

<https://doi.org/10.47183/mes.2026-479>

УДК 616-037



НЕИНВАЗИВНЫЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ В КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЯХ: ОТ ГЕМОДИНАМИКИ ДО МЕТАБОЛИЗМА (СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Е.Ю. Берсенев^{1,2✉}, Т.А. Лапина³, О.В. Курилова¹, Е.О. Селло¹, Л.А. Давыдова^{3,4}, С.В. Царенко^{3,4}, К.С. Горбунов¹

¹ Научно-исследовательский институт системной биологии и медицины Роспотребнадзора, Москва, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта Роспотребнадзора, Москва, Россия

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», Москва, Россия

Введение. Современная медицина критических состояний ориентирована на интегративный мониторинг в реальном времени, объединяющий оценку гемодинамики, вегетативной регуляции и метаболизма для раннего выявления рисков и оптимизации терапии. Однако, несмотря на технический прогресс, в широкой реанимационной практике сохраняется высокая потребность в систематизации сведений именно о тех параметрах, которые остаются доступными для быстрого измерения, оценки и коррекции лечения непосредственно в процессе наблюдения, вне зависимости от специфики оснащения конкретного стационара.

Цель. Определение возможности использования методов неинвазивной оценки гемодинамики, вегетативного тонуса и лабораторных биомаркеров для прогнозирования и упреждающего управления рисками.

Материалы и методы. Систематический обзор выполнен в соответствии с рекомендациями PRISMA 2020. Проведен поиск с помощью поисковой системы Google Scholar, а также в библиографических базах PubMed/MEDLINE, PИИЦ (eLIBRARY), КиберЛенинка и реестре ClinicalTrials.gov за период 2010–2025 гг. Включали оригинальные исследования и систематические обзоры, посвященные неинвазивному гемодинамическому мониторингу, оценке диастолического шокового индекса (ДШИ), отношению частоты сердечных сокращений к температуре тела (ЧСС/Т), а также уровню лактата и его клиренсу у взрослых пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. Из-за гетерогенности исследований проведен качественный анализ данных.

Обсуждение. Рассмотрены технологии неинвазивного гемодинамического мониторинга (метод разгруженной артерии, биореактанс, торакальная биоимпедансная спектроскопия) и прогностические индексы. Показано, что ДШИ более 2,2 мм рт. ст./мин является независимым предиктором летальности при септическом шоке, особенно при динамической оценке и в комбинации с уровнем лактата. Значение ЧСС/Т > 20,5 уд/мин/°С отражает нарушение вегетативной регуляции и ассоциировано с неблагоприятным исходом при сепсисе, осложненной инфекционной патологии и сердечной недостаточности. Недостижение клиренса лактата (< 10% за 6 ч) более значимо, чем его исходный уровень, и служит ключевым метаболическим маркером. Наибольшая эффективность достигается при многопараметрической интеграции данных.

Заключение. Современный подход к мониторингу в интенсивной терапии должен быть многомерным и динамическим. Комплексное использование неинвазивного гемодинамического мониторинга, простых расчетных индексов (ДШИ, ЧСС/Т) и биомаркеров (лактат) позволяет создать целостную предиктивную модель состояния пациента. Перспективными направлениями развития мониторинга являются персонализация пороговых значений и интеграция данных в системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: интенсивная терапия; неинвазивный гемодинамический мониторинг; диастолический шоковый индекс; лактат; клиренс лактата; прогноз; септический шок; критическое состояние

Для цитирования: Берсенев Е.Ю., Лапина Т.А., Курилова О.В., Селло Е.О., Давыдова Л.А., Царенко С.В., Горбунов К.С. Неинвазивный мониторинг и прогностические индикаторы в критических состояниях: от гемодинамики до метаболизма (систематический обзор). *Экстремальная биомедицина*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-479>

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания (ФБУН НИИ СБМ Роспотребнадзора) № 122030900062-5 на проведение прикладных научных исследований.

Благодарности: авторы выражают глубокую благодарность д-ру физ.-мат. наук Свешниковой А.Н. за ценные научные консультации и плодотворные дискуссии в ходе подготовки рукописи, а также за важные замечания, способствовавшие улучшению содержания статьи.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Берсенев Евгений Юрьевич bersenev_evgenii@mail.ru

Статья поступила: 10.03.2026 **После доработки:** 23.04.2026 **Принята к публикации:** 06.05.2026 **Online first:** 22.07.2026

NON-INVASIVE MONITORING AND PROGNOSTIC INDICATORS IN CRITICAL CONDITIONS: FROM HEMODYNAMICS TO METABOLISM (SYSTEMATIC REVIEW)

Evgeny Yu. Bersenev^{1,2✉}, Tatiana A. Lapina³, Olga V. Kurilova¹, Ekaterina O. Sello¹, Lyubov A. Davydova^{3,4}, Sergei V. Tsarenko^{3,4}, Konstantin S. Gorbunov¹

¹Scientific Research Institute for Systems Biology and Medicine of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Moscow, Russia

²All-Russian Research Institute of Transport Hygiene of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴National Medical Research Treatment and Rehabilitation Centre, Moscow, Russia

Introduction. Modern critical care medicine focuses on integrative real-time monitoring that combines the assessment of hemodynamics, autonomic regulation, and metabolism to enable early detection of risks and optimization of therapy. However, despite technological advances, there remains a high demand in routine intensive care practice for the systematization of information precisely on those parameters that remain amenable to rapid measurement, evaluation, and treatment adjustment during ongoing patient observation, regardless of the specific equipment available in a given hospital.

Objective. Determination of the feasibility of using non-invasive methods for assessing hemodynamics, autonomic tone, and laboratory biomarkers for prognosis and proactive risk management.

Materials and methods. This systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. A search was performed using Google Scholar, as well as the bibliographic databases PubMed/MEDLINE, RSCI (eLIBRARY), CyberLeninka, and the ClinicalTrials.gov registry for the period 2010–2025. Original research and systematic reviews addressing non-invasive hemodynamic monitoring, assessment of the diastolic shock index (DSI), the heart-rate-to-body-temperature ratio (HR/T), as well as blood lactate levels and lactate clearance in adult patients admitted to intensive care units were included. Due to heterogeneity among the studies, a qualitative data synthesis was performed.

Discussion. Technologies of non-invasive hemodynamic monitoring (the unloaded artery method, bioactance, thoracic bioimpedance spectroscopy) and prognostic indices were reviewed. A DSI > 2.2 mmHg/min has been shown to be an independent predictor of mortality in septic shock, particularly when used with dynamic assessment and combined with lactate levels. A HR/T > 20.5 bpm/°C reflects impaired autonomic regulation and is associated with an unfavorable outcome in sepsis, complicated infectious diseases, and heart failure. Failure to achieve lactate clearance (< 10% over 6 h) is more informative than its initial level and serves as a key metabolic marker. The greatest predictive utility is achieved through multi-parameter data integration.

