

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2026
УДК 614.2**Анников Ю. Г.¹, Чехонацкий А. А.¹, Комлева Н. Е.^{1,2}, Филатов Д. Н.¹, Цыганов В. И.¹, Чехонацкий В. А.³,
Анникова О. В.¹****ПРЕЦИЗИОННЫЙ ПОДХОД В СОВРЕМЕННОЙ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ (ОБЗОР)**¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского» Минздрава России, 410012, г. Саратов;²Саратовский медицинский научный центр гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 410022, г. Саратов;³ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 125993, г. Москва

Обзор проведен на основании анализа баз данных PubMed, eLibrary, Библиотека Cochrane, MEDLINE за период 2015—2025 гг. по ключевым словам «прецизионная медицина», «персонализированная медицина», «нейроонкология», «онкология», «черепно-мозговая травма», «нейротравма», «нейропротеомика», «искусственный интеллект». Проанализировано 180 источников.

Цель исследования — на основании анализа литературы по прецизионной медицине в нейрохирургии продемонстрировать значение и перспективы данного подхода в современной нейрохирургической практике. Методы прецизионной медицины, цифровая революция и прогресс в обработке больших мультимодальных данных позволяют лучше понять генезис опухолей, их клиническую гетерогенность, функциональные эффекты и причины, лежащие в основе их резистентности к лечению. Методы прецизионной медицины предоставляют ценную информацию о патофизиологических механизмах, лежащих в основе нейротравм, путем анализа сложных белковых взаимодействий и изменений. Будущее прецизионной медицины в нейрохирургической практике заключается в постоянном совершенствовании искусственного интеллекта и машинного обучения, позволяющих быстро и точно принимать решения на основе всесторонних молекулярных данных.

Будущее нейрохирургии заключается в гармоничной интеграции междисциплинарных подходов — прецизионной медицины и клинической нейрохирургии — для открытия новых возможностей таргетной и персонализированной терапии.

Ключевые слова: прецизионная медицина; персонализированная медицина; нейроонкология; черепно-мозговая травма; искусственный интеллект; обзор.

Для цитирования: Анников Ю. Г., Чехонацкий А. А., Комлева Н. Е., Филатов Д. Н., Цыганов В. И., Чехонацкий В. А., Анникова О. В. Прецизионный подход в современной нейрохирургической практике (обзор). Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2026;34(1):108—112. DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2026-34-1-108-112>

Для корреспонденции: Чехонацкий Андрей Анатольевич, д-р мед наук, доцент, зав. кафедрой нейрохирургии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского» Минздрава России, e-mail: fax-1@yandex.ru

**Annikov Yu. G.¹, Chekhonatskiy A. A.¹, Komleva N. E.^{1,2}, Filatov D. N.¹, Tsyganov V. I.¹, Chekhonatskiy V. A.³,
Annikova O. V.¹****THE PRECISION APPROACH IN CONTEMPORARY NEUROSURGICAL PRACTICE: A REVIEW**¹The Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “The V. I. Razumovsky Saratov State Medical University of Minzdrav of Russia”, 410012, Saratov, Russia;²The Federal State Budget Educational Institution of Additional Professional Education “The Russian Medical Academy of Continuous Professional Education” of Minzdrav of Russia, 125445, Moscow, Russia

The review was based on analysis of 180 sources from databases PubMed, eLibrary, Cochrane Library, MEDLINE for 2015–2025 using keywords “precision medicine”, “personalized medicine”, “neuro-oncology”, “oncology”, “cranio-cerebral injury”, “neuro-trauma”, “neuro-proteomics” and “AI”.

The purpose of the study was to demonstrate, on the basis of analysis of publications on precision medicine application in neurosurgery, the significance and perspectives of mentioned approach in modern neurosurgical practice. The methods of precision medicine, digital revolution and progress in multi-modal Big Data processing permit to better understand of tumor genesis, their clinical heterogeneity, functional effects and causes underlying their resistance to treatment. The precision medicine methods provide valuable information on pathophysiological mechanisms underlying neuro-trauma through analysis of complex protein interactions and changes. The future of precision medicine in neurosurgical practice is in permanent enhancement of AI and machine learning, permitting rapid and accurate decision-making based on comprehensive molecular data.

