney A.L., Isolauri E. Influence of mode of delivery on gut microbiota composition in seven year old children // Gut. 2004. Vol. 53, N. 9. P. 1388–1389. doi: 10.1136/gut.2004.041640
30. Sevelsted A., Stokholm J., Bonnelykke K., Bisgaard H. Cesarean section and chronic immune disorders // Pediatrics. 2015. Vol. 135, P. e92–e98. doi: 10.1542/peds.2014-0596

- 31.** Browne H.P., Shao Y., Lawley T.D. Mother-infant transmission of human microbiota // *Curr Opin Microbiol.* 2022. Vol. 69. P. 102173. doi: 10.1016/j.mib.2022.102173
- 32.** Shao Y., Forster S.C., Tsakiki E., et al. Stunted microbiota and opportunistic pathogen colonization in caesarean-section birth // *Nature.* 2019. Vol. 574. P. 117–121.
- 33.** Shi Y.C., Guo H., Chen J., et al. Initial meconium microbiome in Chinese neonates delivered naturally or by cesarean section // *Sci Rep.* 2018. Vol. 8, N. 1. P. 3255. doi: 10.1038/s41598-018-21657-7
- 34.** Shin H., Pei Z., Martinez K.A., et al. The first microbial environment of infants born by C-section: the operating room microbes // *Microbiome* 2015. Vol. 3. P. 59. doi: 10.1186/s40168-015-0126-1 [published erratum appears in *Microbiome* 2016. Vol. 4:4].
- 35.** Song S.J., Wang J., Martino C., et al. Naturalization of the microbiota developmental trajectory of Cesarean-born neonates after vaginal seeding // *Med.* 2021. Vol. 2, N. 8. P. 951–964.e5. doi: 10.1016/j.medj.2021.05.003
- 36.** Sordillo J.E., Zhou Y., McGeachie M.J., et al. Factors influencing the infant gut microbiome at age 3–6 months: findings from the ethnically diverse Vitamin D Antenatal Asthma Reduction Trial (VDAART) // *J Allergy Clin Immunol.* 2017. Vol. 139, N. 2. P. 482–491.e14. doi: 10.1016/j.jaci.2016.08.045
- 37.** Stewart C.J., Ajami N.J., O'Brien J.L., et al. Temporal development of the gut microbiome in early childhood from the TEDDY study // *Nature.* 2018. Vol. 562, N. 7728. P. 583–588. doi: 10.1038/s41586-018-0617-x
- 38.** ACOG. Vaginal Seeding. Режим доступа: <https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2017/11/vaginal-seeding> (дата обращения 09.02.2024).
- 39.** Verstraelen H., Vilchez-Vargas R., Desimpel F., et al. Characterization of the human uterine microbiome in non-pregnant women through deep sequencing of V1-2 region of the 16S rRNA gene // *Peer J.* 2016. Vol. 4. P. e1602. doi: 10.7717/peerj
- 40.** Wilson B.C., Butler É.M., Grigg C.P., et al. Oral administration of maternal vaginal microbes at birth to restore gut microbiome development in infants born by caesarean section: A pilot randomised placebo-controlled trial // *EBioMedicine.* 2021. Vol. 69. P. 103443. doi: 10.1016/j.ebiom.2021.103443
- 41.** Butler É.M., Chiavaroli V., Derraik J.G.B., et al. Maternal bacteria to correct abnormal gut microbiota in babies born by C-section // *Medicine (Baltimore).* 2020. Vol. 99, N. 30. P. e21315. doi: 10.1097/MD.00000000000021315
- 42.** Yasmin F., Tun H.M., Konya T.B., et al. Cesarean section, formula feeding, and infant antibiotic exposure: separate and combined impacts on gut microbial changes in later infancy // *Front Pediatr.* 2017. Vol. 5. P. 200. doi: 10.3389/fped.2017.00200
- 43.** Yassour M., Vatanen T., Siljander H., et al; DIABIMMUNE Study Group. Natural history of the infant gut microbiome and impact of antibiotic treatment on bacterial strain diversity and stability // *Sci Transl Med.* 2016. Vol. 8, N. 343. P. 343ra81. doi: 10.1126/scitranslmed.aad0917
- 44.** Yatsunenko T., Rey F.E., Manary M.J., et al. Human gut microbiome viewed across age and geography // *Nature.* 2012. Vol. 486, N. 7402. P. 222–227. doi: 10.1038/nature11053

## REFERENCES

1. Aagaard KM. Mode of delivery and pondering potential sources of the neonatal microbiome. *EBioMedicine.* 2020;51:102554. doi: 10.1016/j.ebiom.2019.11.015
2. Appropriate technology for birth. *Lancet.* 1985;2(8452):436–437.
3. Azad M, Konya T, Persaud R, et al. Impact of maternal intrapartum antibiotics, method of birth and breastfeeding on gut microbiota during the first year of life: A prospective cohort study. *Br J Obstet Gynaecol.* 2016;123(6):983–993. doi: 10.1111/1471-0528.13601
4. Azad M, Owora A. Is early-life antibiotic exposure associated with obesity in children? *JAMA Netw Open.* 2020;3(1):e1919694. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.19694
5. Bäckhed F, Roswall J, Peng Y, et al. Dynamics and stabilization of the human gut microbiome during the first year of life. *Cell Host Microbe.* 2015;17(5):690–703. doi: 10.1016/j.chom.2015.04.004
6. Barber EL. Indications contributing to the increasing cesarean delivery rate. *Obstet Gynecol.* 2011;118(1):29–38. doi: 10.1097/AOG.0b013e31821e5f6
7. Bokulich NA, Chung J, Battaglia T, et al. Antibiotics, birth mode, and diet shape microbiome maturation during early life. *Sci Transl Med.* 2016;8(343):343ra82. doi: 10.1126/scitranslmed.aad7121
8. Brumbaugh DE, Arruda J, Robbins K, et al. Mode of delivery determines neonatal pharyngeal bacterial composition and early intestinal colonization. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2016;63(3):320–328. doi: 10.1097/MPG.0000000000001124
9. Cardwell CR, Stene LC, Joner G, et al. Caesarean section is associated with an increased risk of childhood-onset type 1 diabetes mellitus: a metaanalysis of observational studies. *Diabetologia.* 2008;51(5):726–735. doi: 10.1007/s00125-008-0941-z
10. Decker E, Engelmann G, Findeisen A, et al. Cesarean delivery is associated with celiac disease but not inflammatory bowel disease in children. *Pediatrics.* 2010;125(6):e1433–e1440. doi: 10.1542/peds.2009-2260
11. Dominguez-Bello MG, Godoy-Vitorino F, Knight R, Blaser MJ. Role of the microbiome in human development. *Gut.* 2019;68(6):1108–1114. doi: 10.1136/gutjnl-2018-317503
12. Dominguez-Bello MG, De Jesus-Laboy KM, Shen N, et al. Partial restoration of the microbiota of cesarean-born infants via vaginal microbial transfer. *Nat Med.* 2016;22(3):250–253. doi: 10.1038/nm.4039
13. Dominguez-Bello MG, Costello EK, Contreras M, et al. Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2010;107(26):11971–11975. doi: 10.1073/pnas.1002601107
14. Ferretti P, Pasolli E, Tett A, et al. Mother-to-infant microbial transmission from different body sites shapes the developing in-

- fant gut microbiome. *Cell Host Microbe.* 2018;24(1):133–145.e5. doi: 10.1016/j.chom.2018.06.005
- 15.** Finger C. Caesarean section rates skyrocket in Brazil. Many women are opting for caesareans in the belief that it is a practical solution. *Lancet.* 2003;362(9384):628. doi: 10.1016/s0140-6736(03)14204-3
- 16.** Gibbons L, Belizan JM, Lauer JA, et al. The global numbers and costs of additionally needed and unnecessary caesarean sections performed per year: overuse as a barrier to universal coverage. World Health Report. 2010. Background Paper No. 30.
- 17.** Hesla HM, Stenius F, Jäderlund L, et al. Impact of lifestyle on the gut microbiota of healthy infants and their mothers — the ALADDIN birth cohort. *FEMS Microbiol Ecol.* 2014;90(3):791–801. doi: 10.1111/1574-6941.12434
- 18.** Huynh J, Palasanthiran P, McMullan B. Potential transmission of herpes simplex virus via vaginal seeding. *Pediatr Infect Dis J.* 2018;37(11):e278. doi: 10.1097/INF.0000000000001965
- 19.** Jakobsson HE, Abrahamsson TR, Jenmalm MC, et al. Decreased gut microbiota diversity, delayed Bacteroidetes colonization and reduced Th1 responses in infants delivered by caesarean section. *Gut.* 2014;63(4):559–566. doi: 10.1136/gutjnl-2012-303249
- 20.** Korpela K, Helve O, Kolho KL, et al. Maternal fecal microbiota transplantation in cesarean-born infants rapidly restores normal gut microbial development: a proof-of-concept study. *Cell.* 2020;183(2):324–334.e5. doi: 10.1016/j.cell.2020.08.047
- 21.** Kuhle S, Tong OS, Woolcott CG. Association between caesarean section and childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2015;16(4):295–303. doi: 10.1111/obr.12267
- 22.** Liu Y, Li HT, Zhou SJ, et al. Effects of vaginal seeding on gut microbiota, body mass index, and allergy risks in infants born through cesarean delivery: a randomized clinical trial. *Am J Obstet Gynecol MFM.* 2023;5(1):100793. doi: 10.1016/j.ajogmf.2022.100793
- 23.** Madan JC, Hoen AG, Lundgren SN, et al. Association of cesarean delivery and formula supplementation with the intestinal microbiome of 6-week-old infants. *JAMA Pediatr.* 2016;170(3):212–219. doi: 10.1001/jamapediatrics.2015.3732
- 24.** Makino H, Kushiro A, Ishikawa E, et al. Mother-To-Infant transmission of intestinal bifidobacterial strains has an impact on the early development of vaginally delivered infant's microbiota. *PLoS One.* 2013;8(11):e78331. doi: 10.1371/journal.pone.0078331
- 25.** Darmassselane K, Hyde MJ, Santhakumaran S, et al. Mode of delivery and offspring body mass index, overweight and obesity in adult life: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2014;9(2):e87896. doi: 10.1371/journal.pone.0087896
- 26.** Renz-Polster H, David MR, Buist AS, et al. Caesarean section delivery and the risk of allergic disorders in childhood. *Clin Exp Allergy.* 2005;35(11):1466–1472. doi: 10.1111/j.1365-2222.2005.02356.x
- 27.** Reyman M, van Houten MA, van Baarle D, et al. Impact of delivery mode-associated gut microbiota dynamics on health in the first year of life. *Nat Commun.* 2019;10(1):4997. doi: 10.1038/s41467-019-13014-7
- 28.** Rutaisire E, Huang K, Liu Y, Tao F. The mode of delivery affects the diversity and colonization pattern of the gut microbiota during the first year of infants' life: a systematic review. *BMC Gastroenterol.* 2016;16(1):86. doi: 10.1186/s12876-016-0498-0
- 29.** Salminen S, Gibson GR, McCartney AL, Isolauri E. Influence of mode of delivery on gut microbiota composition in seven year old children. *Gut.* 2004;53(9):1388–1389. doi: 10.1136/gut.2004.041640
- 30.** Sevelsted A, Stokholm J, Bonnelykke K, Bisgaard H. Cesarean section and chronic immune disorders. *Pediatrics.* 2015;135:e92–e98. doi: 10.1542/peds.2014-0596
- 31.** Browne HP, Shao Y, Lawley TD. Mother-infant transmission of human microbiota. *Curr Opin Microbiol.* 2022;69:102173. doi: 10.1016/j.mib.2022.102173
- 32.** Shao Y, Forster SC, Tsaliki E, et al. Stunted microbiota and opportunistic pathogen colonization in caesarean-section birth. *Nature.* 2019;574:117–121.
- 33.** Shi YC, Guo H, Chen J, et al. Initial meconium microbiome in Chinese neonates delivered naturally or by cesarean section. *Sci Rep.* 2018;8(1):3255. doi: 10.1038/s41598-018-21657-7
- 34.** Shin H, Pei Z, Martinez KA 2nd, et al. The first microbial environment of infants born by C-section: the operating room microbes. *Microbiome.* 2015;3:59. doi: 10.1186/s40168-015-0126-1 [published erratum appears in Microbiome 2016;4:4].
- 35.** Song SJ, Wang J, Martino C, et al. Naturalization of the microbiota developmental trajectory of Cesarean-born neonates after vaginal seeding. *Med.* 2021;2(8):951–964.e5. doi: 10.1016/j.medj.2021.05.003
- 36.** Sordillo JE, Zhou Y, McGechie MJ, et al. Factors influencing the infant gut microbiome at age 3–6 months: findings from the ethnically diverse Vitamin D Antenatal Asthma Reduction Trial (VDAART). *J Allergy Clin Immunol.* 2017;139(2):482–491.e14. doi: 10.1016/j.jaci.2016.08.045
- 37.** Stewart CJ, Ajami NJ, O'Brien JL, et al. Temporal development of the gut microbiome in early childhood from the TEDDY study. *Nature.* 2018;562(7728):583–588. doi: 10.1038/s41586-018-0617-x
- 38.** ACOG. Vaginal Seeding. Режим доступа: <https://www.acog.org/clinical/clinical-guidance/committee-opinion/articles/2017/11/vaginal-seeding> дата обращения 09.02.2024.
- 39.** Verstraelen H, Vilchez-Vargas R, Desimpel F, et al. Characterization of the human uterine microbiome in non-pregnant women through deep sequencing of V1-2 region of the 16S rRNA gene. *Peer J.* 2016;4:e1602. doi: 10.7717/peerj
- 40.** Wilson BC, Butler ÉM, Grigg CP, et al. Oral administration of maternal vaginal microbes at birth to restore gut microbiome development in infants born by caesarean section: A pilot randomised placebo-controlled trial. *EBioMedicine.* 2021;69:103443. doi: 10.1016/j.ebiom.2021.103443
- 41.** Butler ÉM, Chiavaroli V, Derraik JGB, et al. Maternal bacteria to correct abnormal gut microbiota in babies born by C-section. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(30):e21315. doi: 10.1097/MD.00000000000021315
- 42.** Yasmin F, Tun HM, Konya TB, et al. Cesarean section, formula feeding, and infant antibiotic exposure: separate and combined impacts on gut microbial changes in later infancy. *Front Pediatr.* 2017;5:200. doi: 10.3389/fped.2017.00200
- 43.** Yassour M, Vatanen T, Siljander H, et al; DIABIMMUNE Study Group (2016). Natural history of the infant gut microbiome and impact of antibiotic treatment on bacterial strain diversity and stability. *Sci Transl Med.* 2016;8(343):343ra81. doi: 10.1126/scitranslmed.aad0917
- 44.** Yatsunenko T, Rey FE, Manary MJ, et al. Human gut microbiome viewed across age and geography. *Nature.* 2012;486(7402):222–227. doi: 10.1038/nature11053

