

УДК 612.743:376.24

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ СИСТЕМ ДЫХАНИЯ И КРОВООБРАЩЕНИЯ НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ У СТУДЕНТОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ЗИМНИМ ФУТБОЛОМ

© 2024 г. Л. В. Капилевич<sup>1, 2, \*</sup>, А. А. Ильин<sup>3</sup>, Л. Цзяо<sup>1</sup>,  
Ф. Сяо<sup>1</sup>, С. Г. Кривошеков<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>3</sup>Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

<sup>4</sup>ФГБНУ Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия

\*E-mail: kapil@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.11.2023 г.

После доработки 10.12.2023 г.

Принята к публикации 11.12.2023 г.

Изучены адаптивные изменения в системе кровообращения и дыхания под влиянием занятий зимним футболом. Обследовано 50 мужчин в возрасте 21–25 лет — студентов 3–4 курса: контрольная группа — 25 чел., занимающихся на специализации “футбол” (Ф), основная группа — 25 чел., занимающихся на специализации “зимний футбол” (ЗФ). Обследование выполняли дважды — до и после физической нагрузки. В качестве дозированной физической нагрузки был использован бег (средний темп, 180 шаг/мин) в течение 15 мин. Нагрузки выполняли либо в помещении при температуре плюс 22–24°C, либо в зимний период на улице при температуре минус 18–20°C. Обследования в помещении и на улице проводили в разные дни. Оценка периферического кровотока нижних конечностей выполняли методом реографии, для оценки магистрального кровотока в бедренной артерии использовали метод ультразвуковой доплерографии. Исследование функций внешнего дыхания проводили методом пневмотахографии. Концентрация лактата в капиллярной крови определялась фотометрически. Показано, что физическая нагрузка, выполняемая на холоде, у адаптированных спортсменов (группа ЗФ) способствует усилению интеграции между системами дыхания и кровообращения, обеспечивая формирование функциональной системы, характеризующейся более сильными связями, для оптимальной адаптации к сочетанному воздействию физических нагрузок и холода. У спортсменов, тренирующихся в помещении (группа Ф) в условиях сочетания физической нагрузки и холодового воздействия, напротив, происходит рассинхронизация взаимодействия систем дыхания и кровообращения, что приводит к снижению адаптационных резервов. Таким образом, спортивная тренировка в зимнем футболе запускает фенотипические адаптивные изменения и формирует ряд физиологических механизмов, которые способствуют усилению интеграции между системами дыхания и кровообращения, обеспечивая оптимальную адаптацию к сочетанному воздействию физических нагрузок и холода. Полученные факты будут полезны для разработки специальных тренировочных программ, нацеленных на увеличение функционального резерва кардиореспираторной системы спортсменов, тренирующихся в условиях холода.

**Ключевые слова:** зимний футбол, холод, физические нагрузки, периферический кровоток, внешнее дыхание.

**DOI:** 10.31857/S0131164624020062, **EDN:** VIDLKD

Зимний футбол — это игра в футбол, которая проводится в зимние месяцы на заснеженных полях или специально оборудованных площадках. В зимний футбол играют команды из 5–7 чел., включая вратаря. Мяч меньше, чем в обычном футболе, и имеет меньший вес, чтобы лучше

контролировать его на скользкой поверхности. В зимний футбол играют сокращенные матчи — обычно 2 тайма по 20 мин. Эта игра требует от игроков высокой физической подготовки и умения быстро принимать решения в условиях ограниченного пространства и времени [1, 2].

Игра в зимний футбол связана с более значительными физическими нагрузками на игроков из-за холодных условий. Холодовые воздействия могут привести к сужению сосудов и дисбалансу кровообращения, что может повысить риск травм и увеличить нагрузку на сердечно-сосудистую систему [3]. Также на холодном воздухе затруднено дыхание из-за сухости воздуха и сужения дыхательных путей [4, 5]. Это может привести к усталости, одышке и даже к обмороку. Предполагается, что адаптация к интенсивным физическим нагрузкам в сочетании с холодовыми воздействиями будет иметь определенные особенности в сравнении с другими видами спорта [6].

В литературе имеется много исследований, посвященных адаптации к условиям трудовой деятельности в полярных регионах [7], но параллели здесь могут быть лишь условные, так как трудовая деятельность предполагает меньшую интенсивность физической активности при большей ее длительности, а также использование защитных средств, которые не могут быть применены в спортивных играх. Хотя определенная схожесть физиологических механизмов адаптации, несомненно, имеет место.

Физиологические особенности спортивной деятельности в полярных регионах также изучались достаточно подробно [8–10]. Однако такой вид спорта, как зимний футбол, не привлек значимого внимания исследователей, хотя его популярность в последнее десятилетие значительно выросла. Научно-методическая база по организации тренировочного процесса в зимнем футболе весьма скромная и для ее развития требуются физиологические исследования, направленные на изучение особенностей функционирования кардиореспираторной системы при выполнении интенсивной физической нагрузки на холоде.

Цель данного исследования — изучение адаптивных изменений в системе кровообращения и дыхания под влиянием занятий зимним футболом.

## МЕТОДИКА

Обследовали 50 мужчин в возрасте 21–25 лет — студентов 3–4 курса: контрольная группа — 25 чел., занимающихся на специализации “футбол” — Ф, основная группа — 25 чел., занимающиеся на специализации “зимний футбол” — ЗФ. Стаж занятий — не менее года, тренировки — 3–4 раза в неделю, уровень команды — победители межвузовских и городских соревнований. Все обследуемые были правшами, ударная нога — правая. Обследование выполняли дважды — до и через 1 мин после физической нагрузки. Исследование проводили в предсоревновательном периоде, когда спортсмены выходили на пик физической

формы перед началом региональных чемпионатов (ноябрь–декабрь).

Перед началом исследования испытуемые находились в соответствующих условиях (в помещении или на улице) 20 мин в состоянии покоя (допускалась ходьба в медленном темпе). Обследования после нагрузок, выполняемых в помещении и на улице, проводили в разные дни. Обследование каждым методом (доплерография, реография, функция внешнего дыхания) так же выполняли в разные дни. Интервал между завершением выполнения нагрузки и началом регистрации физиологических показателей всегда составлял 1 мин.

В качестве дозированной физической нагрузки был использован бег (средний темп, 180 шаг/мин) в течение 15 мин. Темп движений устанавливали метрономом. Нагрузку выполняли либо в помещении при температуре плюс 22–24°C, либо на улице при температуре минус 18–20°C. Все исследования проводили в зимнее время, в дни, когда температура на улице соответствовала указанному выше диапазону. При выполнении нагрузки в помещении все испытуемые были одеты в стандартную форму для занятий в зале (шорты и футболку); при выполнении нагрузки на улице все испытуемые были одеты в стандартную игровую форму зимнего футбола (теплые спортивные штаны и кофта, вязаная шапочка, перчатки, теплые носки и кроссовки).

Для оценки периферического кровотока нижних конечностей (верхняя треть бедра и верхняя треть голени) был использован программный модуль “Реография” аппаратно-программного комплекса “Валента” (ООО “Компания Нео”, Россия). Оценивали реографический индекс (РИ), максимальную скорость быстрого наполнения ( $V_{max}$ ), среднюю скорость медленного наполнения ( $V_{mean}$ ).

Для оценки магистрального кровотока в бедренной артерии использовали метод ультразвуковой доплерографии на аппарате *Ангиодин-ПК* (БИОСС, Россия). Исследование выполняли ультразвуковым зондом на частоте 4 МГц, определяли максимальную систолическую ( $VS$ ), среднюю ( $VM$ ) и конечную диастолическую ( $VD$ ) скорости движения крови (см/с).

Исследование функций внешнего дыхания проводили на аппаратно-программном комплексе “Валента” ООО “Компания Нео” (Россия). Для оценки проходимости крупных бронхов использовали показатели максимальной объемной скорости на уровне 25% форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) (МОС 25), средней объемной скорости в интервале между 25 и 75% ФЖЕЛ (СОС 25–75) и пикового экспираторного потока (ПОС). Для оценки проходимости мелких бронхов использовали показатели максимальной объ-

емной скорости на уровне 75% ФЖЕЛ (МОС 75), средней объемной скорости в интервале между 75 и 85% ФЖЕЛ (СОС 75–85). По величине максимальной объемной скорости на уровне 50% ФЖЕЛ (МОС 50) оценивали проходимость бронхов среднего калибра.