The future of neurosurgery lies in harmonious integration of such interdisciplinary approaches as precision medicine and clinical neurosurgery to discover new possibilities of targeted and personalized therapy.

Keywords: precision medicine; personalized medicine; neuro-oncology; cranio-cerebral injury; AI; review.

For citation: Annikov Yu. G., Chekhonatskiy A. A., Komleva N. E., Filatov D. N., Tsyganov V. I., Chekhonatskiy V. A., Annikova O. V. The precision approach in contemporary neurosurgical practice: a review. *Problemi socialnoi gigiyeni, zdoravookhraneniya i istorii meditsini*. 2026;34(1):108–112 (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2026-34-1-108-112>

For correspondence: Chekhonatskiy A. A., doctor of medical sciences, the Head of the Chair of Neurosurgery of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “The V. I. Razumovsky Saratov State Medical University” of Minzdrav of Russia. e-mail: fax-1@yandex.ru

Conflict of interests. The authors declare absence of conflict of interests.

Acknowledgment. The study had no sponsor support.

Received 13.08.2025
Accepted 03.11.2025

Введение

В нейрохирургической практике всегда была важна индивидуализация лечения пациентов. Персонализированная медицина представляет собой совокупность методов профилактики, диагностики и лечения, основанных на индивидуальных особенностях пациента. Прецизионная медицина, будучи одним из вариантов персонализированного подхода, фокусируется в первую очередь на биологических и молекулярных аспектах диагностики и лечения. Прецизионная медицина стремится поставить пациента в центр всего пути оказания медицинской помощи, интегрируя индивидуальные медицинские и биологические данные [1]. Прецизионный подход расширяет возможности классической медицины, создавая уникальные прогностические, диагностические и терапевтические медицинские решения, индивидуально подходящие для каждого пациента [2]. В данном обзоре авторы обсуждают достижения прецизионной медицины в нейрохирургии, уделяя особое внимание нейроонкологии и нейротравматологии.

Цель — на основании анализа литературы по прецизионной медицине продемонстрировать значение и перспективы данного подхода в современной нейрохирургической практике.

Материалы и методы

Поиск отечественных и зарубежных источников научной информации проводили по базам данных PubMed, eLibrary, Cochrane, MEDLINE. Глубина поиска — период с 2015 по 2025 г. Поисковые запросы включали следующие ключевые слова, словосочетания и их комбинации: «прецизионная медицина», «персонализированная медицина», «нейроонкология», «онкология», «черепно-мозговая травма», «нейротравма», «нейропротеомика», «искусственный интеллект». Для реализации цели исследования проанализированы 180 источников, в обзор включена информация из 37 полнотекстовых источников, наиболее удовлетворяющих теме поиска. Исключали повторяющиеся статьи. Схема отбора источников представлена на рисунке.