## ОБ АВТОРАХ

\***Виктория Владиславовна Баринова**, канд. мед. наук, врач-акушер-гинеколог, заместитель директора по развитию, ООО «Клиника профессора Буштыревой»; адрес: Россия, 344000, Ростов-на-Дону, пер. Соборный, д. 58/7; ORCID: 0000-0002-8584-7096; WoS Researcher ID: AAH-3314-2019; Scopus Author ID: 2578513; eLibrary SPIN: 5068-0680; e-mail: victoria-barinova@yandex.ru

**Ирина Олеговна Буштырева**, д-р мед. наук, профессор, директор, ООО «Клиника профессора Буштыревой», Ростов-на-Дону, Россия; ORCID: 0000-0001-9296-2271; eLibrary SPIN: 5009-1565; e-mail: kio4@mail.ru

**Дмитрий Олегович Иванов**, д-р мед. наук, профессор, главный внештатный специалист-неонатолог Минздрава России, ректор, заведующий кафедрой неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии ФП и ДПО, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**Наталья Борисовна Кузнецова**, д-р мед. наук, профессор, Центр симуляционного обучения, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия; главный врач, ООО «Клиника профессора Буштыревой», Ростов-на-Дону, Россия; ORCID: 0000-0002-0342-8745; eLibrary SPIN: 1804-5398; e-mail: lauranb@inbox.ru

**Екатерина Эдуардовна Артоуз**, студентка 5-го курса лечебно-профилактического факультета, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия; e-mail: artouz-ekaterina@rambler.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**Victoria V. Barinova**, PhD, MD, obstetrician-gynecologist, Deputy Director for Development, LLC "Clinic of Professor Bushtyreva"; address: 58/7, Sobornyi lane, 344000, Rostov-on-Don, Russia; ORCID: 0000-0002-8584-7096; WoS Researcher ID: 3314-2019; Scopus Author ID: 2578513; eLibrary SPIN: 5068-0680; e-mail: victoria-barinova@yandex.ru

**Irina O. Bushtyreva**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Director, LLC "Clinic of Professor Bushtyreva", Rostov-on-Don, Russia; ORCID: 0000-0001-9296-2271; eLibrary SPIN: 5009-1565; e-mail: kio4@mail.ru

**Dmitry O. Ivanov**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Chief Freelance Neonatologist of the Ministry of Health of Russia, Rector, Head of the Department of Neonatology with courses of Neurology and Obstetrics and Gynecology of the Postgraduate and Additional Professional Education, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-0060-4168; eLibrary SPIN: 4437-9626; e-mail: doivanov@yandex.ru

**Natalia B. Kuznetsova**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor of the Simulation Training Center, Rostov State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russia; Chief physician, LLC "Clinic of Professor Bushtyreva", Rostov-on-Don, Russia; ORCID: 0000-0002-0342-8745; eLibrary SPIN: 1804-5398; e-mail: lauranb@inbox.ru

**Ekaterina E. Artouz**, 5<sup>th</sup> year Student of the Faculty of Preventive Medicine, Rostov State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russia; e-mail: artouz-ekaterina@rambler.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15191-100>

Оригинальное исследование

# Неудовлетворенность собственным телом и ассоциированные с ней факторы у подростков с нормальной массой тела

А.В. Погодина, Т.А. Астахова, Л.Н. Лебедева, Л.В. Рычкова

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Неудовлетворенность собственным телом широко распространена в популяции и связана с нарушениями пищевого поведения, тревожно-депрессивными расстройствами, низкой самооценкой. Проведено очень мало исследований этой проблемы в когорте подростков с нормальной массой тела, которые составляют большую часть всех подростков.

**Цель** — установить частоту, выраженность, направленность неудовлетворенности собственным телом, а также факторы, с ней ассоциированные, среди подростков с нормальной массой тела.

**Материалы и методы.** В исследовании принимали участие десятиклассники общеобразовательных школ Иркутска ( $n = 244$ , 64,3 % девочек, 35,7 % мальчиков), которые прошли антропометрию и заполнили анкеты, включающие социально-демографические факторы, факторы образа жизни. Для оценки неудовлетворенности собственным телом применяли шкалу Коллинза, для оценки связанного со здоровьем качества жизни опросник PedsQL 4.0 (Lyon, Франция). Самооценку характеризовали с помощью опросника «Шкала самооценки» М. Розенберга.

**Результаты.** О желании иметь силуэты, отличные от фактических, сообщили 57 % школьников. Легкую неудовлетворенность собственным телом испытывали 39,8 % подростков, умеренную и сильную — 17,2 %. Частота и степень неудовлетворенности была сопоставимой у подростков обоего пола. Мальчики значительно чаще, чем девочки, считали себя слишком худыми и хотели набрать вес (49,4 %), тогда как 51,6 % школьниц хотели бы похудеть. Наличие неудовлетворенности собственным телом, даже легкой степени, было связано со статистически значимо более низкой самооценкой. Кроме того, умеренная/сильная неудовлетворенность была связана со снижением всех аспектов качества жизни. Установлены значимые ассоциации неудовлетворенности собственным телом и длительности времени в Интернете/социальных сетях и у телевизионных экранов.

**Выводы.** Результаты исследования обосновывают подход к неудовлетворенности собственным телом как к самостоятельной проблеме, требующей активного выявления и направленного воздействия, и определяют возможный вектор профилактической работы с подростками.

**Ключевые слова:** неудовлетворенность собственным телом; экранное время; самооценка; связанное со здоровьем качество жизни; подростки.

## Как цитировать

Погодина А.В., Астахова Т.А., Лебедева Л.Н., Рычкова Л.В. Неудовлетворенность собственным телом и ассоциированные с ней факторы у подростков с нормальной массой тела // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 91–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15191-100>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15191-100>

Research Article

# Body dissatisfaction and associated factors in normal weight adolescents

Anna V. Pogodina, Tatyana A. Astakhova, Ludmila N. Lebedeva, Lyubov V. Rychkova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Body dissatisfaction is widespread and is associated with eating disorders, anxiety, depression, low self-esteem. There is very little research on body dissatisfaction in normal weight adolescents, who make up the majority of all adolescents.

**AIM:** to establish the prevalence, degree, direction and factors associated with body dissatisfaction among adolescents with normal body weight.

**MATERIALS AND METHODS:** The study included tenth-graders of general education schools ( $n = 244$ , 64.3% girls), who underwent anthropometry and filled out questionnaires that included socio-demographic and lifestyle factors. Collins scales were used to assess body dissatisfaction, and the Russian version of the PedsQL 4.0 questionnaire (Lyon, France), was used to assess health-related quality of life. Self-esteem scores were obtained from the Rosenberg self-esteem scale.

**RESULTS:** The desire to have silhouettes different from the actual ones was reported by 57% of adolescents. 39.8% of adolescents had mild body dissatisfaction, moderate and severe — 17.2%. The frequency and degree of body dissatisfaction was comparable in adolescents of both sexes. Boys were much more likely than girls to consider themselves too thin and wanted to gain weight (49.4%), while 51.6% of schoolgirls would like to lose weight. Body dissatisfaction, even mild, was associated with significantly lower self-esteem. Moreover moderate/severe body dissatisfaction has been associated with a decline in all aspects of quality of life. In addition, significant associations of body dissatisfaction and the length of time on the Internet / social networks and at TV screens were established.

**CONCLUSIONS:** The results of the study substantiate the approach to body dissatisfaction as a problem that requires active identification and directed impact, and determine possible areas of preventive work with adolescents.

**Keywords:** body dissatisfaction; screen time; self-esteem; health-related quality of life; adolescents.

## To cite this article

Pogodina AV, Astakhova TA, Lebedeva LN, Rychkova LV. Body dissatisfaction and associated factors in normal weight adolescents. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):91–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED15191-100>

Received: 20.12.2023

Accepted: 17.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Неудовлетворенность собственным телом (НСТ) характеризуется как негативное отношение человека к своему внешнему виду, массе тела (МТ), его размеру или форме и является одним из аспектов более широкой концепции образа тела. Образ тела можно определить как осознаваемую человеком систему представлений о собственном теле, включающую его отношение к телу и связанные с ним мысли и чувства [6]. НСТ возникает, когда чувства по отношению к своему телу негативны и несопоставимы с представлениями об идеальном теле. Интерес к исследованию НСТ обусловлен ее высокой распространенностью и связью с такими проблемами в сфере психического здоровья, как нарушения пищевого поведения, тревожно-депрессивные расстройства, низкая самооценка [10, 24]. Ввиду показанной в ряде исследований ассоциации НСТ с плохим качеством жизни, в некоторых странах она рассматривается как самостоятельная проблема общественного здравоохранения [16].