Conclusions. The modern approach to monitoring in intensive care should be multidimensional and dynamic. The complementary use of non-invasive hemodynamic monitoring, simple calculated indices (DSI, HR/T), and biomarkers (lactate) enables the creation of an integrated predictive model of the patient's condition. Promising directions for the development of monitoring include the personalization of threshold values and the integration of data into clinical decision support systems.

Keywords: intensive care; non-invasive hemodynamic monitoring; diastolic shock index; lactate; lactate clearance; prognosis; septic shock; critical condition

For citation: Bersenev E.Yu., Lapina T.A., Kurilova O.V., Sello E.O., Davydova L.A., Tsarenko S.V., Gorbunov K.S. Non-invasive monitoring and prognostic indicators in critical conditions: from hemodynamics to metabolism (systematic review). *Extreme Medicine*. 2026. <https://doi.org/10.47183/mes.2026-479>

Funding: the study was carried out within the framework of a state assignment (Research Institute for Systems Biology and Medicine) No. 122030900062-5 for applied scientific research.

Acknowledgements: the authors express their deep gratitude to Dr. Sci. (Phys.-Math.) A.N. Sveshnikova for valuable scientific advice and fruitful discussions during the preparation of the manuscript, as well as for important remarks that helped improve the content of the article.

Potential conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

✉ Evgeny Yu. Bersenev bersenev_evgenii@mail.ru

Received: 10 Mar. 2026 **Revised:** 23 Apr. 2026 **Accepted:** 06 May 2026 **Online first:** 22 July 2026

ВВЕДЕНИЕ

Медицина критических состояний и интенсивная терапия XXI века интегрируют современные технологические достижения и данные фундаментальных клинических исследований в процессы принятия клинических решений и оптимизацию лечебной тактики, направленные на улучшение исходов пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и реализацию принципов персонализированной медицины [1]. В последние годы в клинической практике формируется тенденция отказа от мониторинга отдельных статических параметров в пользу комплексной оценки динамических индексов, отражающих функциональное взаимодействие различных физиологических систем, в частности сердечно-сосудистой, вегетативной

нервной системы и метаболического статуса [2]. Такой подход позволяет рассматривать критическое состояние как совокупность универсальных взаимосвязанных патофизиологических механизмов, таких как нарушение перфузии, гипоксия, воспаление и дисрегуляция автономного контроля [3].

Мониторинг состояния пациента как в ОРИТ, так и во внебольничных экстремальных условиях может проводиться на основе клинического наблюдения без использования специального дорогостоящего стационарного оборудования, особенно когда оно недоступно. Важно подчеркнуть, что развитие экстремальных состояний не ограничивается лицами пожилого возраста или пациентами с тяжелой сопутствующей патологией (коморбидностью). Неинвазивная оценка гемодинамики используется для диагностики

и дифференциации шока наряду с инвазивными методами. Мониторинг жизненно важных показателей, таких как оценка уровня сознания, частоты сердечных сокращений (ЧСС) и частоты дыхания (ЧД), по-прежнему играет ключевую роль в «прикроватной» диагностике, равно как и учет признаков нарушения периферической перфузии (времени капиллярного наполнения), похолодания конечностей и мраморности кожи в сочетании с оценкой разности периферической и центральной температуры тела и почасового объема диуреза [4]. Вместе с тем известна ограниченность изолированных клинических признаков: шок в стадии компенсации может не сопровождаться гипотензией и/или нарушением температурного баланса, но проявляться гиперлактатемией, поэтому о гипоперфузии тканей целесообразно судить на основании совокупности клинических и лабораторных признаков и интегрировать общую клиническую картину для отслеживания динамики¹.

Внедрение в клиническую практику высокотехнологичных неинвазивных и малоинвазивных методов гемодинамического мониторинга открыло новые возможности для получения непрерывной информации о функции сердечно-сосудистой системы [5]. Параллельно с этим продолжается поиск и валидация простых, но информативных прогностических индексов, рассчитываемых на основе стандартных витальных параметров, таких как диастолический шоковый индекс (ДШИ) [6], иных взаимосвязей гемодинамических показателей или пропорций, как, например, отношение частоты сердечных сокращений к температуре тела (ЧСС/Т) [7]. Не теряет своей актуальности и лабораторный биомаркер — лактат, динамика которого является интегральным отражением дизоксии и перфузии тканей и эффективности проводимой терапии [8].

Отмечается прогрессирующий интерес к изучению состояния вегетативной нервной системы (ВНС) при критических состояниях. Для оценки тонуса ВНС широко используется неинвазивный и методологически обоснованный метод анализа вариабельности сердечного ритма (BCR)^{2,3}. Как показал метаанализ R. Maqsood и соавт., отдаленные последствия тяжелой травмы проявляются в снижении показателей BCR, что отражает стойкий дисбаланс ВНС [9] и потенциально объясняет повышенный риск сердечно-сосудистых заболеваний у данной категории пациентов. Спектральный анализ BCR также демонстрирует клиническую значимость в острой фазе: в исследовании X. Luo и соавт. [10] его комбинация со стандартными прогностическими шкалами независимо предсказывала 30-дневную летальность и развитие синдрома полиорганной недостаточности у пациентов с политравмой.

Несмотря на очевидные успехи в разработке отдельных неинвазивных диагностических инструментов и накопление обширных данных о прогностической значимости гемодинамических, вегетативных и метаболических параметров, а также биохимических

и протеомных маркеров, сохраняется потребность в систематизации разнородных данных. Задачи динамической оценки состояния пациента зачастую ограничены рамками специализированных стационаров, тогда как экстремальные состояния, возникающие как в ОРИТ, так и вне их (декомпенсация на догоспитальном этапе при ограниченных ресурсах), требуют унифицированного методологического подхода. В связи с этим актуальным представляется выполнение систематического анализа и синтеза данных литературы о возможностях неинвазивной оценки гемодинамического, вегетативного и метаболического статусов. Обобщение имеющихся доказательств позволит обосновать концепцию динамического мониторинга, интегрирующего рутинные физиологические индексы и прикроватные лабораторные тесты, что может стать основой для формирования прогностических алгоритмов и перехода от изолированных статических показателей к целостной оценке состояния пациента.

