

Д.А. Шелухин, С.С. Алексанин, В.Ю. Рыбников, А.И. Павлов

ШКАЛА ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТАБЕЛЬНОСТИ И ВЕРОЯТНОСТИ ЛЕТАЛЬНОГО ИСХОДА ТЯЖЕЛОБОЛЬНЫХ И ПОСТРАДАВШИХ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России
(Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Актуальность. Существующие традиционные шкалы для оценки тяжести состояния пациента и вероятности летального исхода не учитывают важных параметров предстоящей медицинской эвакуации.

Цель – разработка шкал оценки транспортабельности «ШОТ» и вероятности летального исхода «ШОТ–летальность» тяжелобольных и пострадавших в чрезвычайных ситуациях (ЧС) на этапах медицинской эвакуации всеми видами транспорта и стационарного лечения пациентов всех возрастных групп.

Методология. Проанализировали 217 клинических случаев медицинской эвакуации различными видами транспорта в условиях применения традиционных методов интенсивной терапии (n = 149) и метода экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) (n = 68), сопряженного с рефрактерной дыхательной и/или циркуляторной недостаточностью у пострадавших в ЧС и тяжелобольных всех возрастных групп. Влияние медицинской эвакуации на состояние пациентов оценивали непосредственно в ходе ее выполнения и через 72 ч от момента ее окончания как сопряженного периода. Создание новых шкал, оценивающих транспортабельность и вероятность летального исхода, осуществляли посредством однофакторного прогнозирования, формирования рискованных классов развития и логистического регрессионного моделирования целевых показателей «Исход–смерть», «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента». Наиболее значимые из них отобрали для новых шкал.

Результаты и их анализ. С помощью логистической регрессионной модели влияния транспортировки на состояние пациента разработана шкала транспортабельности «ШОТ»: $y = \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7) / 1 + \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7)$, где y – оценка транспортабельности пациента; x_1 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 110$); x_2 (возраст ≥ 65 лет); x_3 (VIS ≥ 4 баллов); x_4 ($\text{PaCO}_2 \geq 55$ мм рт. ст.); x_5 ($\text{SvO}_2 \leq 60\%$); x_6 (ЧСС ≥ 127 уд/мин); x_7 (применение ЭКМО). В зависимости от условий эвакуации созданы поправочные коэффициенты для: $x_1 - 0,75$, если пациенту предстоит транспортировка самолетом, $x_6 - 0,65$, если масса тела пациента менее 10 кг. Результаты переведены в 100-балльную систему оценок: до 30 баллов пациент может быть эвакуирован; от 30 до 70 – может эвакуирован только в условиях продолжающейся интенсивной терапии; при более 70 – эвакуация невозможна до стабилизации состояния на уровень субкомпенсированного. Разработана также 100-балльная шкала «ШОТ–летальность»: $y = \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10}) / 1 + \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10})$, где y – вероятность исхода – смерть; x_1 (лактат ≥ 8 ммоль/л), x_2 (возраст ≥ 65 лет), x_3 (креатинин ≥ 300 мкмоль/л), x_4 (продолжительность ИВЛ ≥ 7 сут), x_5 (билирубин ≥ 102 мкмоль/л), x_6 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 110$), x_7 (СЛР), x_8 (VIS ≥ 4 баллов), x_9 ($\text{PaCO}_2 \geq 70$ мм рт. ст.), x_{10} ($\text{SvO}_2 \leq 50\%$). Шкала по программе ROC-анализа (AuROC = 0,83; $p < 0,001$) показала более высокую чувствительность, специфичность и эффективность в сравнении с традиционными шкалами «APACHE-IV & Mortality Rate», «SOFA & Mortality Rate», шкалой оценки витальных систем (ШОВС).

Заключение. Разработанные шкалы оценки транспортабельности «ШОТ» и вероятности летального исхода «ШОТ–летальность» обладают лучшей чувствительностью, эффективностью и показателем ROC-кривой, чем традиционные шкалы, а стало быть имеют более высокую рекомендацию для описания состояния пострадавшего в ЧС и тяжелобольного всех возрастных категорий и принятия решения о тактике его предстоящей медицинской эвакуации, в том числе, с применением ЭКМО в условиях санитарно-авиационной эвакуации самолетом.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, медицинская эвакуация, шкала оценки, транспортабельность, ЭКМО.