Современные представления о НСТ обосновывают ее изучение с позиций биopsихосоциального подхода, сочетающего в себе комплексную оценку биологических, психологических и социокультурных факторов.

Наиболее важными биологическими факторами, описываемыми в связи с НСТ у подростков, являются пол, возраст и избыточная МТ.

Считается, что девочки особенно чувствительны к происходящим в пубертатном периоде изменениям внешности, поэтому большинство исследований проблемы НСТ проводится среди девочек [1]. Вместе с тем, в последние годы отмечается рост распространенности патологии, связанной с НСТ, среди мужчин [11], что обосновывает необходимость включения мальчиков в исследования НСТ у подростков. Согласно результатам российских исследований, частота НСТ среди девочек-подростков составляет около 77 % [4, 6]. Данные о распространенности НСТ у мальчиков в России отсутствуют, что свидетельствует об одностороннем подходе к данной проблеме в нашей стране и может иметь неблагоприятные психосоциальные последствия для подростков и молодых людей мужского пола.

Исследования предшествующих лет показали, что подростки с избыточной МТ/ожирением наиболее предрасположены к развитию НСТ [20]. Вместе с тем есть свидетельства того, что НСТ свойственна и подросткам с нормальной МТ. В одном из исследований 90,5 % подростков, неудовлетворенных из-за худобы, и 55,2 % подростков, неудовлетворенных из-за избыточной МТ, имели нормальный вес [24].

В ряду психологических факторов, изучаемых в связи с НСТ у подростков, наибольшую важность имеет самооценка. Самооценка определяется совокупностью чувств и мыслей человека относительно собственной ценности, компетентности и пригодности, результатом которых является положительное или отрицательное отношение

к себе [13]. Высокая самооценка считается одним из основных предикторов благоприятных исходов в таких областях, как межличностные отношения и успеваемость. Тогда как низкая самооценка связана с депрессией, антиобщественным поведением, злоупотреблением психоактивными веществами и суицидом [21].

В последние годы все больше исследований посвящено изучению связи между социокультурными факторами и отношением подростков к собственному телу. Наиболее часто изучаемыми в контексте проблемы НСТ в данной возрастной группе являются факторы семьи, отношения со сверстниками и влияние средств массовой информации [3, 14].

Вышесказанное свидетельствует о важности изучения проблемы НСТ в подростковой когорте. При этом НСТ в выборке подростков с нормальной МТ представляет собой практически неизученный ее аспект. Биopsихосоциальный подход, подразумевающий интегральную оценку биологических, психологических и социокультурных факторов, представляется наиболее оправданным в такого рода исследованиях. Вместе с тем исследований, сосредоточенных на изучении проблемы НСТ среди подростков с нормальной МТ, которые составляют основную массу подросткового населения, немного, и мы не нашли публикаций по результатам исследований, проведенных в России.

С учетом всего вышесказанного целью настоящего исследования было установить частоту, выраженность, направленность НСТ, а также факторы, с ней ассоциированные, среди подростков с нормальной МТ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее исследование является фрагментом исследования «Психофизиологические и социально-демографические корреляты связанного со здоровьем качества жизни у подростков старшего школьного возраста», проведенного на базе Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (Иркутск) в 2017–2018 гг. Это было сплошное одновременное исследование, которое включало учащихся десятых классов из 14 общеобразовательных школ с территориальным охватом всех административных округов Иркутска.

Критерием включения было наличие информированного согласия подростка на участие в исследовании. Критерии исключения: наличие тяжелой соматической патологии; отказ подростка от продолжения участия в исследовании на любом его этапе; наличие избыточной МТ, ожирения или дефицита МТ.

В исследование было включено 244 подростка в возрасте  $16,1 \pm 0,4$  года, 87 (35,7 %) мальчиков и 157 (64,3 %) девочек. Группы подростков обоего пола не отличались по возрасту ( $p = 0,593$ ).

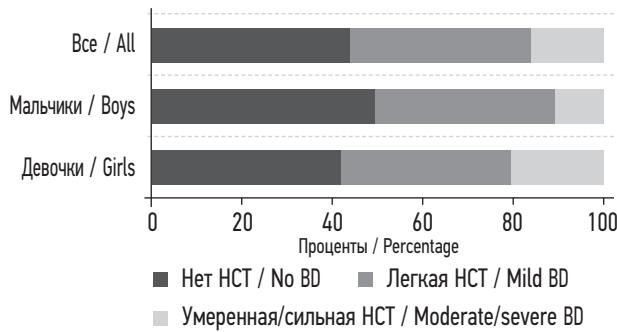
Для оценки удовлетворенности собственным телом использовали схемы силуэта детского тела, предложенные

J.K. Collins [12]. Они представляют собой семь расположенных в ряд силуэтов подростковых фигур соответствующего пола, которые различаются по степени упитанности от очень худых до очень полных. Каждому участнику было предложено указать, какой силуэт отвечает его представлениям об идеальном теле, а какой соответствует фактически воспринимаемому телу. Балл НСТ получали путем вычитания порядкового номера идеального размера тела из номера воспринимаемого размера тела. На основании абсолютных значений различий в баллах НСТ участники были разделены на группы: первая — удовлетворенные формой своего тела ( $|HCT| = 0$ ); вторая — испытывающие легкую НСТ ( $|HCT| = 1$ ); и третья — испытывающие умеренную/сильную НСТ ( $|HCT| > 1$ ). Положительные значения НСТ соответствовали желанию участника быть стройнее, отрицательные — стремлению набрать вес.

Для характеристики самооценки использовали опросник «Шкала самооценки» М. Розенберга, валидность и надежность русскоязычной версии которой была подтверждена ранее [2].

Для оценки связанного со здоровьем качества жизни (СЗКЖ) были использованы самоотчеты подростков, которые заполняли российскую версию опросника Paediatric Quality of Life Inventory (PedsQL 4.0, Lyon, Франция) для подростков 13–18 лет [5]. В данной выборке опросник показал приемлемую надежность (альфа Кронбаха для его подшкала был в диапазоне от 0,73 до 0,80).

Социально-демографические факторы и факторы образа жизни оценивали с использованием анкет, содержащих информацию о составе семьи, числе детей в семье, порядке рождения, возрасте, образовании, занятости родителей, месте проживания ребенка, наличии собственной комнаты, самооценке подростком жилищных условий. Была также получена информация о внеклассной активности подростка, количестве часов в будние и выходные дни, проведенных за просмотром телевизора, компьютерными играми и у экрана для других целей (социальные сети, поиск информации в Интернете); расстоянии до школы; времени пребывания на свежем воздухе в течение дня; времени, затрачиваемом на выполнение домашнего задания.



**Рис. 1.** Частота и степень неудовлетворенности собственным телом (НСТ) у подростков с нормальной массой тела

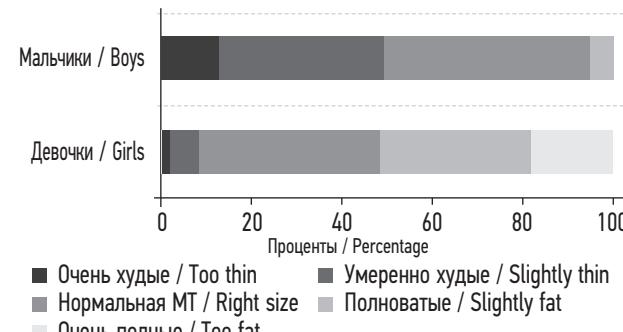
**Fig. 1.** Frequency and degree of body dissatisfaction (BD) in adolescents with normal body weight

Анализ данных проводили с использованием системы статистического анализа и визуализации данных R3.6.0 и интегрированной среды разработки RStudio. Проверку на соответствие распределения количественных данных нормальному закону проводили с помощью статистических критериев Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. В зависимости от характера распределения количественные показатели были представлены в виде медиан и значений 25-го и 75-го процентилей или в виде средних и среднеквадратичных отклонений. Количественные данные представлены в виде абсолютных и относительных значений. Различия между группами по количественным признакам оценивали с использованием критерия Краскела – Уоллиса при сравнении трех групп, с использованием критерия Манна – Уитни при попарном сравнении. При сравнении групп по номинальным признакам использовали критерий хи-квадрат. Для выявления факторов, связанных с умеренной/сильной НСТ, выполняли логистический регрессионный анализ. Наличие значимой связи между переменными определяли в тех случаях, когда 95 % доверительный интервал (ДИ), рассчитанный для полученного отношения шансов, не содержал единицу. За уровень статистической значимости принимали  $p < 0,05$  и при попарных сравнениях трех групп  $p < 0,017$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Силуэт, отличный от фактического, хотели иметь 139 (57 %) подростков — 93 (59,2 %) девочки и 46 (52,9 %) мальчиков. Легкую НСТ испытывали 97 (39,8 %) подростков, умеренную и сильную — 42 (17,2 %), без статистически значимых различий по полу (рис. 1).

Направленность желаемых изменений внешнего облика у мальчиков и девочек была противоположной ( $p < 0,001$ ). Мальчики значительно чаще, чем девочки, считали себя худыми и хотели набрать вес — 43 (49,4 %). Среди девочек хотели набрать вес только 12 (7,6 %) школьниц, тогда как 81 (51,6 %) хотела похудеть. При этом 30 (19,1 %) девочек считали, что им нужно быть намного стройнее, и 10 (11,5 %) мальчиков считали себя слишком худыми (рис. 2).



**Рис. 2.** Восприятие образа собственного тела у подростков обоего пола

**Fig. 2.** Comparison of body image perception by sex

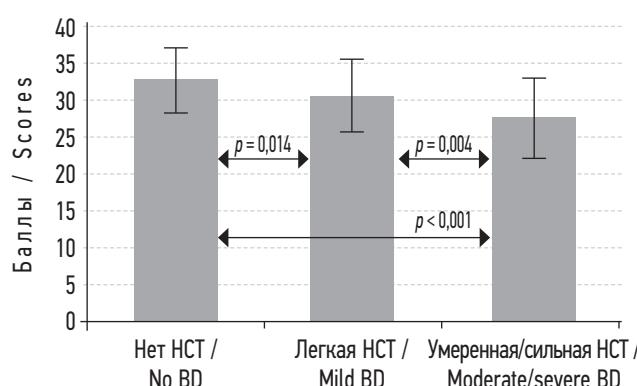
Для дальнейшего анализа были сформированы три группы, включавшие школьников, полностью удовлетворенных собственным телом, подростков с легкой НСТ и с умеренной/сильной НСТ. Данные группы не отличались по полу, возрасту, стадии полового созревания и антропометрическим параметрам. Не было также статистически значимых межгрупповых различий по социально-демографическим переменным. Различия близкие к значимым были получены для параметров проживания подростков в неполных семьях и занятий организованным спортом.

Значимые различия между группами были выявлены по длительности времени нахождения у телевизионных экранов и времени, проводимого в социальных сетях / Интернете (табл. 1). Следует заметить, что время, проводимое в соцсетях и Интернете школьниками с умеренной/сильной НСТ, было статистически значимо больше такового не только по сравнению со школьниками без НСТ ( $Z = 3,1, p = 0,002$  и  $Z = 3,4, p = 0,001$  — для будних и выходных дней соответственно), но и с легкой НСТ ( $Z = 2,7, p = 0,007$  и  $Z = 3,1, p = 0,002$  — для будних и выходных дней соответственно).