Цель работы — определение возможности использования методов неинвазивной оценки гемодинамики, вегетативного тонуса и лабораторных биомаркеров для прогнозирования и упреждающего управления рисками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования и стратегия научного поиска. Систематический обзор результатов исследований был проведен согласно критериям PRISMA 2020⁴. Для минимизации риска смещения отбора независимым исследователем проведен систематический поиск в релевантных электронных базах данных: PubMed/MEDLINE, а также в российских базах данных РИНЦ (eLibrary.ru) и «КиберЛенинка» (Cyberleninka.ru) для учета публикаций на русском языке. Дополнительный поиск проводился в Google Scholar и по реестру клинических испытаний (ClinicalTrials.gov) для выявления незавершенных или неопубликованных исследований. Стратегия поиска включала использование комбинаций ключевых терминов и их синонимов с помощью логических операторов «И» и «ИЛИ». Основные поисковые запросы (на английском языке) формулировали следующим образом: («неинвазивный гемодинамический мониторинг» ИЛИ «непрерывный мониторинг артериального давления» ИЛИ «биореактанс» ИЛИ «электрическая биоимпедансная спектроскопия») И («ОРИТ» ИЛИ «интенсивная терапия»); («диастолический шоковый индекс» ИЛИ «соотношение частоты сердечных сокращений и диастолического давления») И («сепсис» ИЛИ «септический шок» ИЛИ «прогноз»); («соотношение частоты сердечных сокращений и температуры» И «относительная брадикардия» ИЛИ «относительная тахикардия») И («летальность» ИЛИ «исход»); («лактат» ИЛИ «клиренс лактата») И («сепсис» ИЛИ «критическое состояние») И («прогноз» ИЛИ «летальность»). При поиске в русскоязычных

¹ Kulkarni AP, Govil D, Samavedam S, Srinivasan S, Ramasubban S, Venkataraman R, et al. ISCCM Guidelines for hemodynamic monitoring in the critically ill. *Indian Journal of Critical Care Medicine*. 2022;26(Suppl 2):S66–76. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-24301>

² Баевский PM, Кириллов ОИ, Клецкин СЗ. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М.: Наука; 1984.

³ Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Circulation*. 1996;93(5):1043–65. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>

⁴ Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*. 2021;18(3):e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>

базах использовали соответствующий перевод терминов. Из каждого включенного исследования извлекали информацию по стандартизированной форме:

- 1) автор, год публикации, дизайн исследования;
- 2) характеристики исследуемой популяции (численность, нозология, тяжесть состояния);
- 3) изучаемый метод мониторинга или прогностический индекс;
- 4) основные результаты, включая значения показателей в группах сравнения, скорректированные отношения шансов (ОШ) или рисков (ОР) для конечных точек, площадь под ROC-кривой (AUC) и другие достоверные статистические показатели;
- 5) ключевые выводы, касающиеся клинического применения.

Критерии включения и исключения. В анализ включали публикации, соответствующие следующим критериям:

- оригинальные исследования (проспективные и ретроспективные когортные клинические испытания) и систематические обзоры с метаанализом;

- исследуемая популяция — взрослые пациенты отделений реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) с сепсисом, септическим шоком, сердечной недостаточностью, COVID-19, после кардиохирургических вмешательств или с тяжелой сочетанной травмой;
- основная тема — оценка методов неинвазивного гемодинамического мониторинга либо прогностической значимости диастолического шокового индекса, отношения ЧСС/Т или уровня лактата и его динамики;
- оценка конечных точек, включая летальность, длительность пребывания в ОРИТ, развитие органной дисфункции;
- публикация на английском или русском языке.

В обзор не включали исследования, касающиеся пациентов младше 18 лет, беременных женщин, пациентов с печеночной недостаточностью (печеночная энцефалопатия и декомпенсаторная стадия цирроза печени), острой/хронической фибрилляцией предсердий, желудочковой аритмией, постоянным или временным

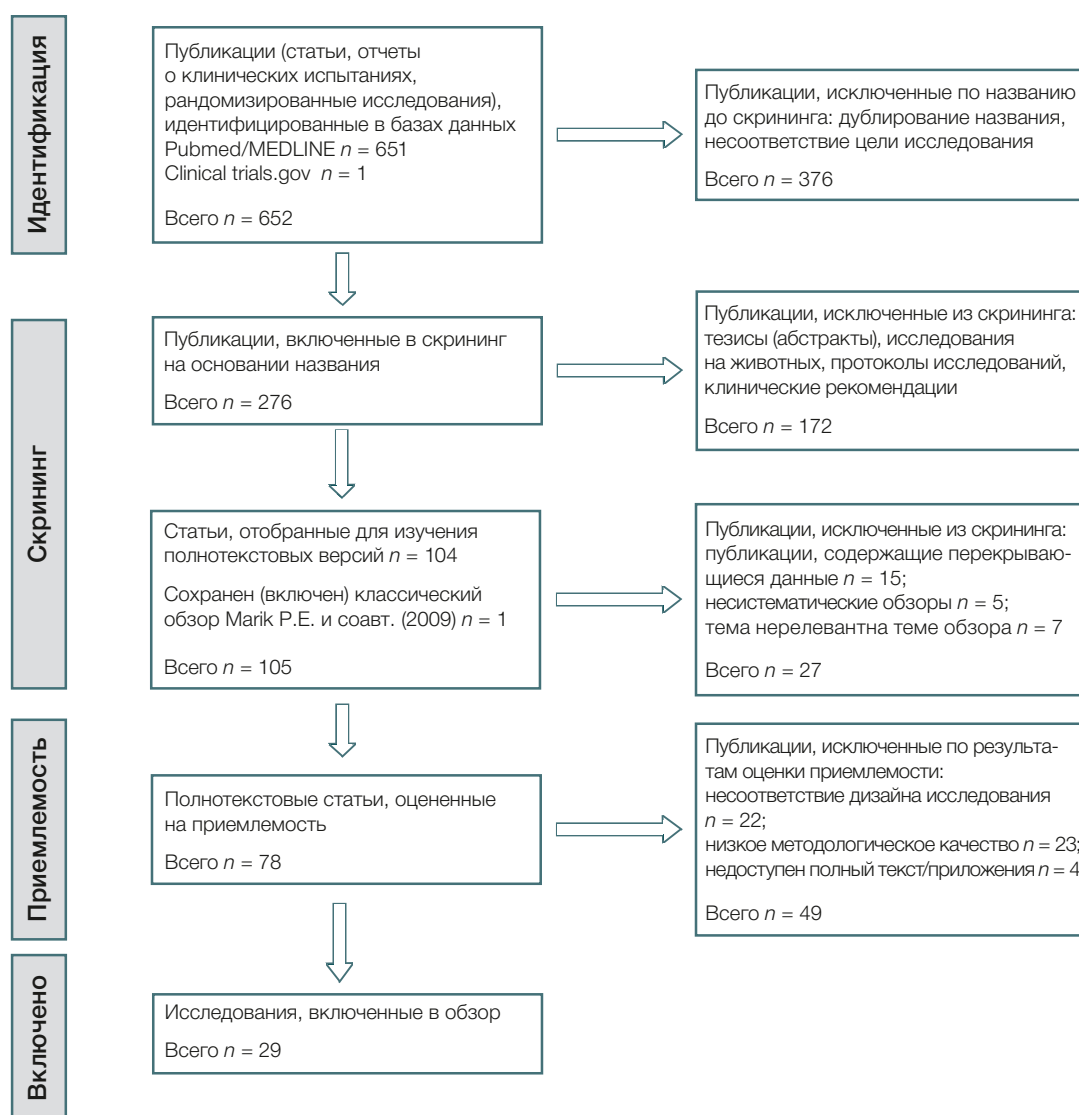


Рисунок подготовлен авторами

Рис. Блок-схема систематического обзора «Неинвазивный мониторинг и прогностические индикаторы в критических состояниях: от гемодинамики до метаболизма»

кардиостимулятором, интоксикациями. Исключались исследования на животных, описания клинических случаев, письма редактору и публикации без доступа к полному тексту.