Для фотометрического определения лактата в капиллярной крови использовали биохимический анализатор *Accutrend Plus* (Германия) с использованием тест полосок *BM-Lactat*. Прибор обладает диапазоном измерения для молочной кислоты — от 0.8 до 21.7 ммоль/л, время измерения до 60 с.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы *GraphPad Prism 9.3.1*. Выборки данных перед статистическим анализом оценивали на предмет нормальности по критерию Колмогорова-Смирнова (*Kolmogorov–Smirnov test*) с поправкой Лиллиефорса (*Lilliefors test*). Все данные имели ненормальное распределение. Данные представлены в виде  $Me (Q_1–Q_3)$ . Уровень значимости при проверке гипотезы принадлежности двух выборок к одной генеральной совокупности оценивали с использованием двустороннего дисперсионного анализа с критерием множественного сравнения Тьюки (*Tukey's range test*) и поправкой Холма-Сидака (*Holm–Šidák correction*). Аналогичным способом оценивали уровень значимости при сравнении величин приростов показателей после физической нагрузки между группами Ф и ЗФ. При сравнении величин приростов показателей после нагрузки, выполняемой в тепле и на холоде (в одной группе спортсменов) уровень значимости оценивали с помощью *Wilcoxon rank test* для попарно связанных выборок.

Для оценки взаимосвязи признаков использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (*Spearman's rank correlation coefficient, r*), значимость корреляции оценивали с использованием теста перестановок. Уровень значимости, принятый в исследовании — 5% ( $p \leq 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Реографические показатели кровотока правой ноги у игроков в футбол и в зимний футбол в покое и после нагрузки в тепле и на холоде.* Исследование характера регионарного кровотока отделов нижних конечностей в покое и после нагрузки, позволило выявить достоверные различия между группами спортсменов.

В состоянии покоя в теплом помещении у спортсменов обеих групп реографические показатели не различались. Реографический индекс в области бедра был несколько выше, чем в области голени. Физическая нагрузка, выполняемая в тепле, способствовала усилению регионарного

кровотока — прежде всего, значительно увеличивался РИ как в области бедра, так и в области голени в обеих группах (табл. 1). Однако прирост данного показателя у игроков группы Ф был существенно выше, чем у игроков ЗФ (табл. 2). Аналогичная динамика наблюдалась и со стороны показателей быстрого и медленного кровенаполнения — прирост их в группе Ф был существенно выше, чем среди игроков ЗФ (табл. 2). Так же в группе Ф показатели кровотока в области голени были достоверно выше, чем в области бедра, тогда как в группе игроков ЗФ такие различия отсутствовали (табл. 1).

В состоянии покоя после 20 мин нахождения на холоде у спортсменов обеих групп отмечались следующие изменения параметров регионарного кровотока: снижалась максимальная скорость быстрого наполнения (в области бедра и в области голени), в меньшей степени — средняя скорость медленного наполнения (только в области бедра), при этом РИ существенно не изменялся (табл. 1).

Наиболее существенные различия в показателях регионарного кровотока между группами были выявлены после выполнения нагрузочной пробы на холоде. У игроков ЗФ все исследуемые показатели после нагрузки увеличивались в большей степени, чем у игроков группы Ф (табл. 2). В итоге регионарный кровоток в нижней конечности у игроков в зимний футбол был существенно выше, чем у игроков в футбол, разница показателей между группами — в 2 раза. При этом в обеих группах величина РИ в области бедра после нагрузки была выше, чем в области голени. Со стороны скоростей быстрого и медленного наполнения такие различия — не обнаруживались (табл. 1).

*Показатели магистрального кровотока в бедренной артерии у игроков в футбол и в зимний футбол, в покое и после нагрузки, в тепле и на холоде.* Исследование скорости магистрального кровотока в бедренной артерии в покое и после нагрузки позволило выявить достоверные различия между группами спортсменов.

В состоянии покоя в теплом помещении различия между группами отсутствовали. Выполнение физической нагрузки в теплом помещении приводило к увеличению линейной скорости кровотока в обеих группах спортсменов в равной степени. При нахождении на холоде у спортсменов обеих групп отмечалось некоторое снижение линейных скоростей кровотока в бедренной артерии, притом в группе игроков в группе Ф снижение было более выражено, чем в группе ЗФ (табл. 3).

Наиболее выраженные различия в показателях линейных скоростей кровотока были обнаружены при выполнении физической нагрузки на холоде. Прирост скорости в группе ЗФ был достоверно выше, чем в группе Ф (табл. 4).

Таблица 1. Характеристики регионарного кровотока правой ноги у футболистов Me ( $Q_1-Q_3$ )

Группы	Тест	Бедро		Голень			
		РИ, у.е.	$V_{max}$ , Ом/с	$V_{mean}$ , Ом/с	РИ, у.е.	$V_{max}$ , Ом/с	$V_{mean}$ , Ом/с
Зимний футбол	Покой	0.27 (0.21–0.35)	0.42 (0.32–0.49)	0.23 (0.19–0.30)	0.21 (0.17–0.28) $p_3 \leq 0.05$	0.43 (0.35–0.51)	0.23 (0.19–0.29)
	Нагрузка	0.33 (0.27–0.41) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.51 (0.42–0.62) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.26 (0.21–0.29) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.29 (0.18–0.37) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$	0.48 (0.42–0.55) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.26 (0.21–0.32) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$
	Покой	0.24 (0.17–0.28)	0.35 (0.31–0.39) $p_4 \leq 0.05$	0.19 (0.15–0.22) $p_4 \leq 0.05$	0.18 (0.13–0.23) $p_3 \leq 0.05$	0.36 (0.28–0.45) $p_4 \leq 0.05$	0.20 (0.14–0.29)
	Нагрузка	0.54 (0.47–0.61) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.61 (0.55–0.72) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.35 (0.29–0.44) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.39 (0.28–0.40) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.65 (0.52–0.75) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.38 (0.31–0.45) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$
Футбол	Покой	0.26 (0.22–0.35)	0.41 (0.33–0.47)	0.24 (0.18–0.30)	0.22 (0.18–0.27) $p_3 \leq 0.05$	0.42 (0.34–0.51)	0.22 (0.18–0.27)
	Нагрузка	0.41 (0.35–0.49) $p_1 \leq 0.05$	0.62 (0.54–0.71) $p_1 \leq 0.05$	0.35 (0.26–0.43) $p_1 \leq 0.05$	0.52 (0.41–0.59) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$	0.75 (0.65–0.82) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$	0.51 (0.45–0.60) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$
	Покой	0.24 (0.16–0.29)	0.34 (0.30–0.38) $p_4 \leq 0.05$	0.18 (0.13–0.25) $p_4 \leq 0.05$	0.18 (0.12–0.22) $p_3 \leq 0.05$	0.34 (0.27–0.41) $p_4 \leq 0.05$	0.20 (0.15–0.29)
	Нагрузка	0.27 (0.17–0.32) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.38 (0.31–0.45) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.23 (0.16–0.25) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.24 (0.18–0.32) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.39 (0.1–0.45) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	0.25 (0.17–0.29) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$

Примечание: РИ — реографический индекс,  $V_{max}$  — максимальная скорость быстрого наполнения,  $V_{mean}$  — средняя скорость медленного наполнения,  $p_1$  — достоверность различий в покое и после нагрузки,  $p_2$  — достоверность различий между группами Футбол и Зимний футбол после нагрузки,  $p_3$  — достоверность различий между показателями бедра и голени,  $p_4$  — достоверность различий между показателями в тепле и на холоде.