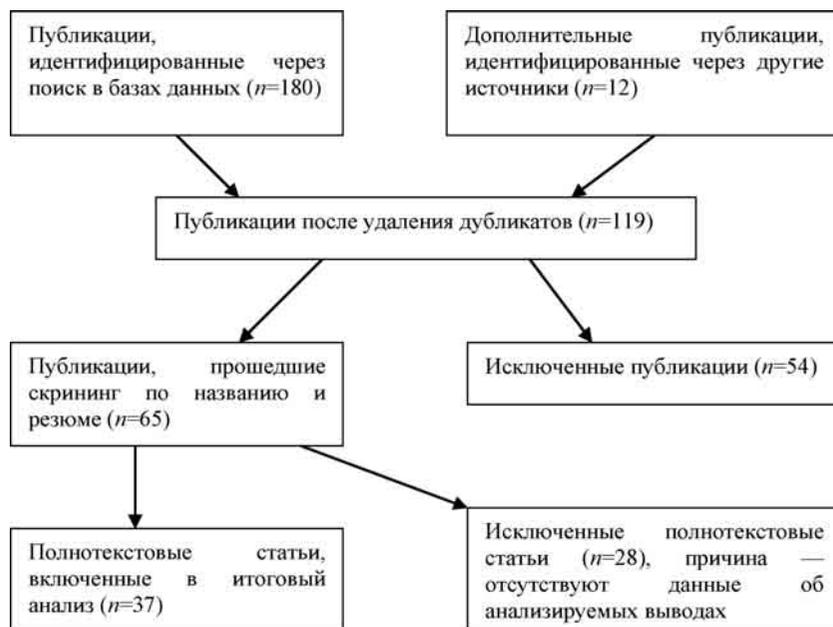
Результаты исследования

Прецизионная медицина выходит за рамки подхода, ориентированного только на заболевание, а учитывает индивидуальность пациента и особенности клинического проявления патологии. Подходы, используемые в прецизионной медицине, уже интегрированы в клиническую практику благодаря использованию молекулярных маркеров для классификации опухолей и прогнозирования ответа на лечение [3].

Прецизионная медицина исторически связана с онкологией, где взятие

гистологических образцов опухолей долгое время имело решающее значение в плане выбора дальнейшей тактики лечения. Взятие образцов опухолевой ткани позволяет получить уникальную картину заболевания, часто носящего индивидуальный характер. Этот факт в сочетании с фундаментальными исследованиями генетических изменений при прогрессировании опухолей сделал взятие гистологических образцов опухолей и их секвенирование чрезвычайно перспективными [3].

Это особенно заметно на примере глиобластомы [4, 5]. Глиобластома, хотя и является наиболее распространенной первичной злокачественной опухолью центральной нервной системы, по-прежнему не имеет четких терапевтических стратегий. Ее прогноз остается неблагоприятным даже в случае полной хирургической резекции со средней выживаемостью 15 мес [6]. Одной из причин резистентности к лечению глиобластомы является ее гетерогенность. Таким образом, интеграция молекулярной биологии, геномики, а в последнее время метаболомики и транскриптомики представляет научный интерес и приводит к лучшему пониманию гетерогенности и биологической пластичности глиобластомы [7, 8]. Цифровая революция и прогресс в обработке больших мультимодальных данных позволили лучше понять генезис этой опухоли, ее клиническую гетерогенность, функциональные эффекты и причины, лежащие в основе ее резистентности к лечению [9, 10]. Главные цели прецизионной медицины в данном случае — лучшее понимание сигнальных биологических путей глиобластомы, определение общих и специфических особенностей, которые помогли бы понять ее клиническую гетерогенность. Это позволит перейти к таргетной и персонализированной терапии путем изменения этих сигнальных путей [11, 12].



Методология отбора литературных источников.

Хотя методики прецизионной медицины наиболее широко применяются в терапии онкологических заболеваний, они все чаще используются и при лечении других нейрохирургических патологий.

Так, нейропротеомика предоставляет ценную информацию о патофизиологических механизмах, лежащих в основе нейротравм, путем анализа сложных белковых взаимодействий и изменений, а также молекулярных механизмов, лежащих в основе нейротравмы, на индивидуальном уровне [2].

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) является сложным заболеванием, последствия которого трудно оценить с помощью современных клинических методов, включая компьютерную и магнитно-резонансную томографию [13]. Поэтому поиск биомаркеров повреждений головного мозга имеет решающее значение для диагностических и прогностических целей [2].

Изучение специфических биомаркеров с помощью иммуноферментного анализа и вестерн-блоттинга широко используется для оценки тяжести нейротравмы [14].

Нейропротеомика в сочетании с биоинформатикой показала себя мощным инструментом для более полного понимания патогенеза ЧМТ. Кроме того, она позволила определить биомаркеры и гены-мишени лекарственных препаратов [15—20]. Идентификацию и анализ белков-биомаркеров после ЧМТ можно осуществить на нескольких последовательных этапах, начиная с высвобождения белков во внеклеточную жидкость или кровь из поврежденных клеток [21]. После того как биомаркеры попадают в кровоток, точная концентрация определяется путем измерения скорости клиренса или оценки периода полураспада любого белка.