Выбор исследования и извлечение данных. Первоначальный поиск выявил 652 материала по иско-мой тематике за 15-летний период 2010–2025 гг. После удаления дубликатов и скрининга заголовков и анно-таций на соответствие критериям включения для пол-нотекстового анализа было отобрано 78 публикаций. После углубленной оценки полнотекстовых статей в окончательный анализ вошли 29 публикаций, отвеча-ющих всем критериям включения. Исследования охва-тывали широкий спектр критических состояний: сеп-сис и септический шок ($n = 15$ исследований), COVID-19 ($n = 2$), сердечная недостаточность и кардиогенный шок ($n = 2$), послеоперационный период, в том числе кардиохирургический ($n = 5$), и травма/политравма ($n = 5$).

Оценка качества включенных исследований. Ввиду значительной клинической и методологической ге-терогенности включенных исследований (различные дизайны, популяции пациентов, методы измерения и конечные точки) проведение формального коли-чественного метаанализа было признано нецелесо-образным. Для обобщения результатов применялся метод качественного синтеза с тематическим структу-рированием доказательств и их критической оценкой.

Ограничения:

- включенные исследования обладают значительной методологической гетерогенностью, что исключает возможность проведения метаанализа и формаль-ной оценки качества доказательств для каждого показателя или индекса;
- подавляющее большинство работ носит observa-ционный характер, что не позволяет установить причинно-следственные связи и доказать, что целе-вая терапия, направленная на нормализацию того или иного индекса или показателя, улучшает исхо-ды;
- для многих показателей или индексов, например для отношения ЧСС/Т, требуется дальнейшая вали-дация в крупных проспективных когортах и для раз-личных нозологических групп;
- потенциальным источником снижения качества анализа может являться сужение языковых запро-сов, так как поиск ограничивался английским и рус-ским языками.

ОБСУЖДЕНИЕ

Неинвазивный гемодинамический мониторинг: технологии и клиническая ценность

Из 29 включенных в исследование работ (таблица «Обобщенные данные исследований, включенных в систематический обзор по показателям и методам неинвазивной оценки гемодинамики, вегетативного тонуса и лабораторным биомаркерам, используемым для динамической оценки критических состояний», опубликована на сайте журнала⁵) в 12 публикациях основное внимание уделялось неинвазивным гемоди-

намическим индексам (в том числе в ответ на функ-циональные пробы), в 8 — показателям вегетативного тонуса, в 14 — динамике уровня лактата (в ряде работ оценивали комбинации методов). Задачами анализа являлись обобщение данных о диагностической и про-гностической значимости этих показателей, характе-ристика предлагаемых пороговых значений, оценка ограничений и перспектив клинического применения.

Современные технологии неинвазивного монито-ринга преследуют цель получения информации, со-поставимой по точности с инвазивными методами, но без связанных с ними рисков. Метод разгруженной артерии, лежащий в основе устройств типа Finapres (Finapres Medical Systems, Нидерланды) или CNAP (CNSystems, Австрия), позволяет осуществлять непре-рывное («удар-за-ударом») измерение артериального давления [11]. Метаанализы демонстрируют хорошую согласованность с инвазивным измерением, особенно в динамике, хотя абсолютные значения могут требо-вать периодической калибровки [12]. Достаточно под-робный обзор методов и устройств гемодинамическо-го мониторинга представлен в работе J. Huogh и соавт. [13]. Авторы подчеркивают, что применение этих ме-тодик необходимо для оптимизации медикаментоз-ной терапии, преследующей цели коррекции тканевой гипоперфузии, профилактики полиорганной недоста-точности и улучшения исходов лечения. Ключевыми компонентами такой терапии являются инфузионная нагрузка (коррекция волемического статуса), а также вазопрессорная и инотропная поддержка.

Для прогнозирования реакции пациентов ОРИТ на инфузионную терапию F. Michard и J. Teboul [14] про-анализировали данные клинических исследований на-чиная с 1966 г., и пришли к выводу о превосходстве оценки динамических параметров над статическими. В обзоре C. Iliès и соавт. [12] подтверждаются пред-положения, что ключевым преимуществом является возможность анализа вариабельности ударного объе-ма (ВУО) и значения сердечного выброса (СВ) для про-гнозирования ответа на объемную нагрузку у пациен-тов с сепсисом и септическим шоком, а использование динамических методов оценки реакции на введение жидкости может улучшить выживаемость и снизить риск развития острого почечного повреждения.

Многочисленные метаанализы последних лет сви-детельствуют о высокой диагностической ценности динамических показателей у взрослых пациентов в ОРИТ. Так, в классическом метаанализе P.E. Marik и соавт. было продемонстрировано, что ВУО и вари-абельность пульсового давления (ВПД) позволяют надежно прогнозировать ответ на инфузионную те-рапию у пациентов на искусственной вентиляции лег-ких (ИВЛ), значительно превосходя по точности стати-ческие показатели гемодинамики [16]. Более поздний метаанализ A. Messina и соавт. [17] не только подтвер-дил эти наблюдения, но и позволил провести сравни-тельную оценку различных динамических индексов. Было показано, что, сохраняя валидность в качестве метода прогнозирования, ВУО несколько уступает по точности ВПД и тесту с пассивным подъемом ног.

Ключевым условием применимости всех этих ме-тодов остается контролируемый характер вентиляции

⁵ <https://doi.org/10.47183/mes.2026-479-annex>

и отсутствие аритмий. Однако классические динамические показатели имеют ограничение: их прогностическая ценность снижается при проведении протективной ИВЛ с малыми дыхательными объемами (<8 мл/кг). Решением этой проблемы стало внедрение функционального теста с изменением дыхательного объема. В исследовании S.N. Myatra и соавт. было показано, что кратковременное увеличение дыхательного объема и оценка последовавшего за этим изменения ВУО (ΔВУО) позволяет с высокой точностью предсказать ответ на инфузию даже в условиях низких дыхательных объемов. При этом исходные значения ВУО, измеренные стандартным способом, в такой клинической ситуации оказались неинформативными [18]. С практической точки зрения, с учетом ограниченной доступности инвазивного мониторинга сердечного выброса (устройства PiCCO и Volume View) [19], приоритет в рутинной клинической работе следует отдавать функциональным тестам, оцениваемым на основании ВПД.

Анализ биореактанса (например, система NICOM) и торакальная электрическая биоимпедансная спектроскопия представляют собой методы неинвазивного определения СВ [19]. Система использует высокочастотный ток, подаваемый через электроды, и, в отличие от традиционной кардиоимпедансометрии (реокардиографии), которая измеряет изменения амплитуды сигнала (сопротивления), анализирует фазовый сдвиг между входящим током и измеряемым напряжением, обусловленный изменениями УО при каждом сокращении. Эти технологии демонстрируют хорошую корреляцию с термодилуцией в стабильном состоянии, но могут уступать в точности при быстрых гемодинамических изменениях или у пациентов с сердечной недостаточностью, выраженными отеками; поэтому они, скорее, позволяют отслеживать тенденции изменений гемодинамики для оптимизации терапии. Использование динамической оценки волемической реакции (изменение ударного объема при пассивном подъеме ног) [21] для управления инфузионной терапией у пациентов с септическим шоком безопасно, снижает кумулятивный баланс жидкости и уменьшает потребность в заместительной почечной терапии и ИВЛ [22]. Однако авторы метаанализа [23] пришли к выводу, что электрическая кардиометрия не может заменить термодилуцию и трансторакальную эхокардиографию (ТТэхоКГ) для измерения абсолютных значений СВ.