**Таблица 1.** Сравнительная характеристика групп подростков с разной степенью неудовлетворенности собственным телом

**Table 1.** Comparison of adolescents by the degree of body dissatisfaction

Переменные / Variables	n	Нет НСТ / No BD n = 105 (43 %)	n	Легкая НСТ / Mild BD n = 97 (39,8 %)	n	Умеренная/сильная НСТ / Moderate/severe BD n = 42 (17,2)	p
Мальчики / Boys, n (%)	105	41 (39)	97	36 (37,1)	42	10 (23,8)	0,203
Девочки / Girls, n (%)		64 (60,9)		61 (62,9)		32 (76,2)	
Возраст, лет / Age, years	105	16,1 ± 0,4	97	16,1 ± 0,4	42	15,9 ± 0,5	0,230
Неполная семья / Single-parent family, n (%)	102	27 (25,7)	96	27 (27,8)	42	19 (45,2)	0,069
Спортивные секции / Sports clubs, n (%)	104	44 (42,3)	97	32 (33)	42	10 (23,8)	0,087
Телевидение в будние дни / TV on weekdays							
<2 ч / <2 h, n (%)		57 (54,8)		47 (49,5)		19 (45,2)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	104	44 (42,3)	95	46 (48,4)	42	17 (40,5)	0,019
>5 ч / >5 h, n (%)		3 (2,9)		2 (2,1)		6 (14,3)	
Телевидение в выходные дни / TV on weekends							
<2 ч / <2 h, n (%)		45 (45)		27 (30)		12 (29,3)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	100	46 (46)	90	53 (58,9)	41	17 (41,5)	0,004
>5 ч / >5 h, n (%)		9 (9)		10 (11,1)		12 (29,3)	
Компьютерные игры в будние дни / Computer games on weekdays							
<2 ч / <2 h, n (%)		77 (73,3)		64 (66,7)		33 (78,6)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	105	25 (23,8)	96	28 (29,2)	42	8 (19,1)	0,670
>5 ч / >5 h, n (%)		3 (2,9)		4 (4,2)		1 (2,4)	
Компьютерные игры в выходные дни / Computer games on weekends							
<2 ч / <2 h, n (%)		72 (71,3)		60 (65,9)		30 (73,2)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	101	20 (19,8)	91	26 (28,6)	41	9 (21,9)	0,556
>5 ч / >5 h, n (%)		9 (8,9)		5 (5,5)		2 (4,9)	
Соцсети, Интернет в будние дни / Social networks, Internet on weekdays							
<2 ч / <2 h, n (%)		48 (45,7)		35 (36,5)		6 (14,3)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	105	49 (46,7)	96	52 (54,2)	42	24 (57,1)	0,0003
>5 ч / >5 h, n (%)		8 (7,6)		9 (9,4)		12 (28,6)	
Соцсети, Интернет в выходные дни / Social networks, Internet on weekends							
<2 ч / <2 h, n (%)		40 (39,6)		30 (33)		5 (12,2)	
>2, но <5 ч / >2 but <5 h, n (%)	101	44 (43,6)	91	46 (50,6)	41	19 (46,3)	0,002
>5 ч / >5 h, n (%)		17 (16,8)		15 (16,5)		17 (41,5)	



**Рис. 3.** Баллы самооценки у подростков без неудовлетворенности собственным телом (НСТ) и с разной степенью неудовлетворенности собственным телом (средние, среднеквадратичные отклонения)

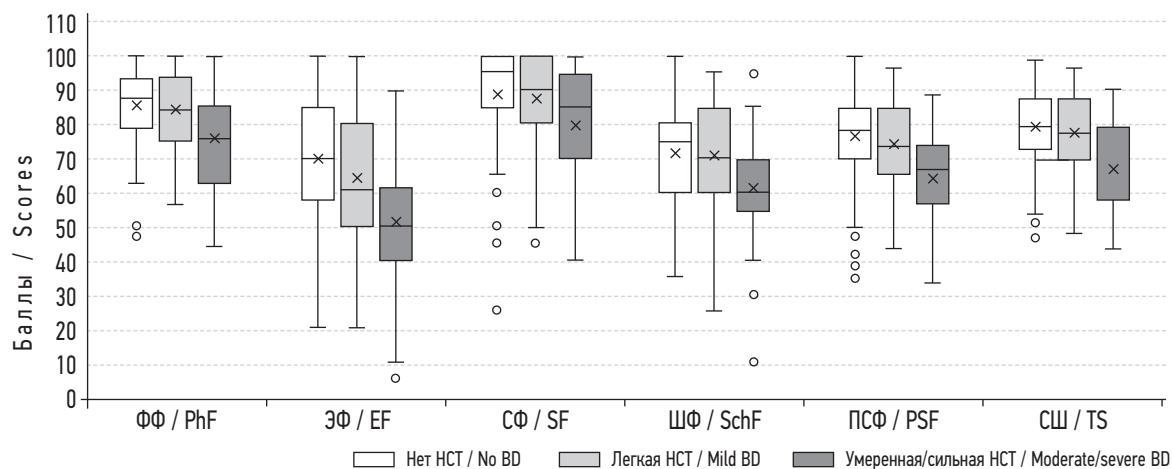
**Fig. 3.** Self-esteem scores in adolescents by body dissatisfaction (BD, means, standard deviations)

**Таблица 2.** Факторы, связанные с умеренной/сильной неудовлетворенностью собственным телом у подростков с нормальной массой тела

**Table 2.** Factors associated with moderate/severe body dissatisfaction in normal weight adolescents

Переменные / Variables	Однофакторный анализ / Univariate			Многофакторный анализ / Multivariate, $R^2 = 0,14$ , $n = 154$			Многофакторный анализ / Multivariate, $R^2 = 0,14$ , $n = 154$		
	ОШ / OR	95 % ДИ / 95 % CI	p	ОШ / OR	95 % ДИ / 95 % CI	p	ОШ / OR	95 % ДИ / 95 % CI	p
Неполная семья / Single-parent family	2,4	1,13–5,05	0,023	–	–	–	–	–	–
Спортивные секции / Sports clubs	0,4	0,19–0,96	0,039	–	–	–	–	–	–
Время у телевизора / TV time	1,4	1,09–1,68	0,006	–	–	–	1,4	1,1–1,74	0,005
Социальные сети / Интернет / Social networks/Internet	1,4	1,17–1,77	0,001	1,4	1,1–1,71	0,005	–	–	–
Самооценка / Self-esteem	–	–	–	0,4	0,25–0,72	0,001	0,4	0,22–0,62	0,000

Примечание. ОШ — отношение шансов; ДИ — доверительный интервал для ОШ. Note. OR — odds ratio; CI — confidence interval for OR.



**Рис. 4.** Связанное со здоровьем качество жизни у подростков без неудовлетворенности собственным телом (НСТ) и с разной степенью неудовлетворенности собственным телом (25-й и 75-й квартили, мин – макс). × — среднее арифметическое; «—» медианы; «○» — выбросы; ФФ — физическое функционирование; ЭФ — эмоциональное функционирование; СФ — социальное функционирование; ШФ — школьное функционирование; ПСФ — психосоциальное функционирование; СШ — суммарная шкала

**Fig. 4.** Health-related quality of life in adolescents by body dissatisfaction, BD (25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> quartiles, min–max). × — means; “—” — medians; “○” — outliers; PhF — physical functioning; EF — emotional functioning; SF — social functioning; SchF — school functioning; PSF — psychosocial functioning; TS — total scale

Большинство ( $n = 159$ ; 65,2 %) подростков в нашем исследовании имели высокую самооценку, низкую — 36 (14,7 %), среднюю — 62 (25,4 %). Самооценка подростков с умеренной/сильной НСТ была значительно ниже, чем у подростков двух других групп —  $Z = 2,9$ ,  $p = 0,004$  и  $Z = 4,7$ ,  $p = 0,000002$ , по сравнению с подростками без НСТ и с легкой НСТ соответственно. Самооценка подростков с легкой НСТ была ниже, чем у подростков без НСТ —  $Z = 2,5$ ,  $p = 0,014$  (рис. 3).

СЗЖ подростков с легкой НСТ было сопоставимым с таковым у подростков без НСТ, в то время как СЗЖ подростков с умеренной/сильной НСТ во всех доменах было значительно ниже такового у подростков двух других групп (рис. 4).

Следующим этапом было определение факторов, связанных с наличием умеренной/сильной НСТ у подростков. Результаты однофакторного регрессионного анализа приведены в табл. 2. В многомерных моделях значимую

связь с НСТ подтвердили только переменные экранного времени. Значимость этих ассоциаций сохранялась и при введении в модели переменной самооценки.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование было первым российским исследованием проблемы НСТ у подростков с нормальной МТ, основанным на принципах биopsихосоциального подхода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что более половины школьников со здоровым весом хотели бы иметь силуэт, отличный от того, в котором они себя ощущают. Вместе с тем предшествующие исследования также демонстрируют высокую распространенность НСТ не только среди подростков, но и среди взрослых людей, что привело к появлению термина «нормативная неудовлетворенность телом», который возводит данные переживания в категорию нормативно приемлемых для современного человека [7]. Однако в нашем исследовании 17,2 % участников имели умеренную/сильную НСТ, которую вряд ли можно объяснить «нормативным» недовольством.

В зарубежных исследованиях частота НСТ среди детей и подростков с нормальной МТ варьирует от 56 до 74 % [9, 18, 20]. Такие вариации могут быть связаны с разными возрастными диапазонами участников и выбранными диагностическими инструментами. Однако следует заметить, что частота умеренной/сильной НСТ в исследованиях, использующих для диагностики НСТ рисуночные шкалы, соответствует таковой в нашей выборке российских подростков и находится в диапазоне от 16 до 17,43 % [20, 22].

Другим важным результатом нашего исследования была сопоставимая частота и степень НСТ у российских школьников обоего пола. Это корреспондирует с результатами исследований, проведенных в США и Китае [20, 21], но в исследовании, выполненном в Японии, показано, что среди подростков со здоровым весом НСТ встречается чаще и сильнее проявляется у девочек [22].

В нашем исследовании профиль НСТ у мальчиков и девочек с нормальной МТ имел противоположную направленность: девочки хотели быть стройнее, в то время как мальчики стремились иметь более крупные силуэты. Эти результаты, впервые описанные в российской выборке, были ожидаемы и уже описывались зарубежными авторами [20, 24]. Наиболее логичным объяснением разнонаправленных векторов НСТ у мальчиков и девочек является влияние на подростков общепринятых идеалов красоты, ориентированных на женскую худобу и сильное, мускулистое, мужское тело. Это предположение находит подтверждение в том, что из всех поведенческих переменных, протестированных в нашем исследовании на предмет возможных ассоциаций с НСТ, значимую связь с ней показали время у экранов телевизора и время, затрачиваемое на просмотр интернет-страниц и общение в социальных сетях.

Предшествующие исследования показали, что как традиционные (телеvidение), так и более современные (социальные сети) медиаресурсы являются важными источниками социокультурного давления, пагубно воздействующими на восприятие образа собственного тела и способствующими формированию НСТ [17, 23]. Это давление усиливается нереалистичностью транслируемых СМИ «идеальных» тел. Кроме того, социальные сети, интернет-сайты предоставляют подросткам возможности для сравнения своей внешности с внешностью других людей. Неблагоприятное социальное сравнение также повышает вероятность НСТ.

Результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что даже легкая НСТ у подростков сопряжена со значительным снижением самооценки. Это было также продемонстрировано в выборке девочек 12–15 лет в школах Москвы, Санкт-Петербурга и Сочи [6]. Полученные результаты позволяют высказать предположение, что связь между образом тела и самооценкой с наибольшей вероятностью объясняется не действительными размерами силуэта, а влиянием субъективных и психологических факторов, как то несоответствие фактического тела имеющимся у подростка представлениям об идеальном теле, а также результатами сравнения своего тела с «идеальными» телами, демонстрируемыми в соцсетях и по телевидению. В качестве звена, связывающего время у телевизора, в социальных сетях и Интернете, с НСТ может также выступать онлайн-виктимизация [23]. Кибербуллинг — нередкое явление в подростковой среде и, кроме проблем с самооценкой, может приводить к возникновению депрессии, тревоги и нарушений образа тела [19]. Следует, однако, подчеркнуть, что связь между НСТ и экранным временем у подростков в нашей выборке сохраняла свою значимость и после учета переменной самооценки, то есть имела самостоятельный характер. Это говорит о том, что медийный прессинг оказывает влияние на восприятие собственного тела не только у подростков со сниженной самооценкой.

СЗЖ является важной психосоциальной переменной, характеризующей самооценку физического, эмоционального и социального благополучия. Показанная в нашем исследовании связь между умеренной/сильной НСТ и ухудшением всех аспектов СЗЖ свидетельствует о наличии выраженного дистресса, затрагивающего как физическое, так и психоэмоциональное функционирование подростка. Учитывая то, что у подростков с нормальной МТ отсутствуют объективные предпосылки для возникновения НСТ, ее можно рассматривать как одно из проявлений низкой самооценки. В исследовании девушек-подростков было показано, что участницы с высокой самооценкой обычно не усваивают социокультурный идеал худобы, что снижает вероятность возникновения НСТ [8]. И наоборот, подростки с низкой самооценкой более склонны воспринимать медийные образцы идеальных тел, что негативно сказывается на восприятии собственного тела [15].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показали, что распространенность НСТ у школьников с нормальной МТ обоего пола высока, что требует проведения хорошо спланированных исследований данной проблемы на репрезентативных выборках, включающих как девочек, так и мальчиков. Результаты таких исследований помогут выработать согласованный подход к проблеме. НСТ у подростков связана с низкой самооценкой и худшим качеством жизни, что позволяет рассматривать ее как маркер нарушенного психологического благополучия. Активное выявление НСТ при помощи простых диагностических инструментов может помочь сформировать группы риска для последующей углубленной оценки. Показанная в данном исследовании независимая связь НСТ со временем, проводимым подростками у телевизора и в социальных сетях / Интернете, может быть обоснованием для организации в школах мероприятий, направленных на обсуждение аспектов, связанных с телом, в том числе формирование правильного отношения к собственному телу, разъяснение нереалистичности образов тела, транслируемых СМИ, и пагубных последствий НСТ для психологического здоровья.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерохина Е.А., Филиппова Е.В. Образ тела и отношение к своему телу у подростков: семейные и социокультурные факторы влияния (по материалам зарубежных исследований) // Современная зарубежная психология. 2019. Т. 8, № 4. С. 57–68. EDN: KYICJF doi: 10.17759/jmfp.2019080406
2. Золотарева А.А. Валидность и надежность русскоязычной версии шкалы самооценки М. Розенберга // Вестник Омского университета. Серия «Психология». 2020. № 2. С. 52–57. EDN: UAKGXS doi: 10.24147/2410-6364.2020.2.52-57
3. Келина М.Ю., Маренова Е.В., Мешкова Т.А. Неудовлетворенность телом и влияние родителей и сверстников как факторы риска нарушений пищевого поведения среди девушек подросткового и юношеского возраста // Психологическая наука и образование. 2011. Т. 16, № 5. С. 44–51. EDN: OYBGHR
4. Кирюхина Н.А., Польская Н.А. Эмоциональная дисрегуляция и неудовлетворенность телом в женской популяции // Клиническая и специальная психология. 2021. Т. 10, № 3. С. 126–147. EDN: YHQTI doi: 10.17759/cpse.2021100308
5. Никитина Т.П. Разработка и оценка свойств PedsQL для исследования качества жизни детей 8–18 лет: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2005. 127 с. EDN: NQCBLL
6. Резник А.Д., Карнацкая Л.А. Возможности экспресс-диагностики неудовлетворенности телом у девочек-подростков //
7. Фаустова А.Г., Яковleva Н.В. Проблемы дефиниции и изменения нормативной неудовлетворенности телом в клинической психологии // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. 2017. Т. 5, № 3(18). С. 359–380. EDN: ZGWJT doi: 10.23888/humJ20173359-380
8. Caqueo-Urízar A., Ferrer-García M., Toro J., et al. Associations between sociocultural pressures to be thin, body distress, and eating disorder symptomatology among chilean adolescent girls // Body Image. 2011. Vol. 8, N. 1. P. 78–81. doi: 10.1016/j.bodyim.2010.11.004
9. Carvalho G.X., Nunes A.P.N., Moraes C.L., Veiga G.V.D. Body image dissatisfaction and associated factors in adolescents // Cien Saude Colet. 2020. Vol. 25, N. 7. P. 2769–2782. doi: 10.1590/1413-81232020257.27452018
10. Claumann G.S., Pinto A de A., Silva D.A.S., Pelegrini A. Prevalence of suicidal thoughts and behaviors and its association with body dissatisfaction in adolescents // J Bras Psiquiatr. 2018. Vol. 67, N. 1. P. 3–9. doi: 10.1590/0047-2085000000177
11. Cohn L. Introduction to the special issue on males with eating disorders // Eat Disord. 2012. Vol. 20, N. 5. P. 345. doi: 10.1080/10640266.2012.715511

**Источник финансирования.** Статья подготовлена в рамках выполнения государственной бюджетной темы НИР 0416-2021-001 «Ключевые закономерности и механизмы формирования нарушений здоровья детей и подростков как основа персонализированного подхода к диагностике, лечению и профилактике в современной педиатрии».

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Этическое утверждение.** Все участники добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** The article has been prepared within the framework of the state budgetary theme of Research work 0416-2021-001 "Key regularities and mechanisms of formation of health disorders in children and adolescents as a basis for a personalized approach to diagnosis, treatment and prevention in modern pediatrics".

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethical approval.** All participants voluntarily signed an informed consent form prior to inclusion in the study.

Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья. 2021. Т. 1. С. 39–50. EDN: SHIHUU

7. Фаустова А.Г., Яковлева Н.В. Проблемы дефиниции и изменения нормативной неудовлетворенности телом в клинической психологии // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие. 2017. Т. 5, № 3(18). С. 359–380. EDN: ZGWJT doi: 10.23888/humJ20173359-380

8. Caqueo-Urízar A., Ferrer-García M., Toro J., et al. Associations between sociocultural pressures to be thin, body distress, and eating disorder symptomatology among chilean adolescent girls // Body Image. 2011. Vol. 8, N. 1. P. 78–81. doi: 10.1016/j.bodyim.2010.11.004

9. Carvalho G.X., Nunes A.P.N., Moraes C.L., Veiga G.V.D. Body image dissatisfaction and associated factors in adolescents // Cien Saude Colet. 2020. Vol. 25, N. 7. P. 2769–2782. doi: 10.1590/1413-81232020257.27452018

10. Claumann G.S., Pinto A de A., Silva D.A.S., Pelegrini A. Prevalence of suicidal thoughts and behaviors and its association with body dissatisfaction in adolescents // J Bras Psiquiatr. 2018. Vol. 67, N. 1. P. 3–9. doi: 10.1590/0047-2085000000177

11. Cohn L. Introduction to the special issue on males with eating disorders // Eat Disord. 2012. Vol. 20, N. 5. P. 345. doi: 10.1080/10640266.2012.715511

- 12.** Collins M.E. Body figure perceptions and preferences among pre-adolescent children // *Int J Eat Disord.* 1991. Vol. 10, N. 2. 199–208. doi: 10.1002/1098-108x(199103)10:2<199::aid-eat2260100209>3.0.co;2-d
- 13.** Fortes L. de S., Cipriani F.M., Coelho F.D., et al. Does self-esteem affect body dissatisfaction levels in female adolescents? // *Rev Paul Pediatr.* 2014. Vol. 32, N. 3. P. 236–240. doi: 10.1590/0103-0582201432314
- 14.** Finne E., Bucksch J., Lampert T., Kolip P. Physical activity and screen-based media use: cross-sectional associations with health-related quality of life and the role of body satisfaction in a representative sample of German adolescents // *Health Psychol Behav Med.* 2013. Vol. 1, N. 1. P. 15–30. doi: 10.1080/21642850.2013.809313
- 15.** Flament M.F., Hill E.M., Buchholz A., et al. Internalization of the thin and muscular body ideal and disordered eating in adolescence: the mediation effects of body esteem // *Body Image.* 2012. Vol. 9, N. 1. P. 68–75. doi: 10.1016/j.bodyim.2011.07.007
- 16.** Griffiths S., Murray S.B., Bentley C., et al. Sex differences in quality of life impairment associated with body dissatisfaction in adolescents // *J Adolesc Health.* 2017. Vol. 61, N. 1. P. 77–82. doi: 10.1016/j.jadohealth.2017.01.016
- 17.** Kelly Y., Zilanawala A., Booker C., Sacker A. Social media use and adolescent mental health: Findings from the UK Millennium Cohort Study // *EClinicalMedicine.* 2019. Vol. 6. P. 59–68. doi: 10.1016/j.eclinm.2018.12.005
- 18.** Kim W.K., Chung W.C., Oh D.J. The relationship between body shape perception and health behaviors among Korean normal-weight adolescents using Korea Youth Risk Behavior Web-based Survey // *J Exerc Rehabil.* 2019. Vol. 15, N. 6. P. 793–803. doi: 10.12965/jer.1938535.266
- 19.** Landoll R.R., Greca L.A., Lai B.S., et al. Cyber victimization by peers: Prospective associations with adolescent social anxiety and depressive symptoms // *J Adolesc.* 2015. Vol. 42. P. 77–86. doi: 10.1016/j.adolescence.2015.04.002
- 20.** Liu W., Lin R., Guo C., et al. Prevalence of body dissatisfaction and its effects on health-related quality of life among primary school students in Guangzhou, China // *BMC Public Health.* 2019. Vol. 19, N. 1. P. 213. doi: 10.1186/s12889-019-6519-5
- 21.** McClure A.C., Tanski S.E., Kingsbury J., et al. Characteristics associated with low self-esteem among US adolescents // *Acad Pediatr.* 2010. Vol. 10, N. 4. P. 238–244.e2. doi: 10.1016/j.acap.2010.03.007
- 22.** Nomura K., Itakura Y., Minamizono S., et al. The association of body image self-discrepancy with female gender, calorie-restricted diet, and psychological symptoms among healthy junior high school students in Japan // *Front Psychol.* 2021. Vol. 12. P. 576089. doi: 10.3389/fpsyg.2021.576089
- 23.** Sampasa-Kanyinga H., Hamilton H.A. Social networking sites and mental health problems in adolescents: the mediating role of cyberbullying victimization // *Eur Psychiatry.* 2015. Vol. 30. P. 1021–1027. doi: 10.1016/j.eurpsy.2015.09.011
- 24.** Soares Filho L.C., Batista R.F.L., Cardoso V.C., et al. Body image dissatisfaction and symptoms of depression disorder in adolescents // *Braz J Med Biol Res.* 2020. Vol. 54, N. 1. P. e10397. doi: 10.1590/1414-431X202010397