✉ Шелухин Даниил Александрович – канд. мед. наук, зав. отделом анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0002-2510-002X, e-mail: shelldan@mail.ru;

Алексанин Сергей Сергеевич – д-р мед. наук проф., чл.-кор. РАН, директор, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000001-6998-166, e-mail: medicine@nrcerm.ru;

Рыбников Виктор Юрьевич – д-р мед. наук, д-р психол. наук проф., зам. директора по науч., учеб. работе, медицине катастроф, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0001-5527-9342, e-mail: rvikirina@mail.ru;

Павлов Андрей Иванович – зав. отд. скор. мед. помощи, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), e-mail: pavlov_md@mail.ru

Введение

Оценка тяжести состояния пострадавшего в чрезвычайной ситуации (ЧС) и тяжелобольного до и при осуществлении медицинской эвакуации, формирование прогноза вероятности летального исхода и угрожающих жизни состояний пациента в ходе транспортировки и в раннем периоде после ее окончания – все это является важными «инструментами» врача на этапе планирования. Именно с учетом этого должны решаться целый ряд задач: медицинская сортировка, целесообразность этапной эвакуации, сроки ее проведения, задействования оптимальных сил и средств для ее выполнения, включая применение высокотехнологичных методов поддержания жизненно важных функций и лечения. Важным также является и юридическая составляющая, которая требует от врача объективизации в оценке тяжести состояния, прогнозах и принятии решений, основанных на количественных показателях (шкалах), показавших свою эффективность с позиции доказательной медицины, а не субъективного оценочного суждения отдельно взятого специалиста или даже их группы.

Опыта и знаний клиницистов не всегда достаточно для принятия правильных решений, касающихся медико-эвакуационных задач тяжелобольных и пострадавших в чрезвычайных ситуациях, особенно в условиях дефицита времени. Особые затруднения возникают в случае необходимости предсказания летального исхода, а также оценки значимости предстоящей эвакуации как негативного фактора, способного отрицательно повлиять на состояние пострадавшего в ЧС и тяжелобольного. Прогнозирование способствует оптимальному распределению ресурсов здравоохранения (человеческих, лекарственных, технических, финансовых) и обоснованному выбору стратегии этапной эвакуации и лечения. Опыт нескольких десятилетий показал, что доставка наиболее тяжелой категории пострадавших в ЧС и тяжелобольных в медицинские учреждения, где может быть оказана специализированная, в том числе, высокотехнологичная медицинская помощь, значимо увеличивает вероятность благоприятного исхода [1–5]. Тем не менее, применение высокотехнологичных методов поддержания жизненно важных функций и лечения в случае изначально низких шансов выживаемости, особенно при массовом поступлении пострадавших в ЧС и тяжелобольных с последующими летальными исходами на этапах медицинской эвакуации и стационарного лечения, может трактоваться

как необоснованная трата ресурсов здравоохранения, которые могли бы быть использованы для пациентов с более благоприятным прогнозом выздоровления. С другой стороны – законное право родственников пациентов о получении информации о тяжести состояния, прогнозе и принятой стратегии использования методов лечения требует от медицинского сообщества применения обоснованных объективных решений с отражением прогноза выживаемости и рисков негативных событий на всех этапах оказания медицинской помощи, включая эвакуацию.

В настоящее время существуют достаточно много шкал, оценивающих состояние пациента, есть общие [Scale for the Assessment of Positive Symptoms (SAPS-II), Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE-IV), Sequential Organ Failure Assessment (SOFA), Multiple Organ Dysfunction Score (MODS), Modified Early Warning Score (MEWS), Шкала оценки витальных систем (ШОВС)] и специализированные с акцентом на той или иной нозологии с привязкой к специальности [Injury Severity Score (ISS), Adult Social Care Outcomes Toolkit (ASCOT), Glasgow Coma Scale (GCS), Traumatic Brain Injury (TBI), National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS), Военно-полевая хирургия – механическое повреждение (огнестрельное ранение), ВПХ–МП(ОР), Ваух score] или целесообразности применения высокотехнологичных методов лечения, например, экстракорпоральной мембранной оксигенации [Survival After Venous-Arterial ECMO (SAVE), Respiratory ECMO Survival Prediction (RESP)] и заместительной почечной терапии [Risk Injury Failure Loss of kidney function and End-stage kidney disease (RIFLE)]. Лишь немногие из них учитывают фактор потенциальной предстоящей транспортировки и могут быть применимы на этапе медицинской эвакуации для оценки вероятности прогноза негативного влияния самой транспортировки на состояние пострадавшего в ЧС и тяжелобольного [Prediction of Respiratory Deterioration After Transfer in Critically Ill Patients, Transfer of Critically Ill Patients with a Contagious Infectious Disease, Rapid Acute Physiology Score (RAPS), Interhospital Air Transport Score (IATS), Шкала оценки транспортабельности, г. Екатеринбург, 2000].

В настоящее время нет шкалы, которая бы учитывала, помимо состояния пациента и вероятности летального исхода, так же и фактор применения экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО), как новой высокотехно-

логичной технологии поддержания жизненно важных функций и медицинской помощи, и ее влияние на состояние пациента и прогноз выживаемости, в том числе, на этапе медицинской эвакуации и последующего стационарного лечения. Кроме того, в настоящее время нет специализированной шкалы, оценивающей транспортабельность пациента, в том числе, в условиях санитарно-авиационной эвакуации, подразумевающей значимое (до 570 мм рт. ст.) снижение барометрического давления в кабине воздушного судна (самолета) на высоте эшелона более 2,5 км. Шкала IATS не прогнозирует потенциальное влияние снижения барометрического давления в ходе набора воздушным судном высоты на физиологическое состояние пациента, ограничиваясь лишь оценкой его исходного (на земле) статуса. Также ранее описанные шкалы, за исключением изначально разработанных для детского и неонатального возраста [Neonatal Stabilization Score (NSS), Transport Risk Index of Physiologic Stability for Newborn Infants (TRIPS)], не учитывают, как правило, возрастную физиологию детского и младенческого возраста, а потому по определению не могут быть универсальными для всех возрастных категорий.