Поэтому, несмотря на технологический прогресс в развитии неинвазивных мониторинговых методов, их доступность, миниатюризацию, возможность передачи данных по беспроводным каналам, «золотым стандартом» неинвазивной оценки сердечного выброса остается прикроватная эхокардиография (эхоКГ) [24], в том числе устанавливающая влияние основных реакций на введение жидкости и вазоактивные препараты [25]. Она предоставляет исчерпывающую информацию о систолической и диастолической функции желудочков, состоянии клапанов, наличии тампонады или признаков гиповолемии (ударный объем, состояние и коллабирование нижней полой вены) [26]. Существенную роль играет оптимизация сроков проведения ТТэхоКГ с момента поступления в ОПИТ: более раннее

выполнение ТТэхоКГ-диагностики существенно улучшает прогноз смертности у пациентов с септическим шоком [27]. Метод является частью протокола быстрой дифференциальной диагностики причин шока у постели больного (e-FAST). Основными недостатками эхоКГ являются ее дискретность (отсутствие непрерывности мониторинга) и зависимость от квалификации оператора — специалиста по ультразвуковой диагностике.

Диастолический шоковый индекс: от сепсиса к другим критическим состояниям

Диастолический шоковый индекс (ДШИ), рассчитываемый как отношение частоты сердечных сокращений (ЧСС) к диастолическому артериальному давлению (ДАД), проявил себя как более специфичный маркер по сравнению с классическим шоковым индексом Альговера [28] ($ШИ = ЧСС/САД$, где САД — систолическое артериальное давление) для оценки тяжести шока, в особенности септического [29]. Физиологически это объясняется тем, что ДАД является ключевым детерминантом коронарной перфузии, а его снижение на фоне тахикардии напрямую указывает на угрозу кровоснабжения миокарда [30].

Исследование G.A. Ospina-Tascón и соавт. на большой когорте пациентов с септическим шоком показало, что значение $ДШИ > 2,2$ ассоциировано с достоверным увеличением 28-дневной летальности после поправки на тяжесть состояния по шкалам SOFA и APACHE II [6]. Прогностическая ценность ДШИ значительно повышается при его комбинации с другими маркерами. Так, исследование D.S. Kim и соавт. продемонстрировало, что комбинация « $ДШИ > 1,9$ и уровень лактата > 2 ммоль/л» увеличивает отношение шансов 28-дневной смертности в 3,1 раза по сравнению с использованием каждого параметра в отдельности [31].

Важным аспектом является динамическая оценка ДШИ. A. Goury и соавт. подчеркивают, что сохранение повышенного значения ДШИ в первые 6–8 ч у пациента, находящегося в отделении интенсивной терапии, является более прогностически значимым, чем единичное измерение при поступлении, и тесно коррелирует с развитием полиорганной дисфункции [32]. Кроме того, была предложена модификация индекса с учетом дозы вазопрессоров — индекс сосудистой реактивности к норадреналину ($VNERi = ДАД / (доза \text{ норадреналина} \times ЧСС)$). Значения $VNERi < 4,0$ ассоциируются с трехкратным увеличением риска смерти при септическом шоке и могут служить индикатором для раннего добавления вазопрессина [22].

Однако применимость ДШИ не универсальна. При кардиогенном шоке традиционный ДШИ показал меньшую прогностическую силу, чем классический ШИ, что связано с иной гемодинамической природой — преимущественным снижением сердечного выброса при часто сохранном периферическом сопротивлении и, как следствие, ДАД [33]. При черепно-мозговой травме стандартный ДШИ также малоинформативен, однако его модификация с учетом возраста (Age Shock Index (ASI) = $ЧСС/САД \times \text{Возраст}$) может быть использована для прогнозирования 48-часовой летальности [34].

Отношение частоты сердечных сокращений к температуре тела: патофизиологическая и клиническая значимость

Отношение ЧСС/Т тела является отражением сложного взаимодействия между терморегуляцией и сердечно-сосудистой системой, опосредованного реакцией вегетативной нервной системы. В норме повышение температуры тела на 1 °C приводит к компенсаторному увеличению ЧСС приблизительно на 10–15 уд/мин [35]. Отклонение от этого соотношения (относительная брадикардия или тахикардия) свидетельствует о нарушении автономного контроля и может быть маркером тяжести состояния.

Исследование Z. Lin и S. Lin на 1435 пациентах с сепсисом идентифицировало пороговое значение соотношения ЧСС/Т > 20,5 уд/мин/°C как независимый предиктор повышенной 28-дневной летальности [7]. Авторы предположили, что это отражает диспропорциональную активацию симпатической нервной системы и срыв компенсаторных механизмов.

Ярким примером является феномен относительной брадикардии, изученный P. Bistrovic и соавт. у пациентов с COVID-19 [36]. Он определялся как прирост ЧСС менее 10 уд/мин на 1 °C повышения температуры и ассоциировался с менее тяжелым течением заболевания. Напротив, относительная тахикардия (чрезмерный прирост ЧСС) была предиктором неблагоприятного исхода [37]. Это явление может объясняться сохранностью парасимпатической модуляции, оказывающей противовоспалительный эффект, у пациентов с относительной брадикардией [38].

Значимость соотношения подтверждается и при других патологиях. C. Fu и соавт. в многоцентровом исследовании с участием 8829 пациентов с сердечной недостаточностью в ОРИТ показали, что повышение отношения ЧСС/Т независимо ассоциировалось с 28-дневной летальностью, особенно у пожилых пациентов и лиц с фибрилляцией предсердий [39].

Патофизиологическую основу взаимосвязи иллюстрирует более раннее исследование N.T. Mowery и соавт., в котором была выявлена ассоциация между вариабельностью температуры ядра и ВСР независимо от сердечного индекса у пациентов с травмой [40]. Это указывает на общие центральные механизмы регуляции, а снижение вариабельности обоих параметров может служить ранним маркером истощения вегетативных резервов и прогрессирования полиорганной дисфункции.

Лактат: от абсолютного значения к динамике клиренса

Гиперлактатемия давно признана маркером тканевой гипоперфузии и анаэробного метаболизма. Современные исследования подчеркивают, что патофизиология гиперлактатемии сложнее и включает не только гипоксию, но и стресс-индуцированный аэробный гликолиз, нарушение функции печени и др. [41]. Именно эта многогранность объясняет, почему прогностическая ценность лактата сохраняется независимо от стандартных гемодинамических параметров: так, в недавнем анализе исследования CLASSIC было

показано, что ограничительная инфузионная терапия не влияет на время разрешения гиперлактатемии у пациентов с септическим шоком [42].