## REFERENCES

1. Erokhina EA, Filippova EV. Body image and attitude to one's body in adolescent: family and sociocultural factors (based on foreign researches). *Journal of Modern Foreign Psychology.* 2019;8(4):57–68. doi: 10.17759/jmfp.2019080406
2. Zolotareva AA. Validity and reliability of the Russian version of the Rosenberg self-esteem scale. *Herald of Omsk University. Series: Psychology.* 2020;(2):52–57. EDN: UAKGX. doi: 10.24147/2410-6364.2020.2.52-57
3. Kelina MYu, Marenova EV, Meshkova TA. Body dissatisfaction and influence of parents and peers as risk factors for eating disorders among girls of adolescent and young age. *Psychological Science and Education.* 2011;16(5):44–51. EDN: OYBGHR
4. Kiriukhina NA, Polskaya NA. Emotion dysregulation and body dissatisfaction in female population. *Clinical Psychology and Special Education.* 2021;10(3):126–147. EDN: YHYQTI doi: 10.17759/cpse.2021100308
5. Nikitina TP. Development and evaluation of the properties of PedsQL for the study of the quality of life of children 8–18 years old [Dissertation]. Moscow, 2005. 127 p. (In Russ.) EDN: NQCBLL
6. Reznik AD, Karnackaja LA. The possibility of rapid assessment the body dissatisfaction among adolescents girls. *Problems of School and University Medicine and Health.* 2021;(1):39–50. (In Russ.)
7. Faustova AG, Jakovleva NV. The problems of definition and measurement of normative dissatisfaction with a body in clinical psychology. *Personality in a Changing World: Health, Adaptation, Development.* 2017;5(3(18)):359–380. EDN: ZGWJIT doi: 10.23888/humJ20173359-380
8. Caqueo-Urízar A, Ferrer-García M, Toro J, et al. Associations between sociocultural pressures to be thin, body distress, and eating disorder symptomatology among Chilean adolescent girls. *Body Image.* 2011;8(1):78–81. doi: 10.1016/j.bodyim.2010.11.004
9. Carvalho GX, Nunes APN, Moraes CL, Veiga GVD. Body image dissatisfaction and associated factors in adolescents. *Cien Saude Colet.* 2020;25(7):2769–2782. doi: 10.1590/1413-81232020257.27452018
10. Claumann GS, de Araújo Pinto A, Santos Silva DA, Pelegrini A. Prevalence of suicidal thoughts and behaviors and its association with body dissatisfaction in adolescents. *J Bras Psiquiatr.* 2018;67(1):3–9. doi: 10.1590/0047-2085000000177
11. Cohn L. Introduction to the special issue on males with eating disorders. *Eat Disord.* 2012;20(5):345. doi: 10.1080/10640266.2012.715511
12. Collins ME. Body figure perceptions and preferences among preadolescent children. *Int J Eat Disord.* 1991;10(2):199–208. doi: 10.1002/1098-108x(199103)10:2<199::aid-eat2260100209>3.0.co;2-d
13. Fortes L. de S., Cipriani FM, Coelho FD, et al. Does self-esteem affect body dissatisfaction levels in female adolescents? *Rev Paul Pediatr.* 2014;32(3):236–240. doi: 10.1590/0103-0582201432314
14. Finne E., Bucksch J., Lampert T., Kolip P. Physical activity and screen-based media use: cross-sectional associations with health-related quality of life and the role of body satisfaction in a representative sample of German adolescents. *Health Psychol Behav Med.* 2013;1(1):15–30. doi: 10.1080/21642850.2013.809313
15. Flament MF, Hill EM, Buchholz A, et al. Internalization of the thin and muscular body ideal and disordered eating in adolescence: the mediation effects of body esteem. *Body Image.* 2012;9(1):68–75. doi: 10.1016/j.bodyim.2011.07.007

- 16.** Griffiths S, Murray SB, Bentley C, et al. Sex differences in quality of life impairment associated with body dissatisfaction in adolescents. *J Adolesc Health.* 2017;61(1):77–82. doi: 10.1016/j.jadohealth.2017.01.016
- 17.** Kelly Y, Zilawala A, Booker C, Sacker A. Social media use and adolescent mental health: Findings from the UK Millennium Cohort Study. *EClinicalMedicine.* 2019;6:59–68. doi: 10.1016/j.eclinm.2018.12.005
- 18.** Kim WK, Chung WC, Oh DJ. The relationship between body shape perception and health behaviors among Korean normal-weight adolescents using Korea Youth Risk Behavior Web-Based Survey. *J Exerc Rehabil.* 2019;15(6):793–803. doi: 10.12965/jer.1938535.266
- 19.** Landoll RR, Greca LA, Lai BS, et al. Cyber victimization by peers: Prospective associations with adolescent social anxiety and depressive symptoms. *J Adolesc.* 2015;42:77–86. doi: 10.1016/j.adolescence.2015.04.002
- 20.** Liu W, Lin R, Guo C, et al. Prevalence of body dissatisfaction and its effects on health-related quality of life among primary school students in Guangzhou, China. *BMC Public Health.* 2019;19(1):213. doi: 10.1186/s12889-019-6519-5
- 21.** McClure AC, Tanski SE, Kingsbury J, et al. Characteristics associated with low self-esteem among US adolescents. *Acad Pediatr.* 2010;10(4):238–244.e2. doi: 10.1016/j.acap.2010.03.007
- 22.** Nomura K, Itakura Y, Minamizono S, et al. The association of body image self-discrepancy with female gender, calorie-restricted diet, and psychological symptoms among healthy junior high school students in Japan. *Front Psychol.* 2021;12:576089. doi: 10.3389/fpsyg.2021.576089
- 23.** Sampasa-Kanya H, Hamilton HA. Social networking sites and mental health problems in adolescents: the mediating role of cyberbullying victimization. *Eur Psychiatry.* 2015;30:1021–1027. doi: 10.1016/j.eurpsy.2015.09.011
- 24.** Soares Filho LC, Batista RFL, Cardoso VC, et al. Body image dissatisfaction and symptoms of depression disorder in adolescents. *Braz J Med Biol Res.* 2020;54(1):e10397. doi: 10.1590/1414-431X202010397

## ОБ АВТОРАХ

\***Анна Валерьевна Погодина**, д-р мед. наук, главный научный сотрудник, отдел педиатрии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»; адрес: Россия, 664003, Иркутск, ул. Тимирязева, д. 16; ORCID: 0000-0001-8533-3119; eLibrary SPIN: 6059-0340; e-mail: pogodina\_av@inbox.ru

**Татьяна Александровна Астахова**, канд. мед. наук, научный сотрудник, отдел педиатрии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия; ORCID: 0000-0003-1427-4734; eLibrary SPIN: 3596-8613; e-mail: tatjana\_astahova@mail.ru

**Людмила Николаевна Лебедева**, лаборант-исследователь, отдел педиатрии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия; ORCID: 0000-0002-7289-6024; eLibrary SPIN: 8326-8481; e-mail: leb\_46@mail.ru

**Любовь Владимировна Рычкова**, д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор, отдел педиатрии, ФГБНУ «Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека», Иркутск, Россия; ORCID: 0000-0002-0117-2563; eLibrary SPIN: 1369-6575; e-mail: clinica\_zam@inbox.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

\***Anna V. Pogodina**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Project Leader, Pediatrics Department, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems; address: 16 Timiryazeva str., Irkutsk, 664003, Russia; ORCID: 0000-0001-8533-3119; eLibrary SPIN: 6059-0340; e-mail: pogodina\_av@inbox.ru

**Tatyana A. Astakhova**, MD, PhD, Researcher, Pediatrics Department, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia; ORCID: 0000-0003-1427-4734; eLibrary SPIN: 3596-8613; e-mail: tatjana\_astahova@mail.ru

**Ludmila N. Lebedeva**, Research Assistant, Pediatrics Department, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia; ORCID: 0000-0002-7289-6024; eLibrary SPIN: 8326-8481; e-mail: leb\_46@mail.ru

**Lyubov V. Rychkova**, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Corresponding Member of the RAS, Director, Pediatrics Department, Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russia; ORCID: 0000-0002-0117-2563; eLibrary SPIN: 1369-6575; e-mail: clinica\_zam@inbox.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED151101-108>

Оригинальное исследование

# Суицидальный риск у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости

**И.А. Горьковая, В.И. Рождественский, В.В. Титова**

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности программ профилактики суицидального риска у подростков на фоне роста числа суицидов. По данным современных исследований именно жизнестойкость является важнейшим ресурсом личности подростка, снижающим риск совершения суицида.

**Цель исследования** — изучение показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 63 подростка 14–17 лет. Исследование проводилось при помощи теста жизнестойкости в модификации Е.Н. Осина и Е.И. Рассказовой и опросника суицидального риска А.Г. Шмелева в адаптации Т.Н. Разуваевой.

**Результаты.** Низкий и средний уровни жизнестойкости распределились практически поровну, за исключением 8 % подростков с высоким уровнем. Выявлена отрицательная связь компонента жизнестойкости «Вовлеченность» с показателем суицидального риска «Аффективность» ( $p < 0,05$ ) при низком уровне жизнестойкости и показателем «Несостоятельность» ( $p < 0,01$ ) при среднем уровне. При низком уровне жизнестойкости обнаружена взаимосвязь между компонентом «Контроль» и показателем суицидального риска «Максимализм» ( $p < 0,05$ ). Компонент «Принятие риска» не коррелирует ни с одним из показателей суицидального риска. У подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости суицидальный риск во многом обусловлен внешними причинами, тогда как со средним уровнем жизнестойкости суицидальный риск во многом определяется внутренними причинами.

**Выводы.** Полученные данные позволяют выделить в качестве мишени психологической коррекции для снижения суицидального риска у подростков с девиантным поведением повышение вовлеченности в жизненные события с их контролем и формированием уверенности в собственных силах при низком уровне жизнестойкости, формирование запрета любых форм суицидального поведения при среднем уровне жизнестойкости, повышение активности вне зависимости от уровня жизнестойкости.

**Ключевые слова:** подростки с девиантным поведением; низкий уровень жизнестойкости; средний уровень жизнестойкости; суицидальный риск.

## Как цитировать

Горьковая И.А., Рождественский В.И., Титова В.В. Суицидальный риск у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости // Педиатр. 2024. Т. 15. № 1. С. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED151101-108>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED151101-108>

Research Article

# Suicide risk in adolescents with deviant behavior and different hardness levels

Irina A. Gorkovaya, Vladimir I. Rozhdestvenskiy, Vlada V. Titova

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The paper discusses the role of hardness in adolescents with deviant behavior as a personal resource in coping with the challenges of the modern world and its contribution to the prevention of suicide risk in the situation of the increasing prevalence of suicide in adolescence.

**AIM:** The aim is to study the indicators of suicide risk in adolescents with deviant behavior and different hardness levels.

**MATERIALS AND METHODS:** The study involved 63 adolescents aged 14–17 years. The study was carried out using the Hardiness Survey by E.N. Osin and E.I. Rasskazova; A Suicide Risk Questionnaire modified by T.N. Razuvaeva.

**RESULTS:** Low and medium hardness levels were distributed almost equally, with the exception of 8% of adolescents with high hardness level. The component of hardness "Commitment" has a negative association with the indicator of suicidal risk "Affectivity" ( $p < 0,05$ ) at low hardness level and with "Failure" ( $p < 0,01$ ) at medium hardness level. The component of hardness "Control" is also correlated with the indicator of suicidal risk "Maximalism" ( $p < 0,05$ ) at low hardness level. There was found no associations between the component of hardness "Challenge" and the indicators of suicide risk. In adolescents with deviant behavior the suicide risk greatly determined by external reasons at low hardness level and by internal reasons at medium hardness level.

**CONCLUSIONS:** These findings allow to identify the following targets of psychological correction to reduce suicidal risk in adolescents with deviant behavior: increasing commitment in life events with their control and the formation of self-confidence at low hardness level, formation of a ban of any form of suicidal behavior at medium hardness level, increasing activity regardless of hardness level.