Цель – разработать шкалы «ШОТ» и «ШОТ-летальность», которые могли бы прогнозировать транспортабельность и летальность пострадавших в ЧС и тяжелобольных на этапах медицинской эвакуации, в том числе, санитарно-авиационной, и стационарного лечения.

Материал и методы

Проанализировали 217 клинических случаев медицинской эвакуации, которые были разделены на две группы: 1-я (n = 68), в которой применяли ЭКМО, и 2-я (n = 149), в которой использовали традиционные методы интенсивной терапии, сопряженные с дыхательной и/или циркуляторной недостаточностью у пострадавших в ЧС и тяжелобольных.

Влияние медицинской эвакуации на состояние пациентов оценивали до, непосредственно в ходе ее осуществления и далее через 72 ч от момента ее окончания как сопряженного периода. В исследовании у пострадавших в ЧС и тяжелобольных были проанализированы: возраст, пол, рост, масса тела, диагноз основной и осложнения, продолжительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ) до начала медицинской эвакуации, объемы применения гемотранфузионных компонентов, частота и продолжительность применения

заместительной почечной терапии, частота проведения сердечно-легочной реанимации (СЛР), фактор применения ЭКМО, а также вид транспорта при осуществлении медицинской эвакуации. В структуре общего количества выполненных медицинских эвакуаций санитарно-авиационные посредством самолета (именно этот вид транспорта сопряжен со значимым изменением барометрического давления в кабине в ходе транспортировки) составили 42 (19,4%).

Для формирования правильного прогноза рисков медицинской эвакуации, в том числе, в условиях ЭКМО и определения ее целесообразности, выбрали ряд статистических приемов: однофакторное прогнозирование, формирование рисков классов развития и логистическое регрессионное моделирование целевых показателей «Исход – смерть», «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента», «Необходимость увеличения жесткости параметров ИВЛ и/или ЭКМО, и/или увеличения доз миметиков, и/или других устройств вспомогательного кровообращения», которые, в свою очередь, оценивали как количественные целевые переменные (отклик). Влияние транспортировки на пациентов можно было видеть в эскалации ряда событий: от необходимости «жесткости» параметров проводимой терапии с отрицательной динамикой ряда физиологических и лабораторных показателей, несмотря на предпринимаемые изменения. Крайним проявлением негативного влияния транспортировки были случаи летального исхода в интервале времени от начала проведения медицинской эвакуации и последующих 72 ч от момента ее окончания. В исследовании под целевыми показателями «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента» и «Необходимость увеличения жесткости параметров ИВЛ и/или ЭКМО, и/или увеличения доз миметиков, и/или других устройств вспомогательного кровообращения» анализировались целый ряд физиологических параметров:

- центральной нервной системы: уровень сознания по шкале Глазго (Glasgow Coma Scale, CS), балл;
- системной гемодинамики: систолического (АДсист.), диастолического (АДдиаст.) и среднего (САД) артериального давления, мм рт. ст.; частоты сердечных сокращений (ЧСС), уд/мин; сердечного выброса (СВ), л/мин;
- респираторной поддержки: фракции кислорода во вдыхаемой кислородно-воздушной смеси FiO_2 , %; положительного давления в кон-

це выдоха (Positive End Expiratory Pressure, PEEP), см вод. ст.; минутной вентиляции легких (Minute Ventilation, MV), мл/мин; дыхательного объема (Tidal Volume, Vt), мл;

– лабораторных значений газообмена: напряжения углекислого газа в артериальной крови (P_aCO_2), напряжения кислорода в артериальной крови (P_aO_2), напряжения углекислого газа в венозной крови (P_vCO_2), напряжения кислорода в венозной крови (P_vO_2), мм рт. ст.; сатурация артериальной крови (S_aO_2), сатурация венозной крови (S_vO_2), %; Horowitz Index (P_aO_2/FiO_2), ед.;

– кислотно-основного состояния (КОС): pH, ед., избыток оснований (Base Excess, BE), ммоль/л;

– клинические лабораторные: лактат, ммоль/л; креатинин, мкмоль/л; билирубин, мкмоль/л;

– параметров ЭКМО в 1-й группе пациентов: целевые обороты центрифужного насоса (Pump Rate), об/мин; поток крови (Q), мл/мин; газоток через оксигенатор (FiO_2), л/мин и %;

– необходимость применения адренергических медикаментов (Vasoactive Inotropic Score, VIS), балл;

– другие методы вспомогательного кровообращения: внутриаортальная баллонная контрапульсация (Intra Aortic Balloon Pump, IABP), аппарат механической компрессии грудной клетки для сердечно-легочной реанимации (LUCAS).