Ключевым сдвигом парадигмы стало признание первостепенной важности не абсолютного значения лактата при поступлении, а его динамики — клиренса. Проанализировав данные 3299 пациентов с сепсисом, R.R. Bruno и соавт. показали, что отсутствие клиренса лактата (снижения его уровня) в первые 6 ч является мощным независимым предиктором летальности [8]. При этом исходные концентрации лактата в группах с клиренсом и без него не различались. Это согласуется с данными проспективного когортного исследования, в котором задержка клиренса лактата (<10% за 6 ч) была ассоциирована с повышением вероятности летального исхода в 7,67 раза после поправки на возраст и сопутствующую патологию [43].

Наибольшая прогностическая точность достигается при интеграции лактата в многопараметрические модели. Так, в ретроспективном когортном исследовании, выполненном на выборке пациентов в критическом состоянии ($n = 1465$), было показано, что комбинация уровня лактата, его клиренса за 24 ч и балла по шкале APACHE II обладает более высокой прогностической силой в отношении исходов по сравнению с использованием каждого из этих показателей по отдельности [44].

Уникальность лактата как маркера подчеркивается его ролью у специфических групп пациентов. У очень пожилых больных с COVID-19 ($n = 2860$) уровень лактата ≥ 2 ммоль/л и его динамика (Δлактат) оставались независимо ассоциированными со смертностью в ОРИТ после поправки на возраст, шкалу SOFA и индекс/шкалу «хрупкости» (Edmonton Frail Scale, EFS) [45]. Это подтверждает, что уровень лактата выступает самостоятельным прогностическим маркером, дополняющим, но не дублирующим стандартную оценку тяжести состояния.

Современная интенсивная терапия движется по пути интеграции множественных потоков данных — от высокотехнологичного непрерывного мониторинга до простых расчетных индексов и лабораторных биомаркеров. Это отражает стремление к созданию целостной предиктивной физиологической модели пациента, а не просто к реагированию на отдельные отклонения витальных функций [46]. Полученные данные свидетельствуют о комплементарности рассмотренных методов. Так, неинвазивный гемодинамический мониторинг (например, на основе метода разгруженной артерии) предоставляет точные данные для расчета ДШИ в режиме реального времени [6]. В свою очередь, динамика ДШИ может служить ранним индикатором неэффективности проводимой терапии, требующей более глубокой оценки с помощью эхоКГ или определения уровня лактата [8, 32]. Отношение ЧСС/Т, будучи крайне простым в расчете, может выступать в качестве раннего прогностического маркера ухудшения состояния, особенно у пациентов с инфекционными процессами [7, 36]. Лактат же остается «золотым стандартом» метаболического мониторинга, объективно отражая адекватность перфузии на клеточном уровне и эффективность лечения, направленного на ее восстановление [8, 44].

Важнейший вывод заключается в том, что прогностическая ценность практически всех рассмотренных индикаторов значительно возрастает при их динамической оценке. Статическое, разовое измерение уступает по значимости наблюдению за трендом во времени. Это смещает акцент с констатации факта шока или органной дисфункции на раннее выявление негативной динамики и превентивное вмешательство.

Внедрение рассмотренных подходов в рутинную клиническую практику сопряжено с рядом проблем. Для технологий неинвазивного мониторинга это вопросы стоимости и обучения; для расчетных индексов — необходимость валидации в специфических популяциях и перехода от усредненных порогов (например, ДШИ > 2,2) к персонализированным, учитывающим коморбидный фон пациента [6, 46]. Решение этих задач видится в русле современной парадигмы, которая требует перехода от статической стратификации риска при поступлении (по шкалам APACHE II, SOFA) к динамическому прогнозированию на основе непрерывного анализа потоковых физиологических и лабораторных данных [47, 48]. Как справедливо отмечают L. Larr и соавт., статические шкалы — это «моментальный снимок», в то время как траектория состояния пациента (например, динамика Δ SOFA, клиренс лактата или изменение ДШИ) содержит несравнимо больше прогностической информации для индивидуального ведения больного [49].

Технологической основой для реализации такого подхода может стать интеграция данных неинвазивного мониторинга и простых индексов с результатами частых прикроватных лабораторных измерений (Point-of-Care Testing, POCT) [50], включая уровень лактата и другие биомаркеры [51]. Это позволяет перейти от реактивного лечения уже развившихся осложнений к упреждающему управлению рисками, когда прогностическая модель предупреждает о высокой вероятности неблагоприятного события (например, ухудшения состояния, шока) за несколько часов до его наступления [47, 49]. Таким образом, дальнейшие исследования

должны быть направлены не только на поиск новых маркеров, но и на создание интеллектуальных аналитических платформ, способных интегрировать гетерогенные временные ряды в персонализированные прогностические траектории, что и станет следующим шагом в эволюции цифровой реаниматологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный систематический обзор подтверждает, что современный мониторинг в интенсивной терапии должен быть многомерным и, что принципиально важно, динамическим. Комплементарное использование неинвазивных гемодинамических технологий, простых расчетных индексов (ДШИ, ЧСС/Т) и биомаркеров (лактат) позволяет сформировать целостное представление о патофизиологических процессах — от системной гемодинамики до клеточного метаболизма. Ключевым результатом работы является подтверждение того, что прогностическая ценность каждого из рассмотренных индикаторов многократно возрастает при переходе от однократной оценки к анализу их временных трендов. Именно отсутствие клиренса лактата, сохранение высокого ДШИ в первые часы реанимации или относительная тахикардия служат наиболее ранними сигналами неэффективности проводимой терапии. Дальнейшее развитие этого направления видится в интеграции разнородных динамических данных в интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Персонализация пороговых значений индексов на основе методов машинного обучения и создание прогностических моделей, работающих в реальном времени, способны сместить фокус интенсивной терапии с констатации уже развившейся органной дисфункции на ее раннее прогнозирование и своевременную коррекцию. Реализация этого потенциала требует как технологических инноваций, так и проведения проспективных исследований, оценивающих влияние такого подхода на ключевые клинические исходы.