**Keywords:** adolescents with deviant behavior; low hardness level; medium hardness level; suicide risk.

## To cite this article

Gorkovaya IA, Rozhdestvenskiy VI, Titova VW. Suicide risk in adolescents with deviant behavior and different hardness levels. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2024;15(1):101–108. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED151101-108>

Received: 26.12.2023

Accepted: 18.01.2024

Published: 29.02.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В последние годы регистрируется увеличение количества суицидов, которые занимают третье место среди причин смерти несовершеннолетних старшего подросткового возраста. Сделано предположение о возможно большей распространенности подростковых суицидов за счет их регистрации как несчастные случаи [2]. Актуальность рассматриваемой проблемы доказывается в ряде исследований. Так, при обследовании 451 учащегося 6–9 классов общеобразовательных школ с нормативным поведением обнаружился факт наличия высокой склонности к суицидальному поведению, «у более трети респондентов выявлен высокий уровень антивитальных переживаний, ощущение потери смысла жизни, обесценивание значимости собственной личности, неблагополучие во взаимоотношениях с ближайшим окружением» [8].

В последние годы разрабатываются программы немедицинского профиля превенции суицидального поведения. Эффективность предложенных программ также является объектом научного анализа. Несмотря на довольно многочисленные разработки программ превенции суицидальности у подростков, распространенность суицидального риска не снижается. Так, при анализе 15 апробированных русскоязычных программ превенции отмечается, что 13 из них направлены на психокоррекционную работу с подростками с целью повышения стрессоустойчивости, навыков саморегуляции, повышения самооценки и т. д., в ряде случаев с привлечением близких к ним взрослых [13]. В другом теоретическом обзоре для изучения отобраны так же 13 программ, в которые входят, в том числе, занятия с родителями подростков и их учителями [4, 5]. В результате анализа авторы пришли к выводу о низкой эффективности информирования окружающих подростка взрослых как фактора превенции подростковых суицидов.

В связи с этим идет поиск детерминант, определяющих степень суицидального риска у подростков. Представляется целесообразным обратиться к феномену «жизнестойкости» как личностному ресурсу, связанному с адаптационным потенциалом, совладающим поведением.

Ряд авторов на основании эмпирических обследований подростков констатировали факт обратной связи между жизнестойкостью и суицидальным риском у подростков [1, 15]; чем ниже жизнестойкость и показатель вовлеченности, тем больше склонность к девиантному поведению [10]; отсутствие гендерных различий по показателям жизнестойкости с более высоким суицидальным риском у девочек [14]; средний уровень жизнестойкости выявляется у половины подростков мужского и женского пола с нормативным поведением со средним и высоким уровнем суицидального риска у каждого четвертого из них [3], может служить основой для снижения суицидального риска [16]. В другом эмпирическом исследовании при

обследовании 90 подростков 15–18 лет, учащихся в учреждении среднего профессионального образования, выявлен низкий уровень жизнестойкости с высоким суицидальным риском в нестандартных ситуациях у 31 % подростков, наряду с этим высокий уровень жизнестойкости у 56 % из них; компоненты жизнестойкости имеют связи отрицательные с депрессией и положительные с активностью, стрессоустойчивостью [6]. Интересные результаты получены в ходе другого исследования, где средний уровень жизнестойкости у суицидентов, у лиц с тяжелыми соматическими заболеваниями и соматически здоровых встречается практически у каждого второго респондента, тогда как высокий уровень жизнестойкости наблюдается у половины соматически больных и здоровых респондентов и только у 10 % суицидентов и, соответственно, у 40 % из них низкий уровень жизнестойкости [7], суицидальное поведение в анамнезе можно соотнести по негативному воздействию на жизнестойкость и стрессоустойчивость подростков из неблагополучных семей [9].

Таким образом, анализ научных публикаций свидетельствует о том, что жизнестойкость несомненно влияет на риск суицидального поведения, но эмпирических исследований показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением с учетом показателей и уровней жизнестойкости явно недостаточно.

*Цель исследования — изучение показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости.*

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 63 подростка 14–17 лет с опытом употребления психоактивных веществ, мелких краж, актов вандальства, прогулов уроков в школе и т. д. Исследование проводилось при помощи краткой версии теста жизнестойкости в модификации Е.Н. Осина и Е.И. Рассказовой [11]. По результатам методики сформированы две группы: 1-я группа — 28 (44 %) подростков с низким уровнем жизнестойкости и 30 (48 %) подростков со средним уровнем жизнестойкости; 5 (8 %) — подростков с высоким уровнем жизнестойкости были исключены из исследования. Суицидальный риск исследовался с помощью опросника суицидального риска А.Г. Шмелева в адаптации Т.Н. Разуваевой [12]. Для статистической обработки результатов исследования применяли программный пакет SPSS, с помощью которого рассчитывали описательные статистики ( $M \pm S$ ),  $U$ -критерий Манна – Уитни, а также осуществляли корреляционный анализ (коэффициент Спирмена,  $r$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования компонентов жизнестойкости у подростков с девиантным поведением с низким/средним уровнем жизнестойкости представлены в табл. 1.

Полученные результаты констатируют факт статистически значимого снижения выраженности всех компонентов жизнестойкости у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости по сравнению с подростками с девиантным поведением при среднем уровне.

Результаты исследования показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением с низким/средним уровнем жизнестойкости представлены в табл. 2.

Все показатели суицидального риска более выражены у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости по сравнению с подростками со средним уровнем. При этом более высокие значения на статистически значимом уровне обнаружены по таким показателям суицидального риска, как «的独特性»,

«несостоительность» и с наибольшей разницей «временная перспектива». Результаты корреляционного анализа проиллюстрированы в табл. 3.

Такие компоненты жизнестойкости, как «Вовлеченность» и «Контроль» связаны всего с тремя из девяти показателей суицидального риска (табл. 3). Компонент «Принятие» не имеет статистически значимых связей ни с одним из показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением вне зависимости от уровня жизнестойкости. В результате проведения корреляционного анализа обнаружен интересный факт связи на уровне между показателями суицидального риска «Демонстративность», «Аффективность», «Уникальность», «Несостоительность», «Временная перспектива» как при низком, так и при среднем уровне жизнестойкости у подростков с девиантным поведением. Выявлено также, что

**Таблица 1.** Описательные статистики компонентов жизнестойкости у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости

**Table 1.** Descriptive statistics of components of hardiness in adolescents with deviant behavior and different hardiness levels

Компоненты / Components	Низкий уровень жизнестойкости / Low hardiness level ( $M \pm S$ )	Средний уровень жизнестойкости / Medium hardiness level ( $M \pm S$ )	U-критерий Манна – Уитни / Mann–Whitney U-test
Вовлеченность / Commitment	$14,03 \pm 3,78$	$21,03 \pm 3,03$	0,000***
Контроль / Control	$11,14 \pm 3,42$	$17,00 \pm 2,47$	0,000***
Принятие риска / Challenge	$6,71 \pm 2,52$	$11,70 \pm 3,01$	0,000***

Примечание / Note. \*\*\* $p < 0,001$ .

**Таблица 2.** Описательные статистики суицидального риска у подростков с девиантным поведением с разным уровнем жизнестойкости

**Table 2.** Descriptive statistics of suicide risk in adolescents with deviant behavior and different hardiness levels

Параметры / Indicators	Низкий уровень жизнестойкости / Low hardiness level ( $M \pm S$ )	Средний уровень жизнестойкости / Medium hardiness level ( $M \pm S$ )	U-критерий Манна – Уитни / Mann–Whitney U-test
Демонстративность / Demonstrativeness	$2,48 \pm 1,45$	$2,12 \pm 1,24$	0,324
Аффективность / Affectivity	$3,61 \pm 1,89$	$2,97 \pm 1,71$	0,155
Уникальность / Uniqueness	$2,31 \pm 1,49$	$1,48 \pm 1,46$	0,043*
Несостоительность / Failure	$3,85 \pm 1,93$	$2,50 \pm 1,90$	0,010**
Социальный пессимизм / Social pessimism	$3,25 \pm 1,32$	$2,76 \pm 1,27$	0,145
Слом культурных барьеров / Breaking down cultural barriers	$2,46 \pm 1,76$	$2,22 \pm 1,53$	0,484
Максимализм / Maximalism	$2,05 \pm 1,98$	$1,92 \pm 2,15$	0,716
Временная перспектива / Time perspective	$2,98 \pm 1,43$	$1,43 \pm 1,32$	0,000***
Антисуицидальный фактор / Antisuicidal factor	$3,77 \pm 2,47$	$4,58 \pm 2,32$	0,186

Примечание / Note. \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .

**Таблица 3.** Взаимосвязи компонентов жизнестойкости и показателей суицидального риска у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости,  $r_s$ **Table 3.** Correlation between components of hardiness and indicators of suicide risk in adolescents with deviant behavior and low hardiness level,  $r_s$ 

Шкала / Factor	Низкий уровень жизнестойкости / Low hardiness level		Средний уровень жизнестойкости / Medium hardiness level
	Показатель суицидального риска / Indicators of suicide risk		
	аффективность / affectivity	максимализм / maximalism	несостоительность / failure
Вовлеченность / Commitment	-0,424*	0,030	-0,545**
Контроль / Control	-0,211	-0,447*	-0,086
Принятие риска / Challenge	0,101	0,335	0,143

Примечание / Note. \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ .

показатели суицидального риска «Слом культурных барьеров» при низком уровне жизнестойкости и «Антисуицидальный фактор» при среднем уровне жизнестойкости не коррелируют ни с одним из рассматриваемых показателей.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленная более низкая выраженность всех компонентов жизнестойкости при ее низком уровне у подростков с девиантным поведением свидетельствует о неуверенности в себе, чувстве «отверженности» сверстниками и близкого круга взрослых, чувстве незащищенности от воздействий внешнего мира и невозможности контроля за событиями в своей жизни с беспомощностью в решении возникающих проблем. Совокупность низких значений компонента жизнестойкости «Принятие риска» ( $p < 0,001$ ) и высоких значений показателя суицидального риска «Временная перспектива» ( $p < 0,001$ ) указывает на пассивную жизненную позицию у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости по сравнению с подростками с девиантным поведением со средним уровнем. Это проявляется в сужении у них круга интересов, нежелании предпринимать волевые усилия при обучении в школе и приобретении жизненного опыта, в ориентации на сиюминутное проживание без конкретных поэтапных жизненных планов в ближайшей и дальней перспективе, отказ от любых видов деятельности при незначительных трудностях, низкая оценка своих возможностей и предупреждающее переживание возможных неудач. Выявленная отрицательная «Я-концепция» при низком уровне жизнестойкости у подростков с девиантным поведением находит подтверждение в высоких значениях показателей суицидального риска «Несостоительность» ( $p < 0,01$ ) и «Уникальность» ( $p < 0,05$ ) с подростками группы сравнения. Наибольшую тревогу вызывает сочетание субъективной оценки тотальной несостоительности во всех сферах жизнедеятельности с восприятием нестандартности собственной жизненной ситуации, что повышает суицидальный риск у подростков

с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости. Наряду с этим следует отметить у рассматриваемой группы подростков фактор, снижающий суицидальный риск — «Слом культурных барьеров», корреляционные связи которого с остальными показателями суицидального риска не выявлены. Иными словами, подростки с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости не склонны к импульсивным суицидальным попыткам, модели суицидального поведения у них не сформированы; суицидальный риск у них связан с внешними ситуационными причинами.