В общей сложности для этих целевых показателей: «Исход–смерть», «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента», «Необходимость увеличения жесткости параметров ИВЛ и/или ЭКМО, и/или увеличения доз миметиков, и/или других устройств вспомогательного кровообращения» проанализировали 25 признаков, в дальнейшем с помощью статистических приемов отобрали наиболее значимые для возможности прогнозного моделирования и, в конечном итоге, создания новых шкал (формул) «ШОТ» и «ШОТ–летальность».

Одной из задач исследования стал поиск возможности быстрого прогнозирования вероятности негативного влияния транспортировки на состояние пациента в ходе предполагаемой медицинской эвакуации пострадавших в ЧС и тяжелобольных, в том числе, с применением ЭКМО. Регрессионное моделирование позволило определить структуру и степень влияния сразу нескольких факторов на количественные целевые переменные (отклик) и сформировать прогнозные значения на основе новых данных.

Для анализа структуры регрессионной модели применялись коэффициенты регрессии и бета-коэффициенты. Коэффициенты регрессии показывают на сколько единиц в среднем будет изменяться целевой показатель, если соответствующий коэффициент увеличится на 1 единицу своего масштаба, таким образом, коэффициенты регрессии служат для количественной интерпретации влияния факторов по отношению к отклику. Для сравнения степени влияния факторов между собой на целевую переменную используются специальные стандартизованные бета-коэффициенты. Кроме того, для оценки статистической значимости каждого фактора рассчитывается достоверность ошибки (p) на основе критерия Стьюдента. Статистическая значимость коэффициента представляла надежную интеграцию фактора в общую регрессионную модель.

Результаты и их анализ

При логистическом регрессионном моделировании и анализе рисков негативного влияния медицинской эвакуации на состояние пациента разработана модель «Негативное влияние транспортировки на состояние пациента». Были выделены наиболее значимые факторы ($p < 0,05$), оказывающие максимальное влияние на целевую переменную (отклик), имеющие при этом клиническую значимость:

x_1 – показатель $P_aO_2/FiO_2 \leq 110$, если транспортировка самолетом, показатель умножается на коэффициент 0,75;

x_2 – возраст пациента ≥ 65 лет;

x_3 – показатель VIS ≥ 4 баллов;

x_4 – показатель $P_aCO_2 \geq 55$ мм рт. ст.;

x_5 – показатель $S_vO_2 \leq 60$ %;

x_6 – показатель ЧСС ≥ 127 уд/мин, если масса пациента меньше 10 кг, умножается на коэффициент 0,65;

x_7 – применение ЭКМО.

Если фактор x_1 – x_7 соответствовал условию уровня (точки) отсечения, значит фактор оценивался как 1, если не соответствовал – 0.

Статистически значимая логистическая регрессионная модель «ШОТ» имеет вид:

$$y = \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7) / (1 + \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7)),$$

где y – оценка транспортабельности пациента;

x_1 – x_6 – факторы, оказывающие негативное влияние на транспортабельность пациента;

x_7 – фактор применения ЭКМО, оказывающий положительное влияние на транспортабельность пациента, посредством коррекции дыхательной и/или циркуляторной недостаточности.

Результаты переведены в 100-балльную систему оценки:

до 30 баллов – состояние пациента компенсированное, и он может быть эвакуирован;

от 30 до 70 баллов – субкомпенсированное, пациент может быть эвакуирован только в условиях продолжающейся интенсивной терапии;

при более 70 баллов – декомпенсированное, пациент не может быть эвакуирован до стабилизации состояния на уровень субкомпенсированного на фоне продолжающейся интенсивной терапии, включая применение ЭКМО, после чего повторно (как правило, через 1 ч) рассматривается возможность выполнения межгоспитальной медицинской эвакуации.

В ходе анализа для x_1 и x_6 были разработаны поправочные коэффициенты. Для x_1 применяется дополнительный коэффициент 0,75, т.е. PaO_2/FiO_2 надо умножить на 0,75, после чего сопоставить полученное значение с уровнем (точкой) отсечения фактора, если пациенту предстоит транспортировка самолетом, коррекция учитывает понижение барометрического давления в кабине воздушного судна относительно атмосферного давления до 570–620 мм рт. ст., что эквивалентно высоте 1524–2448 м над уровнем моря, данный коэффициент разработан на основе собственных наблюдений в ходе медицинской эвакуации и обзора научных исследований [6].

Для x_6 используется дополнительный коэффициент 0,65 [т.е. ЧСС надо умножить на 0,65, после чего сопоставить полученное значение с уровнем (точкой) отсечения фактора, см. выше], если масса тела пациента менее 10 кг (упрощенный вариант), можно также применять коэффициент относительно возраста пациента (0,5 – до 1 мес, 0,6 – до 1 года, 0,7–4 года, 0,8 – 8 лет, 0,9 – 12 лет, 1,0 – старше 12 лет соответственно), данные коэффициенты разработаны самостоятельно методом математического моделирования на основе знаний нормальной физиологии, а также обзора подобных коэффициентов по литературным данным [7, 8].