**Таблица 2.** Динамика показателей регионарного кровотока правой ноги у футболистов после физической нагрузки, выполняемой в различных условиях  $Me (Q_1-Q_3)$

Группы	Бедро			Голень		
	РИ, у.е.	$V_{max}$ , Ом/с	$V_{mean}$ , Ом/с	РИ, у.е.	$V_{max}$ , Ом/с	$V_{mean}$ , Ом/с
Зимний футбол	В тепле	0.05 (0.04–0.06)	0.09 (0.08–0.1)	0.02 (0.01–0.03)	0.08 (0.07–0.09)	0.02 (0.01–0.03)
	На холоде	0.29 (0.27–0.31) $p_1 \leq 0.005$	0.24 (0.22–0.27) $p_1 \leq 0.005$	0.15 (0.13–0.18) $p_1 \leq 0.005$	0.21 (0.19–0.23) $p_1 \leq 0.005$	0.18 (0.16–0.22) $p_1 \leq 0.005$
Футбол	В тепле	0.14 (0.12–0.15) $p_2 \leq 0.005$	0.22 (0.20–0.25) $p_2 \leq 0.005$	0.10 (0.08–0.12) $p_2 \leq 0.005$	0.29 (0.28–0.31) $p_2 \leq 0.005$	0.29 (0.27–0.30) $p_2 \leq 0.005$
	На холоде	0.02 (0.01–0.03) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$	0.03 (0.02–0.04) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$	0.05 (0.04–0.06) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$	0.05 (0.04–0.06) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$	0.05 (0.04–0.06) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$

*Примечание:*  $p_1$  – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку, выполняемую в тепле и на холоде (в одной группе спортсменов),  $p_2$  – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку в группах Футбол и Зимний футбол (выполняемую в одних и тех же температурных условиях). Остальные обозначения см. табл. 1.

**Таблица 3.** Показатели магистрального кровотока в бедренной артерии у футболистов  $Me (Q_1-Q_3)$

Группы	Тест	$VS$ , см/с	$VD$ , см/с	$VM$ , см/с	
Зимний футбол	В тепле	Покой	35.2 (32.8–37.5)	42.5 (39.9–45.2)	
		Нагрузка	77.5 (73.1–80.1) $p_1 \leq 0.05$	54.7 (52.5–56.9) $p_1 \leq 0.05$	63.3 (60.9–65.2) $p_1 \leq 0.05$
	На холоде	Покой	48.5 (45.7–50.4) $p_4 \leq 0.05$	31.1 (28.9–33.1) $p_4 \leq 0.05$	39.7 (37.3–41.2) $p_4 \leq 0.05$
		Нагрузка	98.4 (96.1–100.3) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	72.8 (70.5–74.8) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	87.5 (84.9–89.9) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$
Футбол	В тепле	Покой	36.4 (34.3–38.7)	43.2 (41.0–45.5)	
		Нагрузка	53.7 (51.2–56.0) $p_1 \leq 0.05$	54.2 (51.8–56.7) $p_1 \leq 0.05$	61.7 (58.9–63.5) $p_1 \leq 0.05$
	На холоде	Покой	41.3 (40.1–43.5) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	27.3 (25.3–29.7) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	33.6 (31.4–35.8) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$
		Нагрузка	67.3 (65.2–69.7) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	45.1 (42.8–47.7) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	55.0 (52.9–57.5) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$

*Примечание:* максимальная ( $VS$ ), средняя ( $VM$ ) и конечная диастолическая ( $VD$ ) линейные скорости движения крови (см/с),  $p_1, p_2$  – достоверность различий между группами Футбол и Зимний футбол до нагрузки,  $p_3$  – достоверность различий между группами Футбол и Зимний футбол после нагрузки. Остальные обозначения см. табл. 1.

**Таблица 4.** Динамика показателей магистрального кровотока в бедренной артерии у футболистов после физической нагрузки, выполняемой в различных условиях  $Me (Q_1-Q_3)$

Группы		$VS$ , см/с	$VD$ , см/с	$VM$ , см/с
Зимний футбол	В тепле	22.4 (20.7–24.4)	20.8 (18.6–23.2)	21.7 (19.9–24.0)
	На холоде	51.1 (47.2–55.4) $p_1 \leq 0.005$	42.5 (38.9–45.1) $p_1 \leq 0.005$	48.2 (45.8–51.2) $p_1 \leq 0.005$
Футбол	В тепле	23.7 (21.2–26.0)	17.9 (15.3–19.7)	18.0 (16.2–20.9)
	На холоде	25.9 (24.1–27.5) $p_2 \leq 0.005$	18.3 (15.9–19.8) $p_2 \leq 0.005$	21.8 (19.4–24.1) $p_2 \leq 0.005$

*Примечание:* максимальная ( $VS$ ), средняя ( $VM$ ) и конечная диастолическая ( $VD$ ) линейные скорости движения крови (см/с),  $p_1$  – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку, выполняемую в тепле и на холоде (в одной группе спортсменов),  $p_2$  – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку в группах Футбол и Зимний футбол (выполняемую в одних и тех же температурных условиях).

*Показатели бронхиальной проходимости у игроков в футбол и в зимний футбол, в покое и после нагрузки, в тепле и на холоде.* В состоянии покоя в теплом помещении различий в изучаемых показателях между группами игроков в футбол и в зимний футбол не обнаруживалось. При выполнении нагрузки в теплом помещении у обеих групп отмечалось увеличение показателей СОС 75–85, МОС 75 и МОС 50, что свидетельствует об увеличении бронхиальной проходимости на уровне мелких и средних бронхов. Причем различий между группами игроков после нагрузки не наблюдали (табл. 5).

Иная картина наблюдалась после пребывания обследуемых в состоянии покоя на холоде. У игроков ЗФ отмечалось снижение показателей СОС 25–75, МОС 25, ПОС и МОС 50, что свидетельствует об уменьшении бронхиальной проходимости на уровне крупных и средних бронхов. У игроков группы Ф все показатели в состоянии покоя были достоверно ниже, чем в группе игроков ЗФ. Таким образом, у игроков в футбол бронхиальная проходимость снижалась на всех уровнях (табл. 5).

При выполнении физической нагрузки на холоде у игроков в зимний футбол наблюдается увеличение всех показателей дыхания. Вместе с тем, учитывая, что у данной группы на холоде в покое были снижены показатели СОС 25–75, ПОС, МОС 25 и МОС 50, их прирост возвращал их до исходных величин, которые фиксировались в состоянии покоя в тепле. В то же время показатели СОС 75–85 и МОС 75, при нахождении в покое на холоде не изменялись, оказывались существенно увеличенными в сравнении с исходным уровнем (табл. 5).

У игроков в футбол реакция на физическую нагрузку на холоде существенно отличалась от игроков в зимний футбол. Значимый прирост наблюдался только со стороны СОС 75–85, остальные показатели увеличивались не столь значительно, а показатель СОС 25–75 достоверно не изменял-

ся. В итоге все показатели бронхиальной проходимости после физической нагрузки на холоде у игроков в футбол были достоверно ниже, чем у игроков в зимний футбол (табл. 6). При этом только СОС 75–85 и МОС 75 оказались выше, чем их исходные уровни в состоянии покоя в тепле, все остальные показатели были снижены (табл. 5).

*Концентрация лактата в капиллярной крови у игроков в футбол и в зимний футбол, в покое и после нагрузки, в тепле и на холоде.* В состоянии покоя концентрация лактата в капиллярной крови у игроков обследуемых групп не различалась (рис. 1). Физическая нагрузка ожидаемо способствовала существенному увеличению концентрации лактата в крови у всех спортсменов. При этом, если нагрузка выполнялась в тепле, различия между группами отсутствовали. В условиях холода увеличение концентрации лактата у игроков группы Ф было достоверно выше, чем у игроков группы ЗФ (рис. 2).

*Корреляционные связи между величинами изменений показателей магистрального и периферического кровотока в нижней конечности, пневмотахографических показателей и концентрации лактата в капиллярной крови.* Для оценки степени взаимосвязи исследованных параметров провели корреляционный анализ между изменениями ключевых показателей, характеризующих кровоток, бронхиальную проходимость и концентрации лактата после физической нагрузки в различных условиях. На рис. 3 представлены величины коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между величинами изменений пикового экспираторного потока, максимальной объемной скоростью на уровне 75% выдоха, РИ, максимальной скоростью быстрого наполнения, максимальной линейной скоростью движения крови в бедренной артерии и концентрацией лактата в капиллярной крови. Представлены корреляционные матрицы для выполнения физической нагрузки в тепле и на холоде у игроков групп ЗФ и Ф.

