

МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ РИСКА РАЗВИТИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ГИДРОЦЕФАЛИИ ПО ДАННЫМ РАННЕЙ КТ-МОРФОМЕТРИИ

Йўлдошева Наима Қудратовна

*Ассистент кафедры ОХТА Бухарского
государственного медицинского института*

E-mail: neurologist77.ny@gmail.com

ORCID ID: 0009-0002-8961-203X

Научные руководители: к.м.н., доцент

Харибова Елена Александровна;

д.м.н., профессор Уринов Мусо Болтаевич

Аннотация. Посттравматическая гидроцефалия (ПТГ) является частым осложнением после черепно-мозговой травмы (ЧМТ), что может привести к отсроченным неврологическим нарушениям, когнитивному дефициту и снижению функциональных возможностей. Раннее выявление критически важно для своевременного вмешательства, предотвращения вторичного повреждения мозга и улучшения исходов. Целью этого исследования было разработать предиктивную модель, интегрирующую раннюю морфометрию желудочков, полученную с помощью КТ, и ключевые клинические показатели.

Проведен ретроспективный анализ данных 180 пациентов с умеренной ЧМТ (GCS 9–12), лечившихся в период с 2021 по 2024 гг. Морфометрические показатели, включая индекс Эванса (EI), бикаудатный индекс (BI) и отношение фронто-окципитального рога (FOHR), измерялись на уровне отверстия Монро и объединялись с клиническими параметрами (возраст, пол, шкала комы Глазго [GCS], внутрижелудочковое кровоизлияние [IVH] и декомпрессивная краниотомия [DC]). Супервизируемые модели машинного обучения (градиентный бустинг, случайный лес и логистическая регрессия) прогнозировали развитие ПТГ в течение 6 месяцев. ПТГ развилась у 40 пациентов (22,2%). Градиентный бустинг показал наивысшую точность предсказания (AUC=0,88), при этом EI, IVH, DC и FOHR оказались ключевыми предикторами. Этот интегративный подход способствует раннему выявлению пациентов с высоким риском и поддерживает индивидуальные стратегии мониторинга.

Ключевые слова: посттравматическая гидроцефалия, черепно-мозговая травма, морфометрия желудочков, КТ, индекс Эванса, внутрижелудочковое кровоизлияние, машинное обучение

Введение. Черепно-мозговая травма (ЧМТ) является одной из ведущих причин заболеваемости и смертности во всем мире, ежегодно поражая около 69 миллионов человек. Умеренная и тяжелая ЧМТ может приводить к ряду вторичных осложнений, включая посттравматическую гидроцефалию (ПТГ), которая развивается вследствие нарушения циркуляции цереброспинальной жидкости (CSF), нарушения всасывания в паутинных грануляциях или обструкции кровью после внутрижелудочкового кровоизлияния (IVH).

ПТГ клинически проявляется когнитивным снижением, нарушением походки, недержанием мочи и прогрессирующими неврологическими нарушениями. Традиционная диагностика основана на радиологических признаках расширения желудочков, которые часто запаздывают относительно фактического патологического процесса. Морфометрические индексы, такие как индекс Эванса (EI) и бикаудатный индекс (BI), дают количественную оценку размеров желудочков, но их прогностическая ценность для раннего выявления ПТГ ограничена. Современные методы машинного обучения позволяют объединять данные изображений и клинические показатели, выявляя сложные нелинейные зависимости и улучшая точность прогнозирования. Мы предположили, что комбинация ранней морфометрии желудочков по КТ и клинических предикторов (возраст, GCS, IVH, декомпрессивная краниотомия) позволит предсказать развитие ПТГ в течение 6 месяцев после травмы, что обеспечит проактивное ведение пациентов.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включено 180 пациентов с умеренной ЧМТ (GCS 9–12), госпитализированных в специализированный центр в период с января 2021 по декабрь 2024 гг.

Критерии включения:

- Возраст ≥ 18 лет
- Умеренная ЧМТ, подтвержденная по шкале комы Глазго
- Наличие высококачественных КТ-сканов в первые 48 часов после травмы

Критерии исключения:

- Предшествующая гидроцефалия или врожденные аномалии нервной системы

- Инфекции ЦНС
- Неполные клинические или визуализирующие данные

Получение изображений и морфометрия. Базовые КТ-сканы проводились по стандартному протоколу (толщина среза 5 мм, 120 кВ, 250 мА). Морфометрические показатели желудочков измерялись на уровне отверстия Монро:

- *Индекс Эванса (EI)*: максимальная ширина лобного рога / внутренняя ширина черепа

- *Бикаудатный индекс (BI)*: расстояние между хвостовыми ядрами / ширина мозга на этом уровне

- *Отношение фронто-окципитального рога (FOHR)*: сумма ширины лобного и затылочного рогов / удвоенная бипариетальная ширина

Измерения выполнялись двумя независимыми нейрорадиологами для обеспечения надежности.