В дальнейшем был проведен сравнительный ROC-анализ специфичности, чувствительности и эффективности шкал. Причем в качестве точки отсечения для шкал, характеризующей сопоставимую тяжесть состояния пациента, были приняты, соответственно, следующие значения: «ШОТ» ≥ 56 баллов, «APACHE-IV» ≥ 70 , «ШОВС 0–12» ≥ 9 .

По результатам ROC-анализа (0,83; $p = 0,001$) шкала «ШОТ» показала более высокую чувствительность (82%), специфичность (69,2%)

и эффективность (75,6%) для оценки транспортабельности пострадавшего в ЧС и тяжелобольного в сравнении с известными шкалами «APACHE-IV» (45,8, 85,5 и 65,6% соответственно) и «ШОВС 0–12» (45,9, 79,0 и 62,4% соответственно). Перечисленные шкалы обладают более высокими значениями этих же параметров в сравнении с другими: «SOFA», «SAVE», «RESP», которые применяли на начальном этапе исследования для сравнительной оценки тяжести и потенциального негативного влияния транспортировки.

Полагаем, что шкала «ШОТ» имеет более высокую рекомендацию для описания состояния пострадавшего в ЧС и тяжелобольного всех возрастных категорий и принятия решения о тактике предстоящей медицинской эвакуации, в том числе, с использованием ЭКМО и в условиях санитарно-авиационной транспортировки с применением самолета.

Следующей задачей исследования стало, с помощью прогнозного моделирования, определение влияния наиболее значимых ключевых факторов на «Исход–смерть». На основе исходных данных, используемых в исследовании, были выбраны наиболее значимые факторы с характерной точкой отсечения показателя, которая определялась по статистической достоверности ($p < 0,05$). Общее количество этих факторов, влияющих на «Исход–смерть», которые в конечном итоге вошли в шкалу «ШОТ–летальность», было ограничено минимально достаточным с точки зрения улучшения характеристик специфичности, чувствительности и эффективности данной формулы посредством ROC-анализа в сравнении с известными (традиционными) инструментами «APACHE-IV Mortality Rate» и «SOFA Mortality Rate». Причем в качестве точки отсечения для шкал, характеризующей сопоставимую вероятность летального исхода по оценке исходного состояния тяжести до начала транспортировки, были приняты следующие значения: «ШОТ–летальность» – ≥ 37 баллов, «SOFA Mortality Rate» – $\geq 50\%$, «APACHE-IV Mortality Rate» – $\geq 30\%$.

Из наиболее значимых факторов была сформирована математическая модель, которая предсказывает результат исхода ключевого показателя «Исход–смерть»:

- x_1 – показатель лактата ≥ 8 ммоль/л;
- x_2 – показатель $SvO_2 \leq 50\%$;
- x_3 – показатель креатинина ≥ 300 мкмоль/л;
- x_4 – возраст ≥ 65 лет;
- x_5 – показатель $PaO_2/FiO_2 \leq 110$;
- x_6 – продолжительность ИВЛ ≥ 7 сут;
- x_7 – показатель билирубина ≥ 102 мкмоль/л;

Сопоставление балльного интервала шкалы «ШОТ–летальность» с фактической летальностью общей выборки пациентов (n = 217)

«ШОТ–летальность», балл	0–20 (n = 41)	20–40 (n = 105)	40–60 (n = 36)	60–80 (n = 26)	80 и более (n = 5)
Фактическая летальность, %	9,8 (n = 4)	29,5 (n = 31)	66,7 (n = 24)	84,6 (n = 22)	100 (n = 5)

x_8 – проведение СЛР;
 x_9 – показатель $PaCO_2 \geq 70$ мм рт. ст.;
 x_{10} – показатель $VIS \geq 4$ баллов.

Далее по аналогии с формулой «ШОТ» для «ШОТ-летальность» была рассчитана логистическая регрессионная модель, которая с помощью коэффициентов, отражающих степень значимости влияния фактора на «Исход–смерть», была трансформирована в 100-балльную шкалу.

Статистически значимая логистическая регрессионная модель «ШОТ–летальность» имеет вид:

$$y = \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10}) / 1 + \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10}),$$