Корреляционный анализ показателей суицидального риска и компонентов жизнестойкости у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости указывает на связь интереса и вовлеченности в события окружающей жизни с понижением эмоционального реагирования на возникающие трудности. Наряду с этим, у подростков с девиантным поведением со средним уровнем жизнестойкости повышение субъективного представления о собственной состоятельности коррелирует со снижением суицидального риска. При среднем уровне жизнестойкости у подростков с девиантным поведением выявляется связь между контролем над событиями собственной жизни со снижением инфантильной, «черно-белой» их оценки. Обращает на себя внимание, что компонент жизнестойкости «Принятие риска» не коррелирует ни с одним из показателей суицидального риска, следовательно, подростки с девиантным поведением в принципе недостаточно активны в усвоении знаний через опыт в условиях неопределенности, когда нет гарантированного, по их мнению, успеха.

У подростков с девиантным поведением со средним уровнем жизнестойкости был обнаружен фактор, резко повышающий суицидальный риск, — это отсутствие связей показателя «Антисуицидальный фактор» с любым другим показателем суицидального риска и компонентов жизнестойкости. Данный факт указывает на отсутствие «табу» на суицидальное поведение, его греховности на фоне сниженного чувства ответственности за родных.

На основании этих данных можно утверждать, что суицидальный риск у подростков с девиантным поведением со средним уровнем жизнестойкости в большой степени определяется внутренними причинами.

## ВЫВОДЫ

1. Распространенность низкого и среднего уровней жизнестойкости у подростков с девиантным поведением распределилась практически поровну, тогда как высокий уровень встречается менее чем у каждого десятого обследованного подростка. Выраженность компонентов жизнестойкости «Вовлеченность», «Контроль», «Принятие риска» статистически значимо ниже у подростков с девиантным поведением с низким уровнем жизнестойкости по сравнению с тем же контингентом подростков со средним уровнем.

2. У всех обследованных подростков с девиантным поведением обнаружен высокий суицидальный риск, но причины его могут быть различными. При низком уровне жизнестойкости у подростков с девиантным поведением выявленная субъективная оценка тотальной несостоятельности во всех сферах жизнедеятельности в сочетании с пассивной жизненной позицией, утратой контроля на фоне неспособности адекватного планирования ближайшего и отдаленного будущего повышает суицидальный риск; определяется в основном внешними причинами. При среднем уровне жизнестойкости суицидальный риск связан с допустимостью суицидального поведения со снижением ответственности перед близкими окружающими; определяется в основном внутренними причинами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверин В.А., Виленская Г.А., Дандарова Ж.К., и др. Психология человека от рождения до смерти: младенчество, детство, юность, взросłość, старость. Санкт-Петербург: Президент-Нева, 2002. 652 с. EDN: BABVZ
2. Алимов А.О., Алимова Н.И. Современное состояние риска суицидального поведения личности // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1(127). С. 67. EDN: MENGYN doi: 10.23670/IRJ.2023.127.133
3. Васягина Н.Н., Рудницкая А.И. Формирование жизнестойкости как условие профилактики суицида у обучающихся // Педагогическое образование в России. 2023. № 4. С. 103–111. EDN: IMRXMJ
4. Виндорф С.А. Особенности психологической работы с подростками группы риска по возникновению наркозависимости // Педиатр. 2013. Т. 4, № 4. С. 116–119. EDN: SAHNQZ doi: 10.17816/PED44116-119
5. Вихристюк О.В. К вопросу о современных программах профилактики суицидального поведения подростков и молодежи (обзор некоторых зарубежных программ) // Социальные науки и детство. 2020. Т. 1, № 1. С. 47–57. EDN: ADLNKB doi: 10.17759/ssc.2020010104
6. Евсеенкова Е.В., Борисенко Ю.В. Взаимосвязь риска аутодеструктивного поведения старших подростков с уровнем жизнестойкости // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия «Педагогика, психология». 2020. № 3(42). С. 54–62. EDN: LEZRJM doi: 10.18323/2221-5662-2020-3-54-62
7. Ефимова О.И., Салахова В.Б., Егорова О.И. Жизнестойкость как превентивный фактор суицидального поведения личности // Образование личности. 2019. № 3–4. С. 142–150. EDN: MAGCKY
8. Истомина С.В., Быкова Е.А. Соотношение показателей анти-витальности и жизнестойкости у подростков // Казанский педагогический журнал. 2022. Т. 5, № 154. С. 199–208. EDN: UJVUEH doi: 10.51379/KPJ.2022.156.6.025
9. Кузьмишина Т.Л., Крайнова Ю.Н., Долинская Л.А. Гендерные особенности стрессоустойчивости и жизнестойкости подростков из неблагополучных семей // Ученые записки. Электронный научный журнал Курского государственного университета. 2023. № 3(67). С. 330–335. EDN: MCPKRZ
10. Лазарева Ю.В., Говендяева А.А. Особенности жизнестойкости и склонность к девиантному поведению в подростковом возрасте // ЦТИСЭ. 2021. № 2(28). С. 447–460. EDN: LABPAE doi: 10.15350/2409-7616.2021.2.42
11. Осин Е.Н., Рассказова Е.И. Краткая версия теста жизнестойкости: психометрические характеристики и применение в орга-

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

**Этическое утверждение.** Все участники добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethical approval.** All participants voluntarily signed an informed consent form prior to inclusion in the study.

- низационном контексте // Вестник Московского университета. 2013. № 2 С. 147–165. EDN: QCTPYN
- 12.** Разуваева Т.Н. Диагностика личности. Шадринск: Иsetь; 1993. 26 с.
- 13.** Розанов В.А., Семенова Н.В., Самерханова К.М., Вукс Д.О. Программы превенции самоубийств (систематический обзор русскоязычных источников) // Суицидология. 2023. Т. 14, № 1(50). С. 38–64. EDN: BRAZRZ doi: 10.32878/suiciderus.23-14-01(50)-38-64
- 14.** Степанова О.В. Гендерные особенности суицидального риска и жизнестойкости в подростковом возрасте. В кн.: XLVII Региональная студенческая научно-практическая конфе-
- ренция: тезисы докладов. В 2 ч. Часть 2. Омск; 2023. С. 428–430. EDN: SVZYLC
- 15.** Тишко А.М. Развитие жизнестойкости в условиях психолого-медицинского консультирования как профилактика суицидального поведения у подростков. В кн.: XII Международный конкурс научно-исследовательских работ: тезисы докладов. Часть 2. Уфа; 2023. С. 197–201. EDN: OTOGDM
- 16.** Фаустова И.В., Филатова И.Ю. Развитие жизнестойкости у современной молодежи как профилактика суицида. В кн.: Материалы VIII Международной очно-заочной научно-практической конференции: сборник статей. Орел; 2022. С. 104–108. EDN: QXOOYG

## REFERENCES

1. Averin VA, Vilenskaya GA, Dandarova ZhK, et al. *Human psychology from birth to death: infancy, childhood, youth, adulthood, old age*. Saint Petersburg: President-Neva; 2002. 652 p. EDN: BABVZ
2. Alimov AO, Alimova NI. The current state of research on personal suicidal risk behaviour. *International Research Journal*. 2023;(1(127)):67. EDN: MENGYN doi: 10.23670/IRJ.2023.127.133
3. Vasyagina NN, Rudnitskaya AI. Formation of resilience as a condition for the prevention of suicide in students. *Pedagogical Education in Russia*. 2023;(4):103–111. EDN: IMRXMJ
4. Vindorf SA. Features of psychological work with teenagers of group of risk on drug addiction emergence. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2013;14(4):116–119. EDN: SAHNQZ doi: 10.17816/PED44116-119
5. Vikhristyuk OV. On the issue of modern programs for the prevention of suicidal behavior of adolescents and young people (review of some foreign programs). *Social Sciences and Childhood*. 2020;1(1):47–57. EDN: ADLNKB doi: 10.17759/ssc.2020010104
6. Evseenkova EV, Borisenko YuV. The correlation between the risk of self-injurious behavior in late adolescence and the hardness level. *Science Vector of Togliatti State University. Series: Pedagogy, Psychology*. 2020;3(42):54–62. EDN: LEZRJM doi: 10.18323/2221-5662-2020-3-54-62
7. Efimova Ol, Salakhova VB, Egorova Ol. Hardiness as a preventive factor of suicide behaviour of the personality. *Obrazovanie Lichnosti*. 2019;(3–4):142–150. EDN: MAGCKY
8. Istomina SV, Bykova EA. The ratio of indicators of anti-vitality and resilience at adolescents. *Kazan Pedagogical Journal*. 2022;5(154):199–208. (In Russ.) EDN: UJVUEH doi: 10.51379/KPJ.2022.156.6.025
9. Kuz'mishina TL, Kraynova YuN, Dolinskaya LA. Gender peculiarities of the hardness of adolescents from dysfunctional families. *Uchenye zapiski. Elektronnyy nauchnyy zhurnal kurskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2023; 3(67):330–335. (In Russ.) EDN: MCPKRZ
10. Lazareva YuV, Govendyaeva AA. Features of hardness and tendency to deviant behavior in adolescence. *TsITIS*. 2021;2(28):447–460. EDN: LABPAE doi: 10.15350/2409-7616.2021.2.42
11. Osin EN, Rasskazova El. A short version of the hardness test: psychometric properties and organizational application. *Moscow University Psychology Bulletin*. 2013;2:147–165. EDN: QCTPYN
12. Razuvaeva TN. *Diagnostics of personality*. Shadrinsk: Iset; 1993. (In Russ.)
13. Rozanov VA, Semenova NV, Samerhanova KM, Vuks DO. Suicide prevention programs (systematic review of Russian-language scientific sources). *Suicidology (Russia)*. 2023;14(1(50)):38–64. (In Russ.) EDN: BRAZRZ doi: 10.32878/suiciderus.23-14-01(50)-38-64
14. Stepanova OV. Gender features of suicidal risk and resilience in adolescence. In: *Proceedings of the XLVII Regional Student Scientific-Practical Conference*. Part 2. Omsk; 2023. P. 428–430. (In Russ.) EDN: SVZYLC
15. Tishko AM. Development of resilience in the conditions of psychological counseling as a prevention of suicidal behavior in adolescents. In: *Proceedings of the XII International Competition of Scientific Research Works*. Part 2. Ufa; 2023. P. 197–201. EDN: OTOGDM
16. Faustova IV, Filatova IYu. Development of resilience in modern youth as a prevention of suicide. In: Materials of the VIII International full-time scientific-practical conference: collection of articles. Orel; 2022 P. 104–108. EDN: QXOOYG

## ОБ АВТОРАХ

\*Ирина Алексеевна Горьковая, д-р психол. наук, профессор, заведующая, кафедра психосоматики и психотерапии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; адрес: Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2; ORCID: 0000-0002-1488-4746; eLibrary SPIN: 1604-2157; e-mail: iralgork@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

\*Irina A. Gorkovaya, Dr. Sci. (Psychology), Professor, Head, Department of Psychosomatics and Psychotherapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation; address: 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russia; ORCID: 0000-0002-1488-4746; eLibrary SPIN: 1604-2157; e-mail: iralgork@mail.ru

## ОБ АВТОРАХ

**Владимир Игоревич Рождественский**, канд. психол. наук, доцент, кафедра психосоматики и психотерапии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0003-6356-8090; eLibrary SPIN: 7731-6637; e-mail: countrozh@mail.ru

**Влада Викторовна Титова**, канд. мед. наук, доцент, кафедра психосоматики и психотерапии, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0003-2706-0804; eLibrary SPIN: 4313-6792; e-mail: vivlan2001@mail.ru

## AUTHORS' INFO

**Vladimir I. Rozhdestvenskiy**, PhD, Associate Professor, Department of Psychosomatics and Psychotherapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0003-6356-8090; eLibrary SPIN: 7731-6637; e-mail: countrozh@mail.ru

**Vlada V. Titova**, MD, PhD, Associate Professor, Department of Psychosomatics and Psychotherapy, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0003-2706-0804; eLibrary SPIN: 4313-6792; e-mail: vivlan2001@mail.ru