Таблица 5. Пневмотахографические показатели у футболистов  $Me (Q_1-Q_3)$ 

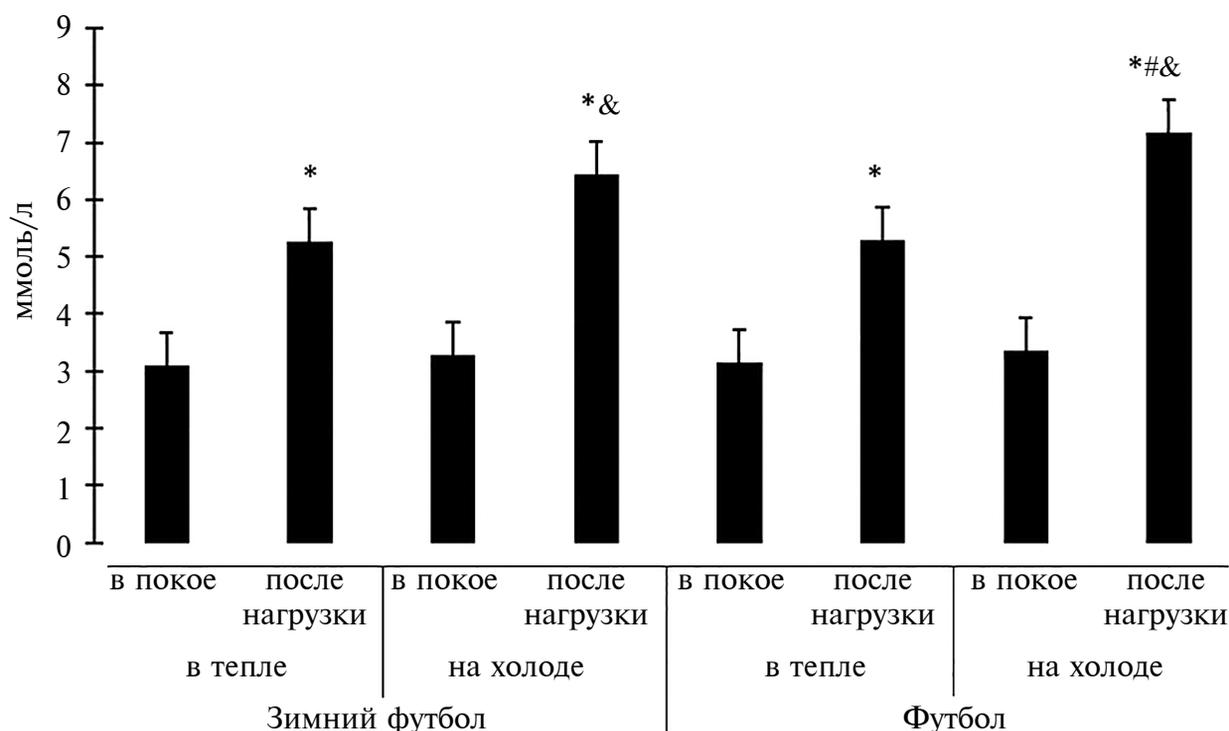
Группы	Тест	СОС 25–75 л/с	СОС 75–85 л/с	ПОС л/с	МОС 25 л/с	МОС 50 л/с	МОС 75 л/с
Зимний футбол	В тепле	7.9 (7.2–8.2)	4.7 (4.2–5.1)	8.2 (7.8–8.6)	8.8 (7.3–9.5)	6.9 (6.1–7.7)	3.9 (3.2–4.6)
	Нагрузка	8.3 (7.2–8.9)	5.9 (4.9–6.5) $p_1 \leq 0.05$	8.5 (7.7–8.9)	8.9 (7.2–9.2)	7.3 (6.4–8.1) $p_1 \leq 0.05$	5.3 (4.3–6.2) $p_1 \leq 0.05$
	Покой	6.8 (6.2–7.1) $p_4 \leq 0.05$	4.5 (4.0–4.9)	6.3 (5.7–7.6) $p_4 \leq 0.05$	6.7 (6.2–7.5) $p_4 \leq 0.05$	6.0 (5.1–6.7) $p_4 \leq 0.05$	3.7 (3.1–4.2)
	Нагрузка	8.2 (7.1–8.9) $p_1 \leq 0.05$	6.6 (5.8–7.3) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	8.3 (7.6–9.2) $p_1 \leq 0.05$	8.8 (8.2–9.5) $p_1 \leq 0.05$	7.9 (6.9–8.5) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	5.8 (4.9–6.5) $p_1 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$
Футбол	В тепле	7.8 (7.2–8.3)	4.6 (4.2–5.2)	8.2 (7.7–8.5)	8.7 (7.4–9.3)	6.8 (6.0–7.5)	4.0 (3.2–4.7)
	Нагрузка	8.2 (7.1–8.9)	6.0 (5.1–6.6) $p_1 \leq 0.05$	8.4 (7.7–8.7)	8.8 (7.3–9.3)	7.5 (6.7–8.2) $p_1 \leq 0.05$	5.4 (4.4–6.2) $p_1 \leq 0.05$
	Покой	6.3 (5.7–7.1) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	4.2 (3.8–4.9) $p_4 \leq 0.05$	5.7 (5.0–6.8) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	6.1 (5.5–7.3) $p_2 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	5.8 (5.0–6.5) $p_4 \leq 0.05$	3.5 (2.9–4.0) $p_4 \leq 0.05$
	Нагрузка	6.5 (6.0–7.9) $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	6.0 (5.0–6.9) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$	6.3 (5.6–7.2) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	6.5 (6.0–7.5) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	6.3 (5.9–6.9) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$	4.2 (3.7–5.5) $p_1 \leq 0.05$ $p_3 \leq 0.05$ $p_4 \leq 0.05$

Примечание: средняя объемная скорость в интервале между 25 и 75% ФЖЕЛ (СОС 25–75, л/с), средняя объемная скорость в интервале между 75 и 85% ФЖЕЛ (СОС 75–85, л/с), скорость экспираторного воздушного потока – пиковый экспираторный поток (ПОС), максимальные объемные скорости на уровне 25, 50 и 75% выдоха (МОС 25, МОС 50 и МОС 75). Остальные обозначения см. табл. 1 и 3.

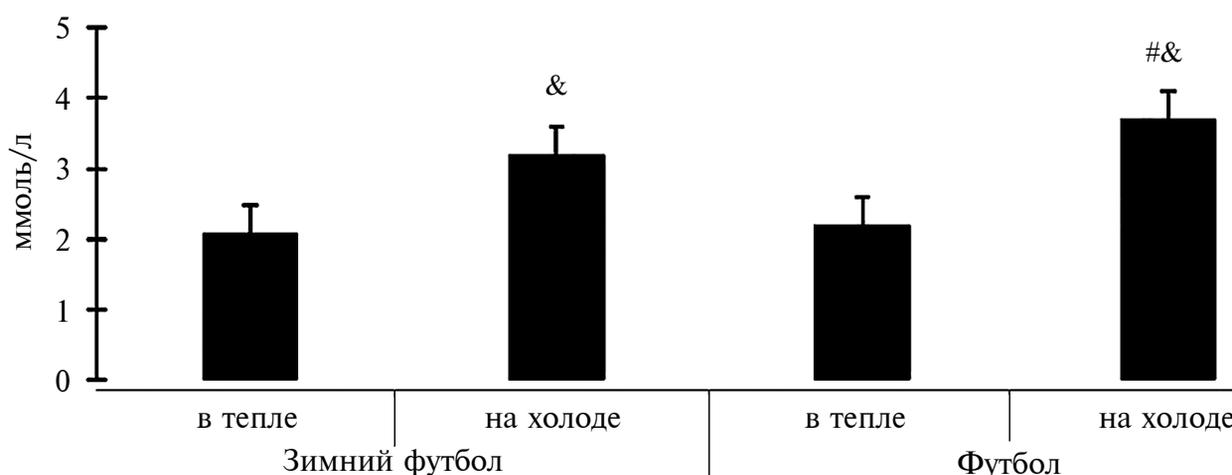
Таблица 6. Динамика пневмотахографических показателей у футболистов после физической нагрузки, выполняемой в различных условиях  $Me (Q_1-Q_3)$ 