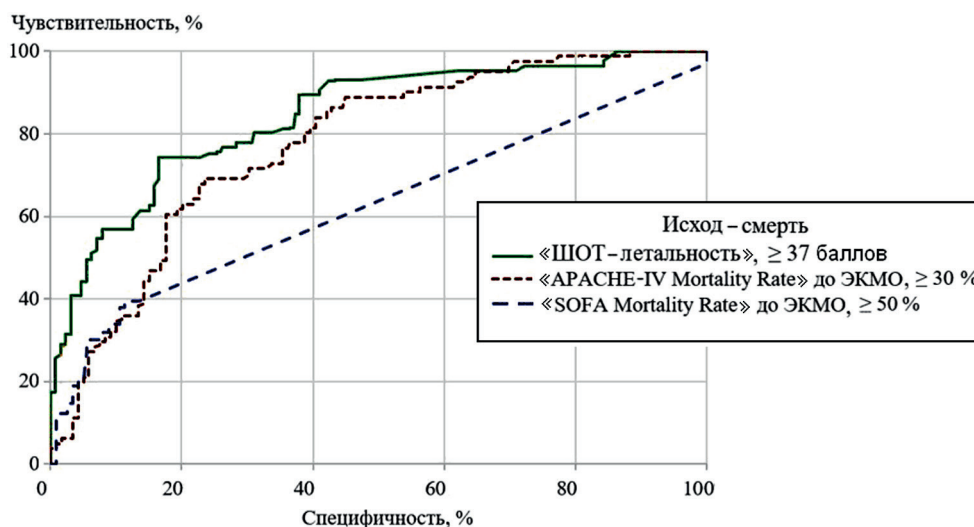
где y – вероятность исхода – смерть;

$x_1 - x_{10}$ – факторы, влияющие на летальный исход пациента.

Максимальное значение шкалы «ШОТ–летальность» – 100 баллов, интуитивно это сделано для аналогии оценки вероятности летального исхода в процентах, как это принято в традиционных шкалах «SOFA Mortality Rate» и «APACHE-IV Mortality Rate». В таблице приведены соотношения летальности в баллах, оцененной с помощью шкалы «ШОТ–летальность» и полученной статистическим анализом общей выборки пациентов с исходно разными категориями по тяжести состояния.

Можно сделать вывод, что пациенты, набравшие до 40 баллов, имеют риск летального исхода менее 30%, в то время как пациенты, набравшие более 60 баллов, – более 85%. Пациенты, набравшие более 80 баллов, имеют риск летального исхода, приближенного к 100%, тем не менее, общее количество в выборке этой категории пациентов относительно невелико (5 человек), что возможно требует увеличения общей выборки клинических случаев для лучшей статистической достоверности прогноза по шкале «ШОТ–летальность» у пациентов, набравших более 80 баллов (см. таблицу). Интерпретируя показатели пациентов, набравших более 80 баллов по шкале «ШОТ–летальность», следует воздержаться от принятия решения о целесообразности выполнения межгоспитальной медицинской эвакуации, продолжив лечение на месте имеющимися силами и средствами.

На рисунке представлена визуальная демонстрация характеристик ROC-анализа для трех шкал вероятности прогноза летального исхода, которые применялись на начальном этапе исследования. На основании имеющихся данных и выполненного ROC-анализа, оказалось, что новая шкала «ШОТ–летальность» обладает лучшей чувствительностью (74,4%) и точностью прогноза (79%) по сравнению с традиционными шкалами «APACHE-IV Mortality Rate» (68,8 и 72,6% соответственно) и «SOFA Mortality Rate» (38,8 и 62,6% соот-



ROC-кривые «ШОТ–летальность», «SOFA Mortality Rate» и «APACHE-IV Mortality Rate» для показателя исход–смерть.

ветственно и имеет высокую специфичность (83,5 %) прогноза вероятности летального исхода ($p < 0,001$) для пострадавших в ЧС и тяжелобольных для принятия решения о целесообразности выполнения медицинской эвакуации.

Заключение

В ходе исследования разработаны новые шкалы оценки транспортабельности «ШОТ» и вероятности летального исхода «ШОТ–ле-

тальность», которые обладают лучшей чувствительностью, специфичностью и эффективностью, чем традиционные шкалы, и могут быть рекомендованы для практического применения и оценки транспортабельности и летальности пострадавших в чрезвычайных ситуациях и тяжелобольных всех возрастных групп при принятии решения о возможности их медицинской эвакуации, в том числе, с применением ЭКМО и в условиях санитарно-авиационной эвакуации самолетом.

Литература

1. Чернов Д.А., Камбалов М.Н. Современная система оказания медицинской помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях : учеб.-метод. пособие. Гомель : ГомГМУ, 2018. 84 с.
2. Баранова Н.Н., Гончаров С.Ф. Современное состояние проблемы организации и проведения медицинской эвакуации пострадавших в чрезвычайных ситуациях // Медицина катастроф. 2020. № 4(112). С. 57–65. DOI: 10.33266/2070-1004-2020-4-57-65.
3. Агаджанян В.В., Шаталин А.В., Кравцов С.А. [и др.]. Основные аспекты межгоспитальной транспортировки пациентов с политравмой, находящихся в критическом состоянии // Общ. реаниматология. 2006. Т. 2, № 5-6, С. 35–39.
4. Полюшкин К.С., Шевченко А.В. Оптимизация хирургической тактики пострадавшим с политравмой в условиях Краснодарского края // Травма 2017: мультидисциплинарный подход: сб. тез. междунар. конф. Воронеж : Науч. кн., 2017. С. 306–307.
5. Yazdani M., Mojtahedi M., Loosemore M. [et al.]. Hospital evacuation modelling: A critical literature review on current knowledge and research gaps // Intern. J. Disaster Risk Reduction. 2021. Vol. 66, N 3. Art. 102627. DOI: 10.1016/j.ijdr.2021.102627.
6. Pérez-Padilla R., Hernández-Cárdenas C.M., Lugo-Goytia G. Classifying acute respiratory distress syndrome severity: correcting the arterial oxygen partial pressure to fractional inspired oxygen at altitude // Rev. Invest. Clin. 2016. Vol. 68, N 4. P. 169–170.
7. Acker S.N., Ross J.T., Partrick D.A. [et al.]. Pediatric specific shock index accurately identifies severely injured children // J. Pediatr. Surg. 2015. Vol. 50, N 2. P. 331–334. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2014.08.009.
8. Nordin A., Shi J., Wheeler K., Xiang H., Kenney B. Age-adjusted shock index: From injury to arrival // J. Pediatr. Surg. 2019. May. Vol. 54, N 5. P. 984–988. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2019.01.049.