Многие исследования уже связывали экспрессию различных биомаркеров при ЧМТ с определенными возрастными группами (взрослые, детские, гериатрические), типами травм (минно-взрывная травма, спортивная травма, огнестрельное ранение) и временем восстановления [22].

Выявлено, что наличие/отсутствие однонуклеотидного полиморфизма (SNP) влияет на исход ЧМТ. Один из наиболее хорошо охарактеризованных SNP — rs6265 — ассоциирован с геном нейротрофического фактора головного мозга (BDNF), и этот SNP влияет на неврологическую функцию у здоровых субъектов и у пациентов с ЧМТ [23].

Исследование, проведенное В. Ху и соавт., позволило идентифицировать у пациентов с ЧМТ 4031 белок, которые играют важную роль в дифференцировке глиальных клеток (например, миелиновый протеолипидный белок и миелиновый основной белок), активации комплемента (например, фактор, ускоряющий распад комплемента, и комплемент C4-B) и катализе аполипопротеина [24].

Протеомику также можно использовать с целью изучения механизмов действия терапевтических агентов для лечения пациентов ЧМТ. Одним из таких препаратов является традиционное средство китайской медицины XFZYD. Для изучения меха-

низма действия XFZYD при лечении использовали методы жидкостной хроматографии, tandemной масс-спектрометрии с масс-мечеными метками и вестерн-блоттинга. В том же исследовании с использованием методов биоинформатики и протеомики показано, что терапевтической мишенью XFZYD являются белки, участвующие в биологических процессах, в построении клеточных компонентов и молекулярных функциях [25].

Анализируя уникальные профили белков у пациентов, врачи также могут более точно подбирать лечение, оптимизируя терапевтические стратегии для достижения лучших результатов. Этот подход гарантирует, что вмешательства будут проводиться соответственно молекулярным особенностям каждого пациента, что приведет к более целенаправленному и эффективному лечению [2].

С позиций прецизионной медицины следует отметить исследование, обобщающее сведения о метаболизме эндоканнабиноидов и их терапевтических эффектах при ЧМТ [26]. Ведутся разработки моделей нейронных систем для исследования течения травм человека с использованием чипов, разработаны способы применения 3D-печати для проектирования и производства чипов следующего поколения, использования стволовых клеток для их создания и применение чипов в «персонализированной неврологии» [27].

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) значительно повышает потенциал прецизионной медицины [28]. Алгоритмы ИИ могут обрабатывать огромные наборы данных, выявлять сложные закономерности в профилях белков и прогнозировать реакцию пациента на различные виды лечения [29]. Алгоритмы МО позволяют проводить анализ в реальном времени и давать персонализированные рекомендации по лечению [30]. Эта синергия между нейропротеомикой и технологиями ИИ/МО ускоряет темпы исследований, что приводит к созданию более точных диагностических инструментов, таргетной терапии и прогностических моделей [31]. Заглядывая вперед, можно сказать, что будущее прецизионной медицины в нейрохирургической практике заключается в постоянном совершенствовании ИИ и МО, позволяющих быстро и точно принимать решения на основе всесторонних молекулярных данных [32]. Понимание того, как объединить современные тенденции протеомики и диагностическую науку с помощью высоких технологий, произведет революцию в медицине, особенно в неврологии, нейроонкологии и нейротравматологии [33—37].

Заключение

Будущее нейрохирургии заключается в гармоничной интеграции междисциплинарных подходов — прецизионной медицины и клинической нейрохирургии — для открытия новых возможностей таргетной и персонализированной терапии.