Группы	СОС 25–75 л/с	СОС 75–85 л/с	ПОС л/с	МОС 25 л/с	МОС 50 л/с	МОС 75 л/с	
Зимний футбол	В тепле	0.3 (0.24–0.36)	1.1 (1.02–1.18)	0.4 (0.31–0.45)	0.1 (0.04–0.17)	0.3 (0.22–0.38)	
	На холоде	1.5 (1.38–1.61) $p_1 \leq 0.005$	1.2 (1.12–1.39)	1.9 (1.75–2.12) $p_1 \leq 0.005$	2.1 (1.96–2.25) $p_1 \leq 0.005$	1.9 (1.77–2.18) $p_1 \leq 0.005$	2.2 (2.1–2.4) $p_1 \leq 0.05$
	В тепле	0.5 (0.42–0.58) $p_2 \leq 0.05$	1.5 (1.41–1.57) $p_2 \leq 0.05$	0.2 (0.13–0.28) $p_2 \leq 0.05$	0.1 (0.07–0.14)	0.6 (0.49–0.69) $p_2 \leq 0.05$	1.5 (1.38–1.67)
Футбол	На холоде	0.2 (0.16–0.23) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	1.7 (1.58–1.9) $p_2 \leq 0.05$	0.5 (0.42–0.61) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.4 (0.35–0.48) $p_1 \leq 0.05$ $p_2 \leq 0.05$	0.5 (0.42–0.57) $p_2 \leq 0.05$	0.6 (0.51–0.72) $p_1 \leq 0.005$ $p_2 \leq 0.005$

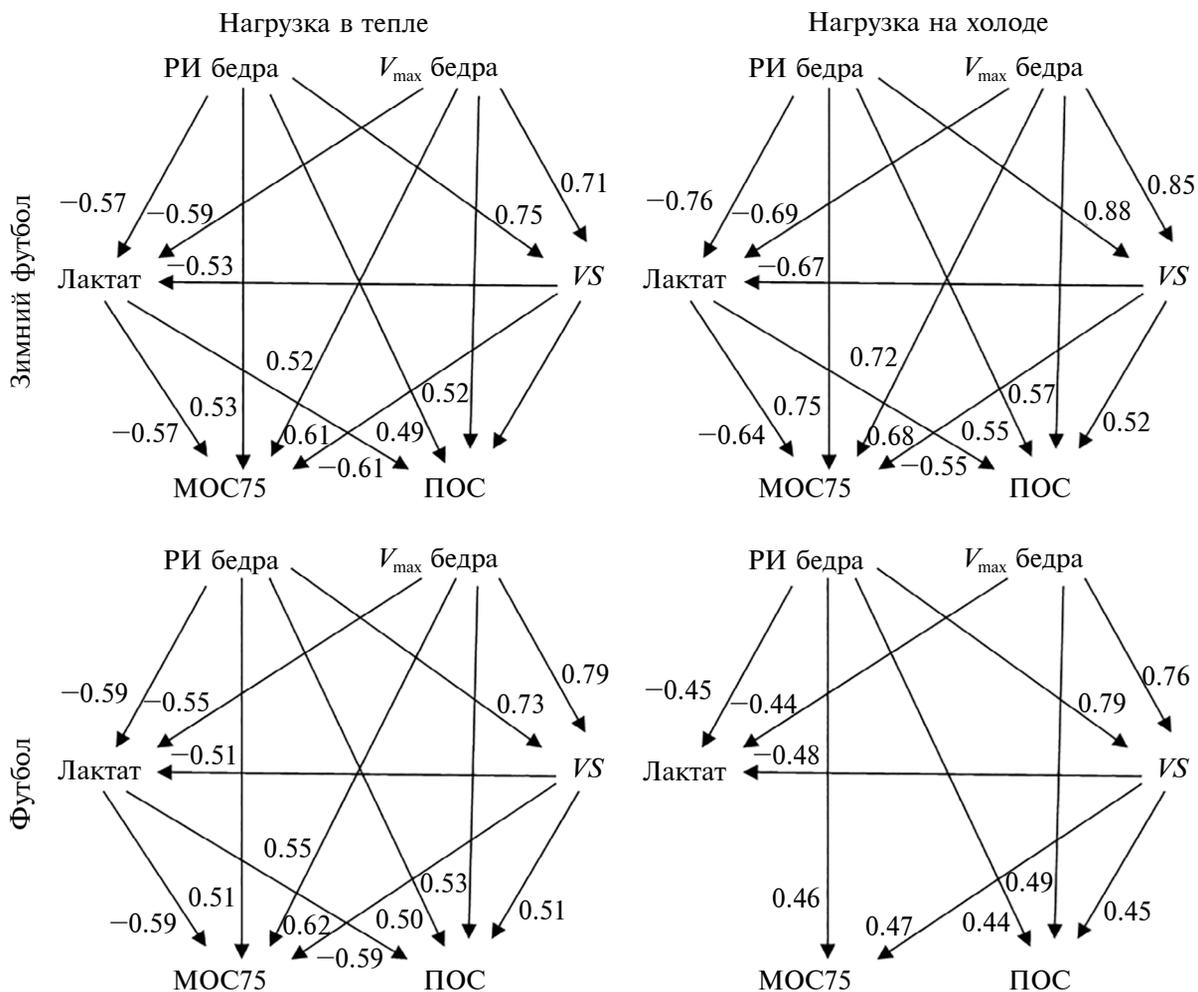
Примечание: обозначения см. табл. 4 и 5.



**Рис. 1.** Концентрация молочной кислоты в капиллярной крови спортсменов,  $Me (Q_1-Q_3)$ . \* – достоверность различий в покое и после нагрузки ( $p \leq 0.05$ ). # – достоверность различий между группами Футбол и Зимний футбол после нагрузки ( $p \leq 0.05$ ). & – достоверность различий между показателями в тепле и на холоде ( $p \leq 0.05$ ).



**Рис. 2.** Величины изменения концентрации молочной кислоты в капиллярной крови у футболистов после физической нагрузки, выполняемой в различных условиях,  $Me (Q_1-Q_3)$ . & – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку, выполняемую в тепле и на холоде (в одной группе спортсменов) ( $p < 0.05$ ). # – достоверность различий между величинами прироста показателя в ответ на физическую нагрузку в группах Футбол и Зимний футбол (выполняемую в одних и тех же температурных условиях) ( $p < 0.05$ ).



**Рис. 3.** Корреляционные связи между величинами изменений показателей магистрального и периферического кровотока в нижней конечности, пневмотахографических показателей и концентрации лактата в капиллярной крови при выполнении физической нагрузки в тепле и на холоде.

На рисунке представлены величины коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ), приведены только значимые показатели (значимость корреляции оценивалась с использованием теста перестановок и считалась значимой при уровне достоверности  $p \leq 0.05$ ). ПОС — пиковый экспираторный поток, МОС 75 — максимальная объемная скорость на уровне 75% выдоха, РИ — реографический индекс,  $V_{max}$  — максимальная скорость быстрого наполнения, VS — максимальная линейная скорость движения крови, Лактат — концентрация лактата в капиллярной крови.

Можно отметить, что при выполнении физической нагрузки в теплом помещении корреляционные матрицы двух групп спортсменов практически не различаются. Отмечены корреляционные связи средней силы между динамикой показателей магистрального и регионарного кровотока с одной стороны и показателей бронхиальной проводимости — с другой. Все указанные величины показателей имеют отрицательную корреляцию средней силы с изменением концентрации лактата в капиллярной крови. Очевидно, что физическая нагрузка, выполняемая в теплом помещении, вызывает сбалансированную перестройку механизмов дыхания и кровообращения, обеспечивая достаточный уровень адаптации к условиям двигательной активности.