Регистрации подлежали следующие показатели:

- Возраст, пол
- Начальный GCS
- Наличие IVH
- Декомпрессивная краниотомия (DC)

Основным исходом было развитие ПТГ в течение 6 месяцев, подтвержденное радиологически (расширение желудочков) и клинически, требующее вмешательства (шунтирование или установка внешнего желудочкового дренажа). Были построены три модели машинного обучения с учителем: градиентный бустинг, случайный лес и логистическая регрессия. Входными переменными были морфометрические показатели и клинические параметры. Эффективность моделей оценивалась по площади под кривой ROC (AUC), чувствительности и специфичности. Также оценивалась важность признаков для выявления ключевых предикторов.

Результаты. Из 180 пациентов ПТГ развилась у 40 (22,2%) в течение 6 месяцев. Пациенты с ПТГ были старше (52 ± 15 лет против 44 ± 18 лет, $p=0,02$), чаще имели IVH (45% против 15,7%, $p<0,001$) и подвергались DC (30% против 7,1%, $p<0,001$). Различий по полу и исходному GCS не обнаружено.

Таблица 1. Характеристика пациентов

Показатель	ПТГ (n=40)	Без ПТГ (n=140)	p-value
Возраст (лет)	52 ± 15	44 ± 18	0,02
Мужчины, n (%)	28 (70%)	92 (65,7%)	0,61
GCS	$10 \pm 1,2$	$11 \pm 1,1$	0,01
IVH, n (%)	18 (45%)	22 (15,7%)	<0,001
DC, n (%)	12 (30%)	10 (7,1%)	<0,001

Пациенты с ПТГ имели значительно более высокие значения EI, BI и FOHR (все $p<0,001$).

Таблица 2. Морфометрия желудочков

Индекс	ПТГ	Без ПТГ	p-value
Индекс Эванса	0,33 ± 0,05	0,28 ± 0,04	<0,001
Бикаудатный индекс	0,20 ± 0,03	0,17 ± 0,02	<0,001
FOHR	0,41 ± 0,06	0,35 ± 0,05	<0,001

Градиентный бустинг показал наилучшую эффективность (AUC=0,88), затем следовал случайный лес (AUC=0,81) и логистическая регрессия (AUC=0,74). Наиболее важными признаками были EI, IVH, DC и FOHR.

Таблица 3. Производительность моделей

Модель	AUC	Чувствительность	Специфичность
Градиентный бустинг	0,88	0,82	0,85
Случайный лес	0,81	0,75	0,80
Логистическая регрессия	0,74	0,68	0,72

Обсуждение. Наше исследование показывает, что ранняя морфометрия желудочков по КТ в сочетании с клиническими данными позволяет точно прогнозировать развитие ПТГ у пациентов с умеренной ЧМТ. Градиентный бустинг учитывает нелинейные взаимодействия между признаками, превосходя логистическую регрессию. В отличие от предыдущих исследований, основанных только на морфометрических индексах, интегративный подход улучшает точность прогнозирования и позволяет своевременно вмешиваться. Клинически, пациенты с высоким риском могут получать более интенсивный мониторинг, что снижает заболеваемость, связанную с поздним выявлением ПТГ. Ограничения включают ретроспективный дизайн, данные одного центра, средний размер выборки и вариабельность протоколов КТ. В будущих исследованиях рекомендуется многоцентровая валидация и автоматизированная сегментация желудочков.

Заключение. Интеграция морфометрических параметров КТ с клиническими данными с помощью методов машинного обучения позволяет точно и рано прогнозировать ПТГ после умеренной ЧМТ. Этот подход может улучшить ведение пациентов за счет индивидуального мониторинга и своевременного хирургического вмешательства. Дальнейшие исследования должны сосредоточиться на многоцентровой проверке и внедрении систем поддержки принятия клинических решений.

Литература:

1. Йўлдошева Н.Қ. Особенности и динамика нарушений когнитивных и статико-локомоторных функций при хронической ишемии головного мозга. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal (GIIRJ)*. 2023;11(10).
2. Йўлдошева Н.Қ. Морфологические аспекты нарушений статико-локомоторной функции при хронической ишемии головного мозга. *International Journal of Medical Sciences and Clinical Research*. 2023;3(12):7–12.
3. Харибова Е.А., Йўлдошева Н.Қ. Обзор неврологических, морфометрических и рентгено-анатомических особенностей мозговых желудочков при черепно-мозговых травмах. *Bulletin of Fundamental and Clinical Medicine*. 2025;1(15).
4. Chen Y. и др. Радиологические и клинические предикторы посттравматической гидроцефалии. *Neurosurgery*. 2024;91(3):412–421.
5. Zhao W. и др. Глубинное обучение на основе КТ для сегментации желудочков и прогнозирования гидроцефалии. *Radiology: AI*. 2025;7(2):e240112.
6. Venkatasubramanian C. и др. Морфометрический анализ увеличения желудочков после ЧМТ. *Journal of Neurotrauma*. 2023;40(9):1022–1033.
7. McAllister T.W. и др. Структурные визуализационные биомаркеры при черепно-мозговой травме средней степени тяжести. *Brain Injury*. 2024;38(1):56–67.