Исследование не имело спонсорской поддержки.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Gilard V., Derrey S., Marret S., et al. Precision neurosurgery: a path forward. *J. Pers. Med.* 2021;11(10):1019. doi: 10.3390/jpm11101019
- Kobeissy F., Goli M., Yadikar H. Advances in neuroproteomics for neurotrauma: unraveling insights for personalized medicine and future prospects. *Front. Neurol.* 2023;14:1288740. doi: 10.3389/fneur.2023.1288740
- Yan R., Greenfield J. Emergence of Precision Medicine Within Neurological Surgery: Promise and Opportunity. *World Neurosurg.* 2024;190:564–72. doi: 10.1016/j.wneu.2024.06.143
- Holland E., Ene C. Personalized Medicine for Gliomas. *Surg. Neurol. Int.* 2015;6:89–95. doi: 10.4103/2152-7806.151351
- Jain K. A Critical Overview of Targeted Therapies for Glioblastoma. *Front. Oncol.* 2018;8:419. doi: 10.3389/fonc.2018.00419
- Alexander B., Cloughesy T. Adult Glioblastoma. *J. Clin. Oncol.* 2017;35:2402–9. doi: 10.1200/JCO.2017.73.0119
- Kowalczyk T., Ciborowski M., Kisluk J. Mass spectrometry based proteomics and metabolomics in personalized oncology. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) Mol. Basis Dis.* 2020;1866:165690. doi: 10.1016/j.bbdis.2020.165690
- Kristensen B., Priesterbach-Ackley L., Petersen J. Molecular pathology of tumors of the central nervous system. *Ann. Oncol.* 2019;30:1265–78. doi: 10.1093/annonc/mdz164
- Peeken J., Goldberg T., Pyka T. Combining multimodal imaging and treatment features improves machine learning-based prognostic assessment in patients with glioblastoma multiforme. *Cancer Med.* 2019;8:128–36. doi: 10.1002/cam4.1908
- Shen J., Song R., Hodges T. Identification of metabolites in plasma for predicting survival in glioblastoma. *Mol. Carcinog.* 2018;57:1078–84. doi: 10.1002/mc.22815
- Touat M., Idbaih A., Sanson M., et al. Glioblastoma targeted therapy: Updated approaches from recent biological insights. *Ann. Oncol.* 2017;28:1457–72. doi: 10.1093/annonc/mdx106
- Truman J.-P., Garcia-Barros M., Obeid L. Evolving concepts in cancer therapy through targeting sphingolipid metabolism. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) Mol. Cell Biol. Lipids.* 2014;1841:1174–88. doi: 10.1016/j.bbalip.2013.12.013
- Анников Ю. Г., Кром И. Л., Левченко Л. Л. Современный контент персонализированной реабилитации пациентов с последствиями черепно-мозговой травмы. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2023;19(3):273–8. doi: 10.15275/ssmj1903273
- Anada R., Wong K., Jayapalan J. Panel of serum protein biomarkers to grade the severity of traumatic brain injury. *Electrophoresis.* 2018;39:2308–15. doi: 10.1002/elps.201700407
- Alaaeddine R., Fayad M., Nehme E. The emerging role of proteomics in precision medicine: applications in neurodegenerative diseases and Neurotrauma. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2017;1007:59–70. doi: 10.1007/978-3-319-60733-7_4
- Ottens A., Kobeissy F., Fuller B. Novel neuroproteomic approaches to studying traumatic brain injury. *Prog. Brain Res.* 2007;161:401–18. doi: 10.1016/S0079-6123(06)61029-7
- Ottens A., Kobeissy F., Golden E. Neuroproteomics in neurotrauma. *Mass Spectrom. Rev.* 2006;25:380–408. doi: 10.1002/mas.20073
- Kobeissy F., Ottens A., Zhang Z. Novel differential Neuroproteomics analysis of traumatic brain injury in rats. *Mol. Cell Proteomics.* 2006;5:1887–98. doi: 10.1074/mcp.M600157-MCP200
- Guingab-Cagmat J., Newsom K., Vakulenko A. In vitro MS-based proteomic analysis and absolute quantification of neuronal-glia injury biomarkers in cell culture system. *Electrophoresis.* 2012;33:3786–97. doi: 10.1002/elps.201200326