При выполнении физической нагрузки на холоде картина в разных группах спортсменов принципиально различается. У игроков группы Ф наблюдается снижение силы корреляционных связей и уменьшение их числа. Корреляция изменения концентрации лактата с динамикой величины МОС 75 становится недостоверной, а с динамикой величины ПОС — слабой. Снижаются связи между динамикой показателей дыхания и кровотока, а также кровотока и концентрации лактата. Противоположную картину можно наблюдать у спортсменов группы ЗФ. Можно отметить усиление всех связей, особенно значительно возрастает связь между динамикой показателей кровотока и МОС 75, а также показателей кровотока и концентрации лактата.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Часть полученных нами результатов укладывается в традиционные схемы регуляции функций организма в условиях холода [11–14]. У спортсменов обеих групп при выполнении физической нагрузки в теплом помещении наблюдается достоверное возрастание показателей, характеризующих магистральный и регионарный кровотоки в нижней конечности. Причем, если магистральный кровоток усиливается в равной степени у всех спортсменов, то усиление регионарного кровотока более выражено у игроков группы Ф. Так, прирост РИ у игроков Ф был существенно выше, чем у игроков ЗФ. Аналогичная динамика наблюдалась и со стороны показателей быстрого и медленного кровенаполнения — прирост их в группе Ф был существенно выше, чем ЗФ. Также можно отметить, что в группе Ф показатели кровотока в области голени были достоверно выше, чем в области бедра, тогда как в группе ЗФ такие различия отсутствовали.

Аналогично ожидаемые результаты фиксировались при нахождении игроков в покое на холоде — у представителей обеих групп снижалась максимальная скорость быстрого наполнения (в области бедра и в области голени), в меньшей степени — средняя скорость медленного наполнения (только в области бедра). Также в равной степени снижались показатели магистрального кровотока.

По данным литературы, при охлаждении снижение внутренней температуры и температуры мышц ниже оптимального уровня приводит к существенному снижению максимального потребления кислорода, сердечного выброса, частоты сокращений сердца, экономичности работы и, естественно, работоспособности. Например, у хорошо тренированных мужчин при снижении внутренней температуры на 1°C максимальное потребление кислорода ( $VO_{2max}$ ) снижается на 5–6%, а работоспособность при выполнении продолжительной работы аэробного характера — на 20% [15]. Вместе с тем, имеющиеся в литературе сведения указывают на возможное повышение теплопродукции и гипертермии при произвольной мышечной деятельности у человека после кратковременных мышечных тренировок на холоде [16, 17].

Таким образом, у обеих групп спортсменов отмечается эффективная реализация механизмов адаптации как к физическим нагрузкам, так и к холодным воздействиям — при условии, что эти факторы воздействуют по отдельности [18]. Периферический кровоток у игроков группы Ф в большей степени адаптирован к физическим нагрузкам в сравнении со спортсменами группы ЗФ.

Однако при сочетанном воздействии факторов физической нагрузки и холода, гораздо более адаптированной оказывается система кровообращения

игроков ЗФ — все показатели магистрального и регионарного кровотока нижней конечности после нагрузки увеличивались в большей степени, чем у игроков в группе Ф. В итоге регионарный кровоток в нижней конечности игроков ЗФ был существенно выше, чем у игроков Ф, разница показателей между группами — в 2 раза. Можно предполагать, что регуляторное сочетание воздействия физических нагрузок и холода формирует специфический адаптационный механизм, обеспечивающий оптимальное приспособление именно к выполнению физических нагрузок при пониженной температуре. В то же время формирование этого механизма несколько снижает способность регионарного кровотока адаптироваться к физическим нагрузкам, выполняемым в теплом помещении.

Данные литературы свидетельствуют, что физическая нагрузка приводит к усилению кровотока в конечности, что является важным физиологическим механизмом поддержания гомеостаза и обеспечения физической работоспособности [19, 20]. В то же время в условиях охлаждения периферический кровоток снижается — работает один из ключевых механизмов терморегуляции, связанный с централизацией кровообращения и поддержания постоянства температуры внутренних органов [21, 22]. Кроме того, значительное снижение мышечной температуры по сравнению с оптимальным уровнем, приводит к нарушению целесообразного вовлечения в работу мышечных волокон различных типов, внутри- и межмышечной координации, снижению скорости мышечного сокращения, уровня мышечной силы, экономичности работы, способности к эффективному управлению движениями.

Со стороны показателей бронхиальной проходимости у игроков Ф и ЗФ в состоянии покоя в теплом помещении различий не обнаруживалось. При выполнении нагрузки в теплом помещении у обеих групп отмечалось увеличение бронхиальной проходимости на уровне мелких и средних бронхов. Причем различий между группами игроков после нагрузки так же не наблюдали.

Иная картина наблюдалась при обследовании обследуемых в состоянии покоя на холоде. У игроков ЗФ отмечалось уменьшение бронхиальной проходимости на уровне крупных и средних бронхов. У игроков Ф снижалась бронхиальная проходимость на всех уровнях, степень снижения была выше — все показатели в состоянии покоя были ниже, чем в группе ЗФ.

При выполнении физической нагрузки на холоде у игроков ЗФ наблюдали увеличение всех показателей. Но, учитывая, что у данной группы на холоде в покое были снижены показатели бронхиальной проходимости на уровне крупных и средних бронхов, прирост возвращал их до ис-

ходных величин, которые фиксировались в состоянии покоя в тепле. В то же время показатели проходимости мелких бронхов существенно увеличивались по сравнению с исходным уровнем.

У игроков Ф реакция на физическую нагрузку на холоде существенно отличалась от игроков ЗФ. Все показатели бронхиальной проходимости после физической нагрузки на холоде у игроков Ф были достоверно ниже, чем у игроков ЗФ.

По данным литературы, при чрезмерно интенсивной мышечной работе в условиях низкой температуры потребление кислорода не возрастает по сравнению с выполнением нагрузки при стандартной температуре. Возможно, что в этом случае импульсация с рецепторов мышц оказывается более мощной, чем импульсация с терморецепторов кожи, на которую действует холодовой раздражитель, и терморегуляторное усиление обмена в связи с охлаждением не наступает. Эти сведения указывают на зависимость адаптивных изменений в организме от степени охлаждения в процессе занятий зимними видами спорта [22].

Таким образом, у обеих групп спортсменов реализуются физиологические механизмы перестройки дыхательной системы — в ответ на физическую нагрузку увеличивается проходимость мелких бронхов, что способствует усилению поглощения кислорода, а при холодовом воздействии, прежде всего, снижается проходимость крупных и средних бронхов, что способствует снижению теплопотерь в легких. При выполнении физической нагрузки на холоде эти два механизма вступают в определенное противоречие друг с другом, тем самым снижая эффективность работы системы дыхания. В то же время у адаптированных лиц — игроков группы ЗФ, реакция системы дыхания на холодовое воздействие выражена слабее, что указывает на развитие у этих спортсменов фенотипических механизмов адаптации к физическим нагрузкам в условиях холода.

Для объяснения механизмов выявленных различий можно привлечь имеющиеся в литературе данные о функциональных перестройках системы дыхания у спортсменов. При физических нагрузках, выполняемых при комнатной температуре, отключаются механизмы, направленные на экономию работы дыхания и сердца. К обеспечению кислородного запроса организма подключается структурный компонент диффузии, увеличивается альвеолярный объем — в том числе за счет расширения мелких бронхов [23-26].

При холодовом воздействии включается срочная реакция ограничения дыхательного объема за счет сужения верхних отделов воздухоносных путей, которая достигает максимума через 10–20 мин. У людей, адаптированных к холодовым воздействиям, реакция через 10 мин исчезает,

а у неадаптированных сохраняется, приводя к гипоксии [27-29].

Физическая нагрузка ожидаемо способствовала существенному увеличению концентрации лактата в крови у всех спортсменов. При этом, если нагрузка выполнялась в тепле, различия между группами отсутствовали. При выполнении же нагрузки в условиях холода увеличение концентрации лактата у игроков группы Ф было достоверно выше, чем у игроков группы ЗФ. Концентрация лактата в капиллярной крови является важным показателем эффективности работы энергообеспечивающих механизмов — прежде всего кислородтранспортных систем и аэробного потенциала скелетных мышц [30, 31].