Поступила 01.02.2023 г.

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

Участие авторов: Д.А. Шелухин, А.И. Павлов – концепция исследования, сбор первичных данных, обзор литературных данных, подготовка предварительного и окончательного вариантов статьи, формирование списка литературы, перевод, транслитерация списка литературы, подготовка иллюстраций; С.С. Алексанин, В.Ю. Рыбников – редактирование статьи.

Для цитирования. Шелухин Д.А., Алексанин С.С., Рыбников В.Ю., Павлов А.И. Шкала оценки транспортабельности и вероятности летального исхода тяжелобольных и пострадавших в чрезвычайных ситуациях // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2023. № 1. С. 78–86. DOI 10.25016/2541-7487-2023-0-1-78-86

Transportability Assessment Scale (TAS) and transportation associated mortality (TAS–mortality) critical patients and patients with emergency-related injuries

Shelukhin D.A., Aleksanin S.S., Rybnikov V.Yu., Pavlov A.I.

Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia
(4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia)

✉ Daniil Alexandrovich Shelukhin – PhD Med. Sci., Chief of the department of anesthesiology and Intensive Care Unit, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2510-002X>, e-mail: shelldan@mail.ru;

Sergey Sergeevich Aleksanin – Dr. Med. Sci. Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 000-0001-6998-166, e-mail: medicine@nrccrm.ru;

Viktor Jur'evich Rybnikov – Dr. Med. Sci., Dr. Psychol. Sci. Prof., Deputy Director (Science and Education, Emergency Medicine), Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID 0000-0001-5527-9342, e-mail: medicine@nrccrm.ru;

Andrey Ivanovich Pavlov – Chief of the department of Emergency Medical Service, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), e-mail: pavlov_md@mail.ru

Abstract

Relevance. The existing traditional tools (scales) to assess severity of the patient's condition and death probability do not take into account a set of crucial parameters for the upcoming medical evacuation.

The objective is to develop the Transportability Assessment Scale (TAS) and transportability-associated mortality (TAS-mortality) tool to evaluate critical patients and patients injured in emergency situations (ES) of all age groups at different stages of medical evacuation using all types of transportation, followed by inpatient treatment.

Methods. In total, we analyzed N=217 clinical cases of medical evacuation using different types of transportation in combination with either traditional intensive care (n=149, control group) or ECMO (n=68, trial group) due to refractory respiratory and/or circulatory insufficiency in all age groups. Once the patients embarked on medical evacuation, they were immediately split in groups to assess their condition while transportation and within the next 72 hours (associated period). A new scale (formula) to assess patient's transportability and probability of mortality, including in the ECMO setting, was formulated based on the following statistical techniques: one-factor forecasting, risk classes of disorder development and logistic regression modeling applied to such target indicators as "death", "transportation negative impact on patient's condition" and other factors. Most significant factors were further embedded in the new transportability and probability of death assessment scale (formula).

Results and discussion. The Transportability Assessment Scale (TAS) was developed using logistic regression model measuring the impact of transportation on the patient's condition: $y = \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7) / 1 + \exp(37 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 20 \cdot x_3 + 16 \cdot x_4 + 21 \cdot x_5 + 27 \cdot x_6 - 27 \cdot x_7)$, where: y – transportability assessment of patient; x_1 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 110$); x_2 (Age ≥ 65 years); x_3 (VIS ≥ 4 points); x_4 ($\text{PaCO}_2 \geq 55$ mm Hg); x_5 ($\text{SvO}_2 \leq 60\%$); x_6 (HR ≥ 127 beats per minute); x_7 (ECMO application). Depending on the evacuation conditions, correction factors were as follows: $x_1 - 0.75$ if the patient is to be transported by plane, $x_6 - 0.65$ if the patient's body weight is less than 10 kg. The results were translated into a 100-point scoring system: patients scoring up to 30 points were available for evacuation; 30 to 70 indicated evacuation to be performed in ongoing intensive care setting; over 70 indicated impossibility of evacuation until the patient is stabilized and subcompensated. We also developed the new TAS-mortality 100-point scale: $y = \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10}) / 1 + \exp(29 \cdot x_1 + 16 \cdot x_2 + 11 \cdot x_3 + 10 \cdot x_4 + 9 \cdot x_5 + 7 \cdot x_6 + 7 \cdot x_7 + 6 \cdot x_8 + 4 \cdot x_9 + 1 \cdot x_{10})$, where: y – probability of outcome – death; x_1 (lactate ≥ 8 mmol/L), x_2 (age ≥ 65 лет), x_3 (creatinine ≥ 300 $\mu\text{mol/L}$), x_4 (duration of mechanical ventilation ≥ 7 days), x_5 (bilirubin ≥ 102 $\mu\text{mol/L}$), x_6 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 110$), x_7 (CPR), x_8 (VIS ≥ 4 points), x_9 ($\text{PaCO}_2 \geq 70$ mm Hg), x_{10} ($\text{SvO}_2 \leq 50\%$). TAS-mortality scale complemented by the ROC analysis program (AuROC = 0.83; $p < 0.001$), showed higher sensitivity, specificity and efficacy in comparison with traditional scales APACHE-IV & Mortality Rate, SOFA & Mortality Rate, Scale of Assessment of Vital System (ShOVS).