- Kochanek A., Kline A., Gao W. Gel-based hippocampal proteomic analysis 2 weeks following traumatic brain injury to immature rats using controlled cortical impact. *Dev. Neurosci.* 2006;28:410–9. doi: 10.1159/000094167
- Kobeissy F., Guingab-Cagmat J., Zhang Z. Neuroproteomics and systems biology approach to identify temporal biomarker changes post experimental traumatic brain injury in rats. *Front. Neurol.* 2016;7:198. doi: 10.3389/fneur.2016.00198
- Wang K., Yang Z., Yue J. Plasma Anti-Glial Fibrillary Acidic Protein Autoantibody Levels during the Acute and Chronic Phases of Traumatic Brain Injury: A Transforming Research and Clinical Knowledge in Traumatic Brain Injury Pilot Study. *J. Neurotrauma.* 2016;33(13):1270–7. doi: 10.1089/neu.2015.3881
- Irimia A., Goh S., Torgerson C. Structural and connectomic neuroimaging for the personalized study of longitudinal alterations in cortical shape, thickness and connectivity after traumatic brain injury. *J. Neurosurg. Sci.* 2014;5 (3):129–44.
- Xu B., Tian R., Wang X. Protein profile changes in the frontotemporal lobes in human severe traumatic brain injury. *Brain Res.* 2016;1642:344–52. doi: 10.1016/j.brainres.2016.04.008
- Zhou D., Liu J., Hang Y. TMT-based proteomics analysis reveals the protective effects of Xuefu Zhuyu decoction in a rat model of traumatic brain injury. *J. Ethnopharmacol.* 2020;258:112826. doi: 10.1016/j.jep.2020.112826
- Haring A., Sontheimer H., Johnson B. Microphysiological Human Brain and Neural Systems-on-a-Chip: Potential Alternatives to Small Animal Models and Emerging Platforms for Drug Discovery and Personalized Medicine. *Stem Cell Rev. Rep.* 2017;13(3):381–406. doi: 10.1007/s12015-017-9738-0
- Wong H., Cvijanovich N., Anas N. Developing a clinically feasible personalized medicine approach to pediatric septic shock. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2015;191(3):309–15. doi: 10.1164/rcm.201410-1864OC
- Davenport T., Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare J.* 2019;6:94–8. doi: 10.7861/future-hosp.6-2-94
- Johnson K., Wei W., Weeraratne D. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care. *Clin. Trans. Sci.* 2021;14:86–93. doi: 10.1111/cts.12884
- Sebastiani M., Vacchi C., Manfredi A. Personalized medicine and machine learning: a roadmap for the future. *J. Clin. Med.* 2022;11:4110. doi: 10.3390/jcm1144110
- Allami R., Yousif M. Integrative AI-driven strategies for advancing precision medicine in infectious diseases and beyond: a novel multidisciplinary approach. *ArXiv.* 2023;2023:15228. doi: 10.48550/arXiv.2307.15228
- Sundaravadhanan S. Neurotrauma: A Futuristic Perspective. *Indian J. Neurotrauma.* 2018;15:78–81. doi: 10.1055/s-0039-1694297
- Liu N., Salinas J. Machine learning for predicting outcomes in trauma. *Shock.* 2017;48:504–10. doi: 10.1097/SHK.0000000000000898
- Feng J., Wang Y., Peng J. Comparison between logistic regression and machine learning algorithms on survival prediction of traumatic brain injuries. *J. Crit. Care.* 2019;54:110–6. doi: 10.1016/j.jccr.2019.08.010
- Raju B., Jumah F., Ashraf O. Big data, machine learning, and artificial intelligence: a field guide for neurosurgeons. *J. Neurosurg.* 2020;1:1–11. doi: 10.3171/2020.5.JNS201288
- Nice E. From proteomics to personalized medicine: the road ahead. *Expert Rev. Proteomics.* 2016;13:341–3. doi: 10.1586/14789450.2016.1158107
- Yadikar H., Sarkis G. A., Kurup M. Peptidomics and traumatic brain injury: Biomarker utilities for a theragnostic approach In: Yadikar H., ed. Biomarkers for Traumatic Brain Injury. Amsterdam: Elsevier; 2020. P. 419–30.