Результаты корреляционного анализа позволяют предположить, что физическая нагрузка, выполняемая на холоде, у адаптированных спортсменов (группа ЗФ) способствует усилению сопряжения между системами дыхания и кровообращения, выстраиванию функциональной системы, характеризующейся сильными связями и обеспечивающей оптимальную адаптацию к сочетанному воздействию физических нагрузок и холода. Об этом может свидетельствовать увеличение числа корреляционных связей между показателями различных систем и их силы. В то же время у неадаптированных лиц (группа Ф) в условиях сочетания физической нагрузки и холодового воздействия, напротив, происходит рассинхронизация взаимодействия систем дыхания и кровообращения (количество и сила корреляционных связей снижаются), что приводит к снижению адаптационных способностей [32, 33].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют определить основные закономерности физиологической адаптации игроков в зимний футбол. Спортивная тренировка в зимнем футболе формирует ряд физиологических особенностей, которые способствуют усилению сопряжения между системами дыхания и кровообращения, выстраиванию более жесткой функциональной системы, характеризующейся сильными связями и обеспечивающей оптимальную адаптацию к сочетанному воздействию физических нагрузок и холода. Учет этих особенностей и разработка специальных тренировочных программ, направленных на их оптимизацию, будут способствовать увеличению функционального резерва кардиореспираторной системы спортсменов и, как следствие, росту спортивных результатов.

**Финансирование работы.** Исследование выполнено при поддержке Программы развития ТГУ (“Приоритет-2030”) и темы № ААА-А-А21-121011990040-8.

**Соблюдение этических стандартов.** Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета (Томск), протокол № 33 от 02.12.2019 г.

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Вклад авторов в публикацию.** Идея работы и планирование эксперимента — Л.В. Капилевич, сбор и обработка данных — А.А. Ильин, Л. Цзяо, Ф. Сяо, написание и редактирование статьи — Л.В. Капилевич, А.А. Ильин, С.Г. Кривошеков, одобрение финальной версии статьи, подлежащей публикации — С.Г. Кривошеков и Л.В. Капилевич.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ильин А.А., Андреев В.И., Искакова Г.С. Зимний футбол как средство физического воспитания студентов технического вуза // Теория и практика физической культуры. 2008. № 7. С. 24.
- Капилевич Л.В., Гужов Ф.А., Бредихина Ю.П., Ильин А.А. Физиологические механизмы обеспечения точности и координации движений в условиях неустойчивого равновесия и движущейся цели (на примере ударов в спортивном каратэ) // Теория и практика физической культуры. 2014. № 12. С. 22.
- Ильин А.А., Марченко К.А., Капилевич Л.В. Состояние и перспективы развития зимнего футбола в регионах России // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 369. С. 151.
- Castellani J.W., Tipton M.J. Cold Stress Effects on Exposure Tolerance and Exercise Performance // Compr. Physiol. 2015. V. 6. P. 443.
- Кривошеков С.Г., Балиоз Н.В., Водяницкий С.Н., Пинигина И.А. Индивидуальные особенности адаптации к физическим нагрузкам в условиях холодного климата / Адаптация человека в экологическом и социальном условиям Севера. Сыктывкар, Екатеринбург: УрО РАН, 2012. С. 90.
- Gatterer H., Dünwald T., Turner R. et al. Practicing Sport in Cold Environments: Practical Recommendations to Improve Sport Performance and Reduce Negative Health Outcomes // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. V. 18. № 18. P. 9700.
- Mäkinen T.M., Hassi J. Health problems in cold work // Ind. Health. 2009. V. 47. № 3. P. 207.
- Nimmo M. Exercise in the cold // J. Sports Sci. 2004. V. 22. № 10. P. 898.
- Rintamaki H. Human responses to cold // Alaska Med. 2007. V. 49. Suppl. 2. P. 29.
- Doubt T.J. Physiology of exercise in the cold // Sports Med. 1991. V. 11. № 6. P. 367.
- Нагорнов М.С., Давлетьярова К.В., Ильин А.А., Капилевич Л.В. Физиологические особенности техники броска футболистов с нарушениями опорно-двигательного аппарата // Теория и практика физической культуры. 2015. № 7. С. 8.
- Кабачкова А.В., Фролова Ю.С., Дмитриева А.М. и др. Изменение кровотока нижних конечностей у волейболистов при выполнении одномоментной функциональной пробы // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 388. С. 219.
- Попова И.Е., Германов Г.Н., Цуканова Е.Г. Особенности региональной гемодинамики у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2010. № 2. С. 104.
- Кабачкова А.В., Фролова Ю.С., Капилевич Л.В. Реакция регионарного кровотока нижних конечностей на ступенчатую эргометрическую нагрузку у спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2014. № 10. С. 16.
- Bergh U., Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. 1979. V. 46. № 5. P. 885.
- Баженов Ю.И. Термогенез и мышечная деятельность при адаптации к холоду. Л.: Наука, 1981. 105 с.
- Бочаров М.И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2015. № 2. С. 5.
- Garcia-Retortillo S., Javierre C., Hristovski R. Cardiorespiratory coordination in repeated maximal exercise // Front. Physiol. 2017. V. 8. P. 387.
- Аршинова Н.Г., Викулов А.Д., Ботин А.И. Сопряженность физиологических механизмов регуляции сердечной деятельности и кроветворения у спортсменов // Вестник ЮУрГУ. 2009. № 27. С. 26.
- Баранова Е.А., Капилевич Л.В. Функциональная адаптация сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 383. С. 176.
- Racinais S., Oksa J. Temperature and neuromuscular function // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2010. V. 20. Suppl 3. P. 1.
- Petrofsky J.S., Burse R.L., Lind A.R. The effect of deep muscle temperature on the cardiovascular responses of man to static effort // Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 1981. V. 47. № 1. P. 7.
- Шишкин Г.С., Устюжанинова Н.В., Гульятеева В.В. Функциональная организация системы внешнего дыхания при физической нагрузке // Бюллетень СО РАМН. 2012. Т. 32. № 6. С. 69.

24. Шишкин Г.С., Устюжанинова Н.В. Дыхание в условиях низких температур // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2013. № 50. С. 9.
25. Carlsen K.H. Sports in extreme conditions: The impact of exercise in cold temperatures on asthma and bronchial hyper-responsiveness in athletes // Br. J. Sports Med. 2012. V. 46. № 11. P. 796.
26. Kennedy M.D., Faulhaber M. Respiratory function and symptoms post cold air exercise in female high and low ventilation sport athletes // Allergy Asthma Immunol. Res. 2018. V. 10. № 1. P. 43.
27. Гудков А.Б., Попова О.Н. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во Северного гос. мед. ун-та, 2012. 252 с.
28. Пинигина И.А., Макарова Н.В., Кривошеков С.Г. Структурно-функциональные изменения сердечно-сосудистой системы при высоких спортивных нагрузках у коренных жителей Якутии // Физиология человека. 2010. Т. 36. № 2. P. 130.
29. Stensrud T., Berntsen S., Carlsen K.H. Exercise capacity and exercise-induced bronchoconstriction (EIB) in a cold environment // Respir. Med. 2007. V. 101. № 7. P. 1529.
30. Schlader Z.J., Stannard S.R., Mundel T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise — a prospective review // Physiol. Behav. 2010. V. 99. № 3. P. 269.
31. Фисенко В.И. Физическая работоспособность при экстремальном действии холода // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2010. № 1. С. 162.
32. Кривошеков С.Г., Урюмцев Д.Ю., Гуляева В.В., Зинченко М.И. Кардио-респираторная координация при острой гипоксии у легкоатлетов-бегунов // Физиология человека. 2021. Т. 47. № 4. P. 80.
33. Gulyaeva V.V., Uryumtsev D.Y., Zinchenko M.I. et al. Cardiorespiratory coordination in hypercapnic test before and after high-altitude expedition // Front. Physiol. 2021. V. 12. P. 673570.
- adaptation to physical activity in cold climates] (Human adaptation to the environmental and social conditions of the North). Syktyvkar: Ural. Otd. Russ. Akad. Nauk, 2012. P. 90.
6. Gatterer H., Dünwald T., Turner R. et al. Practicing Sport in Cold Environments: Practical Recommendations to Improve Sport Performance and Reduce Negative Health Outcomes // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2021. V. 18. № 18. P. 9700.
7. Mäkinen T.M., Hassi J. Health problems in cold work // Ind. Health. 2009. V. 47. № 3. P. 207.
8. Nimmo M. Exercise in the cold // J. Sports Sci. 2004. V. 22. № 10. P. 898.
9. Rintamaki H. Human responses to cold // Alaska Med. 2007. V. 49. Suppl. 2. P. 29.
10. Doubt T.J. Physiology of exercise in the cold // Sports Med. 1991. V. 11. № 6. P. 367.
11. Nagornov M.S., Davlet'yarova K.V., Il'in A.A., Kapilevich L.V. [Physiological features of shot technique of football players with musculoskeletal disorders] // Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. 2015. № 7. P. 8.
12. Kabachkova A.V., Frolova Yu.S., Dmitrieva A.M. et al. [Blood flow change in the lower extremities of volleyball players during functional tests] // Vestnik of Tomsk State University. 2014. № 388. P. 219.
13. Popova I.E., Germanov G.N., Tsukanova E.G. [Particularities of regional hemodynamics among the middle distance runners] // Scientific notes of Lesgaft University. 2010. № 2. P. 104.
14. Kabachkova A.V., Frolova Yu.S., Kapilevich L.V. [Reaction of lower limb regional blood flow to step ergometric load in athletes] // Theory and Practice of Physical Culture. 2014. № 10. P. 16.
15. Bergh U., Ekblom B. Physical performance and peak aerobic power at different body temperatures // J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol. 1979. V. 46. № 5. P. 885.
16. Bazhenov Yu.I. [Thermogenesis and muscle activity during adaptation to cold]. L.: Nauka, 1981. 105 p.
17. Bocharov M.I. [Thermoregulation in cold environments (review)] // J. Med. Biol. Res. 2015. № 2. P. 5.
18. Garcia-Retortillo S., Javierre C., Hristovski R. Cardiorespiratory coordination in repeated maximal exercise // Front. Physiol. 2017. V. 8. P. 387.
19. Arshinova N.G., Vikulov A.D., Botin A.I. Associativity of physiological mechanisms of warm activity and hematoses regulation at sportsmen // Bulletin of SUSU. 2009. № 27. P. 26.
20. Baranova E.A., Kapilevich L.V. [Functional adaptation of the cardiovascular system in athletes exercising in cyclic sports] // Bulletin of Tomsk State University. 2014. № 383. P. 176.
21. Racinais S., Oksa J. Temperature and neuromuscular function // Scand. J. Med. Sci. Sports. 2010. V. 20. Suppl 3. P. 1.