Литература / References

1. Padte S, Samala Venkata V, Mehta P, Tawfeeq S, Kashyap R, Surani S. 21st century critical care medicine: an overview. *World Journal of Critical Care Medicine*. 2024;13(1):90176. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v13.i1.90176>
2. Pinsky MR. Functional hemodynamic monitoring. *Critical Care Clinics*. 2015;31(1):89–111. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2014.08.005>
3. Deutschman CS, Tracey KJ. Sepsis: current dogma and new perspectives. *Immunity*. 2014;40(4):463–75. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2014.04.001>
4. Beltrame M, Bellan M, Patrucco F, Gavelli F. Non-invasive hemodynamic monitoring in critically ill patients: a guide for emergency physicians. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14(19):7002. <https://doi.org/10.3390/jcm14197002>
5. Kouz K, Thiele R, Michard F, Saugel B. Haemodynamic monitoring during noncardiac surgery: past, present, and future. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2024;38(3):565–80. <https://doi.org/10.1007/s10877-024-01161-2>
6. Ospina-Tascón GA, Teboul JL, Hernandez G, Alvarez I, Sánchez-Ortiz AI, Calderón-Tapia LE, et al. Diastolic shock index and clinical outcomes in patients with septic shock. *Annals of Intensive Care*. 2020;10(1):41. <https://doi.org/10.1186/s13613-020-00658-8>
7. Lin Z, Lin S. Heart rate/temperature ratio: a practical prognostic indicator for critically ill patients with sepsis. *Heliyon*. 2024;10(2):e24422. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24422>
8. Bruno RR, Wernly B, Binneboessel S, Baldia P, Duse DA, Erkens R, et al. Failure of lactate clearance predicts the outcome of critically ill septic patients. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(12):1105. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10121105>
9. Maqsood R, Khattab A, Bennett AN, Boos CJ. Association between non-acute traumatic injury (TI) and heart rate variability (HRV) in adults: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2023;18(1):e0280718. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280718>
10. Luo X, Gao H, Yu X, Jiang Z, Yang W. Spectral analysis of heart rate variability for trauma outcome prediction: an analysis of 210 ICU multiple trauma patients. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2021;47(1):153–60. <https://doi.org/10.1007/s00068-019-01175-5>

11. Martina JR, Westerhof BE, van Goudoever J, de Beaumont EM, Truijzen J, Kim YS, et al. Noninvasive continuous arterial blood pressure monitoring with Nexfin®. *Anesthesiology*. 2012;116(5):1092–103.
<https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e31824f94ed>
12. Ilies C, Grudev G, Hedderich J, Renner J, Steinfath M, Bein B, et al. Comparison of a continuous noninvasive arterial pressure device with invasive measurements in cardiovascular postsurgical intensive care patients: a prospective observational study. *European Journal of Anaesthesiology*. 2015;32(1):20–8.
<https://doi.org/10.1097/EJA.000000000000136>
13. Huygh J, Peeters Y, Bernards J, Malbrain MLNG. Hemodynamic monitoring in the critically ill: an overview of current cardiac output monitoring methods. *F1000Research*. 2016;5(F1000 Faculty Rev):2855.
<https://doi.org/10.12688/f1000research.8991.1>
14. Michard F, Teboul JL. Predicting fluid responsiveness in ICU patients: A critical analysis of the evidence. *Chest*. 2002;121(6):2000–8.
<https://doi.org/10.1378/chest.121.6.2000>
15. Wang J, Blake LM, Orozco N, Fiorini K, McChesney C, Slessarev M, et al. Dynamic measures of fluid responsiveness to guide resuscitation in patients with sepsis and septic shock: a systematic review and meta-analysis. *Critical Care Explorations*. 2025;7(9):e1303.
<https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000001303>
16. Marik PE, Cavallazzi R, Vasu T, Hirani A. Dynamic changes in arterial waveform derived variables and fluid responsiveness in mechanically ventilated patients: a systematic review of the literature. *Critical Care Medicine*. 2009;37(9):2642–7.
<https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181a590da>
17. Messina A, Caporale M, Calabrò L, Lionetti G, Bono D, Matronola GM, et al. Reliability of pulse pressure and stroke volume variation in assessing fluid responsiveness in the operating room: a metanalysis and a metaregression. *Critical Care*. 2023;27(1):431.
<https://doi.org/10.1186/s13054-023-04706-0>
18. Myatra SN, Prabu NR, Divatia JV, Monnet X, Kulkarni AP, Teboul JL. The changes in pulse pressure variation or stroke volume variation after a “tidal volume challenge” reliably predict fluid responsiveness during low tidal volume ventilation. *Critical Care Medicine*. 2017;45(3):415–21.
<https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002183>
19. Monnet X, Teboul JL. Transpulmonary thermodilution: advantages and limits. *Critical Care*. 2017;21(1):147.
<https://doi.org/10.1186/s13054-017-1739-5>
20. Raval NY, Squara P, Cleman M, Yalamanchili K, Winklmaier M, Burkhoff D. Multicenter evaluation of noninvasive cardiac output measurement by bioimpedance technique. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2008;22:113–9.
<https://doi.org/10.1007/s10877-008-9112-5>
21. Monnet X, Teboul JL. Passive leg raising: five rules, not a drop of fluid! *Critical Care*. 2015;19:18.
<https://doi.org/10.1186/s13054-014-0708-5>
22. Douglas IS, Alapat PM, Corl KA, Exline MC, Forni LG, Holder AL, et al. Fluid response evaluation in sepsis hypotension and shock: a randomized clinical trial. *Chest*. 2020;158(4):1431–45.
<https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.025>
23. Sanders M, Servaas S, Slaght C. Accuracy and precision of non-invasive cardiac output monitoring by electrical cardiometry: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2020;34:433–60.
<https://doi.org/10.1007/s10877-019-00330-y>
24. Porter TR, Shillcutt SK, Adams MS, Desjardins G, Glas KE, Olson JJ, et al. Guidelines for the use of echocardiography as a monitor for therapeutic intervention in adults: a report from the American Society of Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015;28:40–56.
<https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.09.009>
25. Martin ND, Codner P, Greene W, Brasel K, Michetti C; AAST Critical Care Committee. Contemporary hemodynamic monitoring, fluid responsiveness, volume optimization, and endpoints of resuscitation: an AAST critical care committee clinical consensus. *Trauma Surgery & Acute Care Open*. 2020;5(1):e000411.
<https://doi.org/10.1136/tsaco-2019-000411>
26. Vieillard-Baron A, Millington SJ, Sanfilippo F, Chew M, Diaz-Gomez J, McLean A, et al. A decade of progress in critical care echocardiography: A narrative review. *Intensive Care Medicine*. 2019;45(6):770–88.
<https://doi.org/10.1007/s00134-019-05604-2>
27. Zheng J, Yang Q, Kong T, Chen X, Wang R, Huo J, et al. Association between wait time for transthoracic echocardiography and 28-Day mortality in patients with septic shock: A cohort study. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(14):4131.
<https://doi.org/10.3390/jcm11144131>
28. Allgöwer M, Burri C. Schockindex. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*. 1967;92(43):1947–50.
<https://doi.org/10.1055/s-0028-1106070>
29. Jeon Y, Kim S, Ahn S, Park JH, Cho H, Moon S, et al. Predicting septic shock in patients with sepsis at emergency department triage using systolic and diastolic shock index. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2024;78:196–201.
<https://doi.org/10.1016/j.ajem.2024.01.029>
30. Zhang TN, Hao PH, Gao SY, Liu CF, Yang N. Evaluation of SI, MSI and DSI for very early (3-day) mortality in patients with septic shock. *European Journal of Medical Research*. 2022;27:227.
<https://doi.org/10.1186/s40001-022-00857-y>
31. Kim DS, Park JE, Hwang SY, Jeong D, Lee GT, Kim T, et al. Prediction of vasopressor requirement among hypotensive patients with suspected infection: usefulness of diastolic shock index and lactate. *Clinical and Experimental Emergency Medicine*. 2022;9(3):176–86.
<https://doi.org/10.15441/ceem.22.324>
32. Goury A, Djerada Z, Hernandez G, Kattan E, Griffon R, Ospina-Tascon G, et al. Ability of diastolic arterial pressure to better characterize the severity of septic shock when adjusted for heart rate and norepinephrine dose. *Annals of Intensive Care*. 2025;15(1):43.
<https://doi.org/10.1186/s13613-025-01454-y>
33. Lee KJ, Kim Y, Jeon K, Ko RE, Suh GY, Oh DK, et al. Shock indices are associated with in-hospital mortality among patients with septic shock and normal left ventricular ejection fraction. *PLoS One*. 2024;19(3):e0298617.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298617>
34. Carteri RB, Padilha M, de Quadros SS, Cardoso EK, Grellert M. Shock index and its variants as predictors of mortality in severe traumatic brain injury. *World Journal of Critical Care Medicine*. 2024;13:90617.
<https://doi.org/10.5492/wjccm.v13.i1.90617>
35. Broman ME, Vincent JL, Ronco C, Hansson F, Bell M. The relationship between heart rate and body temperature in critically ill patients. *Critical Care Medicine*. 2021;49(3):e327–31.
<https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004807>
36. Bistrovic P, Besic D, Cikara T, Antolkovic L, Bakovic J, Radic M, et al. Relative bradycardia and tachycardia and their associations with adverse outcomes in hospitalized COVID-19 patients. *Reviews in Cardiovascular Medicine*. 2023;24(8):238.
<https://doi.org/10.31083/j.rcm2408238>
37. Ning YL, Li WJ, Lu X, Zhang Y, Zhang JW, Zhou JH. Association between heart rate and mortality in patients with septic shock: an analysis revealed by time series data. *BMC Infectious Disease*. 2024;24(1):1088.
<https://doi.org/10.1186/s12879-024-10004-z>