Поступила 13.08.2025
Принята в печать 03.11.2025

REFERENCES

- Gilard V., Derrey S., Marret S., et al. Precision neurosurgery: a path forward. *J. Pers. Med.* 2021;11(10):1019. doi: 10.3390/jpm11101019
- Kobeissy F., Goli M., Yadikar H. Advances in neuroproteomics for neurotrauma: unraveling insights for personalized medicine and future prospects. *Front. Neurol.* 2023;14:1288740. doi: 10.3389/fneur.2023.1288740
- Yan R., Greenfield J. Emergence of Precision Medicine Within Neurological Surgery: Promise and Opportunity. *World Neurosurg.* 2024;190:564–72. doi: 10.1016/j.wneu.2024.06.143
- Holland E., Ene C. Personalized Medicine for Gliomas. *Surg. Neurol. Int.* 2015;6:89–95. doi: 10.4103/2152-7806.151351
- Jain K. A Critical Overview of Targeted Therapies for Glioblastoma. *Front. Oncol.* 2018;8:419. doi: 10.3389/fonc.2018.00419
- Alexander B., Cloughesy T. Adult Glioblastoma. *J. Clin. Oncol.* 2017;35:2402–9. doi: 10.1200/JCO.2017.73.0119
- Kowalczyk T., Ciborowski M., Kisluk J. Mass spectrometry based proteomics and metabolomics in personalized oncology. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) Mol. Basis Dis.* 2020;1866:165690. doi: 10.1016/j.bbdis.2020.165690
- Kristensen B., Priesterbach-Ackley L., Petersen J. Molecular pathology of tumors of the central nervous system. *Ann. Oncol.* 2019;30:1265–78. doi: 10.1093/annonc/mdz164
- Peeken J., Goldberg T., Pyka T. Combining multimodal imaging and treatment features improves machine learning-based prognostic assessment in patients with glioblastoma multiforme. *Cancer Med.* 2019;8:128–36. doi: 10.1002/cam4.1908