Conclusion. The proposed Transportability Assessment Scale (TAS) and transportation associated mortality (TAS-Mortality) scale have better sensitivity, efficiency and ROC-curve than traditional scales, and therefore could be actively recommended to describe the state of emergency victims or critical patients of all age categories, as well as to make decisions regarding medical evacuation, including ECMO and medical jets.

Keywords: emergency medicine, medical evacuation, assessment scale, transportability, ECMO.

References

- Chernov D.A., Kambalov M.N. Sovremennaya sistema okazaniya meditsinskoj pomoshchi postradavshim v chrezvychainykh situatsiyakh [Modern system of providing medical care to victims in emergency situations]. Gorny. 2018. 84 p. (In Russ.)
- Baranova N.N., Goncharov S.F. Sovremennoe sostoyaniye problemy organizatsii i provedeniya meditsinskoj evakuatsii postradavshikh v chrezvychainykh situatsiyakh [Current state of the problem of organizing and conducting medical evacuation of victims in emergencies]. *Meditsina katastrof* [Disaster medicine]. 2020; (4): 57–65. DOI: 10.33266/2070-1004-2020-4-57-65. (In Russ.)
- Agadzhanian V.V., Shatalin A.V., Kravtsov S.A. [et al.]. Osnovnye aspekty mezhgospital'noi transportirovki patsientov s politravmoi, nakhodyashchikhsya v kriticheskom sostoyanii [Basic aspects of interhospital transportation of critically ill patients with polytrauma]. *Obshchaya reanimatologiya* [General reanimatology]. 2006; 2(5-6):35–39. (In Russ.)
- Polyushkin K.S., Shevchenko A.V. Optimizatsiya khirurgicheskoi taktiki postradavshim s politravmoi v usloviyakh Krasnodarskogo kraya [Optimization of surgical tactics for patients with polytrauma in the conditions of the Krasnodar Territory]. *Travma 2017: mul'tidistsiplinarnyi podkhod* [Trauma 2017: a multidisciplinary approach]: Scientific. Conf. Proceedings. Voronezh. 2017; 306–307. (In Russ.)
- Yazdani M., Mojtahedi M., Loosemore M. [et al.]. Hospital evacuation modelling: A critical literature review on current knowledge and research gaps. *Intern. J. Disaster Risk Reduction*. 2021; 66(3):102627. DOI: 10.1016/j.ijdr.2021.102627.
- Pérez-Padilla R., Hernández-Cárdenas C.M., Lugo-Goytia G. Classifying acute respiratory distress syndrome severity: correcting the arterial oxygen partial pressure to fractional inspired oxygen at altitude. *Rev. Invest. Clin.* 2016; 68(4):169–170.

7. Acker S.N., Ross J.T., Partrick D.A. [et al.]. Pediatric specific shock index accurately identifies severely injured children. *J. Pediatr. Surg.* 2015; 50(2):331–334. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2014.08.009.

8. Nordin A., Shi J., Wheeler K., Xiang H., Kenney B. Age-adjusted shock index: From injury to arrival. *J. Pediatr. Surg.* 2019; 54(5):984–988. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2019.01.049.

Received 01.02.2023

For citing: Shelukhin D.A., Aleksanin S.S., Rybnikov V.Yu., Pavlov A.I. Shkala otsenki transportabel'nosti (ShOT) i veroyatnosti letal'nogo iskhoda (ShOT-letal'nost') tyazhelobol'nyh i postradavshih v chrezvychajnyh situatsiyah. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychainykh situatsiyakh.* 2023; (1):78–86. **(In Russ.)**

Shelukhin D.A., Aleksanin S.S., Rybnikov V.Yu., Pavlov A.I. Transportability Assessment Scale (TAS) and transportation associated mortality (TAS–mortality) critical patients and patients with emergency-related injuries. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations.* 2023; (1):78–86. DOI 10.25016/2541-7487-2023-0-1-78-86