## REFERENCES

1. Ilyin A.A., Andreev V.I., Iskakova G.S. [Winter football as a means of physical education for students of a technical university] // Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. 2008. № 7. P. 24.
2. Kapilevich L.V., Guzhov F.A., Bredikhina Yu.P., Il'in A.A. [Physiological mechanisms to ensure accuracy and coordination of movements under conditions of unstable equilibrium and moving target (the case of strikes in sports karate)] // Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury. 2014. № 12. P. 22.
3. Ilyin A.A., Marchenko K.A., Kapilevich L.V. [Status and prospects of winter football Russian regions] // Bulletin of Tomsk State University. 2013. № 369. P. 151.
4. Castellani J.W., Tipton M.J. Cold Stress Effects on Exposure Tolerance and Exercise Performance // Compr. Physiol. 2015. V. 6. P. 443.
5. Krivoshchekov S.G., Balioz N.V., Vodyanitskii S.N., Pinigina I.A. [Individual characteristics of

22. *Petrofsky J.S., Burse R.L., Lind A.R.* The effect of deep muscle temperature on the cardiovascular responses of man to static effort // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1981. V. 47. № 1. P. 7.
23. *Shishkin G.S., Ustyuzhaninova N.V., Gulyaeva V.V.* [Functional organization of respiratory system during physical activity] // *Bull. Sib. Branch Russ. Acad. Med. Sci.* 2012. V. 32. № 6. P. 69.
24. *Shishkin G.S., Ustyuzhaninova N.V.* [Respiration at low temperatures conditions] // *Bulletin of Physiology and Pathology of Breathing.* 2013. № 50. P. 9.
25. *Carlsen K.H.* Sports in extreme conditions: The impact of exercise in cold temperatures on asthma and bronchial hyper-responsiveness in athletes // *Br. J. Sports Med.* 2012. V. 46. № 11. P. 796.
26. *Kennedy M.D., Faulhaber M.* Respiratory function and symptoms post cold air exercise in female high and low ventilation sport athletes // *Allergy Asthma Immunol. Res.* 2018. V. 10. № 1. P. 43.
27. *Gudkov A.B., Popova O.N.* [External respiration of humans in the European North]. Arkhangelsk: Publishing House of the Northern State Medical University, 2012. 252 p.
28. *Pinigina I.A., Makharova N.V., Krivoshchekov S.G.* Structural-functional changes in the cardiovascular system during high athletic activity in aboriginals of Yakutia // *Human Physiology.* 2010. V. 36. № 2. P. 238.
29. *Stensrud T., Berntsen S., Carlsen K.H.* Exercise capacity and exercise-induced bronchoconstriction (EIB) in a cold environment // *Respir. Med.* 2007. V. 101. № 7. P. 1529.
30. *Schlader Z.J., Stannard S.R., Mundel T.* Human thermoregulatory behavior during rest and exercise – a prospective review // *Physiol. Behav.* 2010. V. 99. № 3. P. 269.
31. *Fisenko V.I.* [Physical performance under extreme cold] // *Bulletin of the Northern State Medical University.* 2010. № 1. P. 162.
32. *Krivoshchekov S.G., Uryumtsev D.Yu., Gulyaeva V.V., Zinchenko M.I.* Cardiorespiratory coordination in acute hypoxia in runners // *Human Physiology.* 2021. V. 47. № 4. P. 429.
33. *Gulyaeva V.V., Uryumtsev D.Y., Zinchenko M.I. et al.* Cardiorespiratory coordination in hypercapnic test before and after high-altitude expedition // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 673570.

## Physiological Features of the Response of the Respiratory and Circulation Systems to Physical Load in Students Engaged in Winter Football

**L. V. Kapilevich<sup>a, b, \*</sup>, A. A. Ilyin<sup>c</sup>, L. Jiao<sup>a</sup>, F. Xiao<sup>a</sup>, S. G. Krivoshchekov<sup>d</sup>**

<sup>a</sup>*National Research Tomsk State University, Russia*

<sup>b</sup>*National Research Tomsk Polytechnic University, Russia*

<sup>c</sup>*Tomsk University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia*

<sup>d</sup>*Scientific Research Institute of Neuroscience and Medicine, Novosibirsk, Russia*

\*E-mail: kapil@yandex.ru

Adaptive changes in the circulatory and respiratory systems under the influence of winter football training were studied. 50 men aged 21–25 years — 3rd–4th year students — were examined: control group — 25 people specializing in “soccer” (S), main group — 25 people studying in the specialization “winter football” (WF). The examination was performed twice — before and after physical activity. Running (average pace, 180 steps/min) for 15 minutes was used as dosed physical activity. The loads were performed either indoors at a temperature of plus 22–24°C, or in winter outside at a temperature of minus 18–20°C. Indoor and outdoor surveys were carried out on different days. Assessment of peripheral blood flow in the lower extremities was performed using rheography; to assess the main blood flow in the femoral artery, Doppler ultrasound was used. The study of external respiration functions was carried out using pneumotachography. The lactate concentration in capillary blood was determined photometrically. It has been shown that physical activity performed in the cold in adapted athletes (WF group) promotes increased integration between the respiratory and circulatory systems, ensuring the formation of a functional system characterized by stronger connections for optimal adaptation to the combined effects of physical activity and cold. In athletes training indoors (group S) under conditions of a combination of physical activity and cold exposure, on the contrary, desynchronization of the interaction of the respiratory and circulatory systems occurs, which leads to a decrease in adaptive reserves. Thus, sports training in winter football triggers phenotypic adaptive changes and creates a number of physiological mechanisms that promote increased integration between the respiratory and circulatory systems, providing optimal adaptation to the combined effects of physical activity and cold. The obtained facts will be useful for the development of special training programs aimed at increasing the functional reserve of the cardiorespiratory system of athletes training in cold conditions.

*Keywords:* winter football, cold, physical activity, peripheral blood flow, external respiration.