10. Shen J, Song R, Hodges T. Identification of metabolites in plasma for predicting survival in glioblastoma. *Mol. Carcinog.* 2018;57:1078–84. doi: 10.1002/mc.22815
11. Touat M, Idbaih A, Sanson M, et al. Glioblastoma targeted therapy: Updated approaches from recent biological insights. *Ann. Oncol.* 2017;28:1457–72. doi: 10.1093/annonc/mdx106
12. Truman J.-P, García-Barros M, Obeid L. Evolving concepts in cancer therapy through targeting sphingolipid metabolism. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) Mol. Cell Biol. Lipids.* 2014;1841:1174–88. doi: 10.1016/j.bbali.2013.12.013
13. Annikov Yu. G., Krom I. L., Levchenko K. K. Modern content for personalized rehabilitation of patients with a consequences of traumatic brain injury. *Saratov Journal of Medical Scientific Research.* 2023;19(3):273–8. doi: 10.15275/ssmj1903273 (in Russian).
14. Anada R., Wong K., Jayapalan J. Panel of serum protein biomarkers to grade the severity of traumatic brain injury. *Electrophoresis.* 2018;39:2308–15. doi: 10.1002/elps.201700407
15. Alaaeddine R., Fayad M., Nehme E. The emerging role of proteomics in precision medicine: applications in neurodegenerative diseases and Neurotrauma. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2017;1007:59–70. doi: 10.1007/978-3-319-60733-7_4
16. Ottens A., Kobeissy F., Fuller B. Novel neuroproteomic approaches to studying traumatic brain injury. *Prog. Brain Res.* 2007;161:401–18. doi: 10.1016/S0079-6123(06)61029-7
17. Ottens A., Kobeissy F., Golden E. Neuroproteomics in neurotrauma. *Mass Spectrom. Rev.* 2006;25:380–408. doi: 10.1002/mas.20073
18. Kobeissy F., Ottens A., Zhang Z. Novel differential Neuroproteomics analysis of traumatic brain injury in rats. *Mol. Cell Proteomics.* 2006;5:1887–98. doi: 10.1074/mcp.M600157-MCP200
19. Guingab-Cagmat J., Newsom K., Vakulenko A. In vitro MS-based proteomic analysis and absolute quantification of neuronal-glia injury biomarkers in cell culture system. *Electrophoresis.* 2012;33:3786–97. doi: 10.1002/elps.201200326
20. Kochanek A., Kline A., Gao W. Gel-based hippocampal proteomic analysis 2 weeks following traumatic brain injury to immature rats using controlled cortical impact. *Dev. Neurosci.* 2006;28:410–9. doi: 10.1159/000094167
21. Kobeissy F., Guingab-Cagmat J., Zhang Z. Neuroproteomics and systems biology approach to identify temporal biomarker changes post experimental traumatic brain injury in rats. *Front. Neurol.* 2016;7:198. doi: 10.3389/fneur.2016.00198
22. Wang K., Yang Z., Yue J. Plasma Anti-Glial Fibrillary Acidic Protein Autoantibody Levels during the Acute and Chronic Phases of Traumatic Brain Injury: A Transforming Research and Clinical Knowledge in Traumatic Brain Injury Pilot Study. *J. Neurotrauma.* 2016;33(13):1270–7. doi: 10.1089/neu.2015.3881
23. Irimia A., Goh S., Torgerson C. Structural and connectomic neuroimaging for the personalized study of longitudinal alterations in cortical shape, thickness and connectivity after traumatic brain injury. *J. Neurosurg. Sci.* 2014;5 (3):129–44.
24. Xu B., Tian R., Wang X. Protein profile changes in the frontotemporal lobes in human severe traumatic brain injury. *Brain Res.* 2016;1642:344–52. doi: 10.1016/j.brainres.2016.04.008
25. Zhou D., Liu J., Hang Y. TMT-based proteomics analysis reveals the protective effects of Xuefu Zhuyu decoction in a rat model of traumatic brain injury. *J. Ethnopharmacol.* 2020;258:112826. doi: 10.1016/j.jep.2020.112826
26. Haring A., Sontheimer H., Johnson B. Microphysiological Human Brain and Neural Systems-on-a-Chip: Potential Alternatives to Small Animal Models and Emerging Platforms for Drug Discovery and Personalized Medicine. *Stem Cell Rev. Rep.* 2017;13(3):381–406. doi: 10.1007/s12015-017-9738-0
27. Wong H., Cvijanovich N., Anas N. Developing a clinically feasible personalized medicine approach to pediatric septic shock. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2015;191(3):309–15. doi: 10.1164/rccm.201410-1864OC
28. Davenport T., Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare J.* 2019;6:94–8. doi: 10.7861/future-hosp.6-2-94
29. Johnson K., Wei W., Weeraratne D. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care. *Clin. Trans. Sci.* 2021;14:86–93. doi: 10.1111/cts.12884
30. Sebastiani M., Vacchi C., Manfredi A. Personalized medicine and machine learning: a roadmap for the future. *J. Clin. Med.* 2022;11:4110. doi: 10.3390/jcm11144110
31. Allami R., Yousif M. Integrative AI-driven strategies for advancing precision medicine in infectious diseases and beyond: a novel multidisciplinary approach. *ArXiv.* 2023;2023:15228. doi: 10.48550/arXiv.2307.15228
32. Sundaravadhanan S. Neurotrauma: A Futuristic Perspective. *Indian J. Neurotrauma.* 2018;15:78–81. doi: 10.1055/s-0039-1694297
33. Liu N., Salinas J. Machine learning for predicting outcomes in trauma. *Shock.* 2017;48:504–10. doi: 10.1097/SHK.0000000000000898
34. Feng J., Wang Y., Peng J. Comparison between logistic regression and machine learning algorithms on survival prediction of traumatic brain injuries. *J. Crit. Care.* 2019;54:110–6. doi: 10.1016/j.jcrc.2019.08.010
35. Raju B., Jumah F., Ashraf O. Big data, machine learning, and artificial intelligence: a field guide for neurosurgeons. *J. Neurosurg.* 2020;1:1–11. doi: 10.3171/2020.5.JNS201288
36. Nice E. From proteomics to personalized medicine: the road ahead. *Expert Rev. Proteomics.* 2016;13:341–3. doi: 10.1586/14789450.2016.1158107
37. Yadikar H., Sarkis G. A., Kurup M. Peptidomics and traumatic brain injury: Biomarker utilities for a theragnostic approach In: Yadikar H., ed. Biomarkers for Traumatic Brain Injury. Amsterdam: Elsevier; 2020. P. 419–30.