38. Tracey KJ. The inflammatory reflex. *Nature*. 2002;420(6917): 853–9.
<https://doi.org/10.1038/nature01321>
39. Fu C, Lin W, Chen X, Hong W, Yan S, Lin Y. Association between the heart rate to temperature ratio and 28-day mortality in patients with heart failure in intensive care unit: A multicenter retrospective cohort study. *Frontiers in Medicine*. 2024;11:1497245.
<https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1497245>
40. Mowery NT, Morris JA, Jenkins JM, Ozdas A, Norris PR. Core temperature variation is associated with heart rate variability independent of cardiac index: A study of 278 trauma patients. *Journal of Critical Care*. 2011;26(5):534.e9–534.e17.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2010.11.008>
41. Garcia-Alvarez M, Marik P, Bellomo R. Sepsis-associated hyperlactatemia. *Critical Care*. 2014;18(5):503.
<https://doi.org/10.1186/s13054-014-0503-3>
42. Ahlstedt C, Sivapalan P, Kriz M, Jacobson G, Sylvest Meyhoff T, Skov Kaas-Hansen B, et al. Effects of restrictive fluid therapy on the time to resolution of hyperlactatemia in ICU patients with septic shock. A secondary post hoc analysis of the CLASSIC randomized trial. *Intensive Care Medicine*. 2024;50:678–86.
<https://doi.org/10.1007/s00134-024-07385-9>
43. Rehman F, Zafar SB, Aziz A, Aziz A, Memon PS, Ejaz T, et al. Early lactate clearance as a determinant of survival in patients with sepsis: findings from a low-resource country. *Journal of Critical Care Medicine*. 2023;9(1):30–8.
<https://doi.org/10.2478/jccm-2023-0005>
44. Cao Y, Yao S, Shang J, Ping F, Tan Q, Tian Z, et al. The combination of lactate level, lactate clearance and APACHE II score better predicts short-term outcomes in critically ill patients: a retrospective cohort study. *BMC Anesthesiology*. 2022;22:382.
<https://doi.org/10.1186/s12871-022-01878-0>
45. Bruno RR, Wernly B, Flaatten H, Fjølner J, Artigas A, Bollen Pinto B, et al. Lactate is associated with mortality in very old intensive care patients suffering from COVID-19: results from an international observational study of 2860 patients. *Annals of Intensive Care*. 2021;11(1):128.
46. Maslove DM, Tang B, Shankar-Hari M, Lawler PR, Angus DC, Baillie JK, et al. Redefining critical illness. *Nature Medicine*. 2022;28(6):1141–8.
<https://doi.org/10.1038/s41591-022-01843-x>
47. Hatib F, Jian Z, Buddi S, Lee C, Settels J, Sibert K, et al. Machine-learning algorithm to predict hypotension based on high-fidelity arterial pressure waveform analysis. *Anesthesiology*. 2018;129(4):663–74.
<https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002300>
48. Deasy J, Liò P, Ercole A. Dynamic survival prediction in intensive care units from heterogeneous time series without the need for variable selection or curation. *Scientific Reports*. 2020;10:22129.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-79142-z>
49. Lapp L, Roper M, Kavanagh K, Bouamrane MM, Schraag S. Dynamic prediction of patient outcomes in the intensive care Unit: a scoping review of the state-of-the-art. *Journal of Intensive Care Medicine*. 2023;38(7):575–91.
<https://doi.org/10.1177/08850666231166349>
50. Moore THM, Dawson S, Kirby K, Body R, Thompson A, Adepoju YO, et al. Point-of-care tests in the emergency medical services: A scoping review. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*. 2025;33(1):18.
<https://doi.org/10.1186/s13049-025-01329-y>
51. Islam MM, Nasrin T, Walther BA, Wu CC, Yang HC, Li YC. Prediction of sepsis patients using machine learning approach: A meta-analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2019;170:1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.12.027>

Дополнительная информация. На сайте журнала «Экстремальная биомедицина» размещена таблица.
<https://doi.org/10.47183/mes.2026-479-annex>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: Е.Ю. Берсенов — планирование исследования, поиск, систематизация и анализ данных литературы, написание текста рукописи; Т.А. Лапина — анализ данных литературы, написание и редактирование текста рукописи; О.В. Курилова — анализ данных литературы, написание текста рукописи; Е.О. Селло — анализ данных литературы, написание текста рукописи; Л.А. Давыдова — написание и редактирование текста рукописи; С.В. Царенко — редактирование, утверждение финальной версии рукописи; К.С. Горбунов — редактирование, утверждение финальной версии рукописи, общее руководство проектом.

Об авторах:

Берсенов Евгений Юрьевич, канд. биол. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6974-5196>
Лапина Татьяна Александровна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2368-9421>
Курилова Ольга Валерьевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3082-5161>
Селло Екатерина Олеговна, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6810-1666>
Давыдова Любовь Алексеевна, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3740-2938>
Царенко Сергей Васильевич, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7065-5331>
Горбунов Константин Сергеевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-7366>