



ПРЕДИКЦИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ГИДРОЦЕФАЛИИ ПОСЛЕ ЧМТ НА ОСНОВЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КЛИНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Йўлдошева Наима Кудратовна

Бухарский государственный медицинский институт имени Абу Али
ибн Сино, Бухара, Узбекистан.

Neurologist77.ny@gmail.com

Аннотация: Посттравматическая гидроцефалия (ПТГ) является частым осложнением после черепно-мозговой травмы (ЧМТ), часто приводящим к отсроченному неврологическому ухудшению. Ранняя идентификация имеет решающее значение для своевременного вмешательства. Разработать и валидировать предсказательную модель, объединяющую ранние показатели вентрикулярной морфометрии и клинические переменные для раннего выявления ПТГ. Ретроспективно проанализирована когорта из 180 пациентов с ЧМТ средней степени тяжести (GCS 9–12). На исходных КТ головного мозга в течение 48 часов после травмы были определены морфометрические индексы: индекс Эванса (EI), биokoудатный индекс (BI) и фронто-окципитальный индекс рогов (FOHR). Клинические данные включали возраст, пол, балл по GCS, наличие внутрижелудочкового кровоизлияния (ВЖК) и выполнение декомпрессивной краниэктомии (ДК). Для предсказания развития ПТГ в течение 6 месяцев использовались модели машинного обучения: логистическая регрессия, случайный лес и градиентный бустинг (XGBoost). ПТГ развилась у 40 из 180 пациентов (22,2%). Модель градиентного бустинга показала наилучшую дискриминацию ($AUC = 0,88$). Ключевыми предикторами были индекс Эванса, ВЖК, ДК и FOHR. Интеграция КТ-морфометрии желудочков с клиническими параметрами с использованием методов машинного обучения позволяет точно



предсказывать развитие ПТГ на раннем этапе и может направить персонализированные стратегии наблюдения.

Ключевые слова: посттравматическая гидроцефалия, черепно-мозговая травма, морфометрия желудочков, компьютерная томография, индекс Эванса, внутрижелудочковое кровоизлияние

Annotation. Post-traumatic hydrocephalus (PTH) is a frequent complication following traumatic brain injury (TBI), often leading to delayed neurological deterioration. Early identification is critical for timely intervention. To develop and validate a predictive model integrating early ventricular morphometry and clinical variables for the early detection of PTH. A retrospective cohort of 180 patients with moderate TBI (GCS 9–12) was analyzed. Baseline cranial CT scans were used to extract morphometric indices, including the Evans Index (EI), Bicaudate Index (BI), and Fronto-Occipital Horn Ratio (FOHR). Clinical data included age, sex, Glasgow Coma Scale, intraventricular hemorrhage (IVH), and decompressive craniectomy (DC). Machine learning models (logistic regression, random forest, and gradient boosting) were trained to predict PTH occurrence within 6 months post-injury.

PTH developed in 40 of 180 patients (22.2%). The gradient boosting model achieved the best discrimination ($AUC=0.88$), with key predictors being EI, IVH, DC, and FOHR. Integration of CT-based ventricular morphometry with clinical parameters using machine learning enables accurate early prediction of PTH and may guide individualized surveillance strategies.

Key words: post-traumatic hydrocephalus, traumatic brain injury, ventricular morphometry, CT imaging, Evans index, intraventricular hemorrhage

Annotatsiya. Travmadan keyingi gidrosefali (PTH) quyidagi tez-tez uchraydigan asoratdir shikast miya shikastlanishi (TBI), ko'pincha kechiktirilgan nevrologik yomonlashuvga olib keladi. Erta identifikatsiya qilish o'z vaqtida aralashish uchun juda muhimdir. PTH ni erta aniqlash uchun erta qorincha morfometriyasi va klinik o'zgaruvchilarni birlashtirgan bashoratli modelni ishlab chiqish va tasdiqlash. O'rtacha TBI (gcs 180-9) bilan 12 bemorlarning retrospektiv

kohort tahlil qilindi. Morfometrik indekslarni, shu jumladan Evans indeksini (EI), Bikaudat indeksini (BI) va Fronto-Oksipital Shox nisbati (FOHR) ni olish uchun boshlang'ich kranial KT skanerlari ishlatilgan. Klinik ma'lumotlarga yosh, jins, Glazgo koma shkalasi, intraventrikulyar qon ketish (IVH) va dekompressiv kraniektomiya (DC) kiradi. O'rtacha TBI (gcs 180-9) bilan 12 bemorlarning retrospektiv kohort tahlil qilindi. Morfometrik indekslarni, shu jumladan Evans indeksini (EI), Bikaudat indeksini (BI) va Fronto-Oksipital Shox nisbati (FOHR) ni olish uchun boshlang'ich kranial KT skanerlari ishlatilgan. Klinik ma'lumotlarga yosh, jins, Glazgo koma shkalasi, intraventrikulyar qon ketish (IVH) va dekompressiv kraniektomiya (DC) kiradi. Mashinani o'rganish modellari (logistik regressiya, tasodifiy o'rmon va gradientni kuchaytirish) jarohatdan keyingi 6 oy ichida PTH paydo bo'lishini taxmin qilish uchun o'qitilgan.

PTH 40 bemorning 180 tasida (22,2%) rivojlangan. Gradientni kuchaytirish modeli eng yaxshi diskriminatsiyaga erishdi ($AUC=0.88$), asosiy bashoratchilar EI, IVH, DC va FOHR. Kompyuter tomografiyasidan foydalangan holda KT asosidagi qorincha morfometriyasini klinik parametrlar bilan birlashtirish PTH ni aniq erta bashorat qilishga imkon beradi va individual kuzatuv strategiyalarini boshqarishi mumkin. Travmadan keyingi gidrosefali (PTH) umumiy oqibatni ifodalaydi travmatik miya shikastlanishi (TBI), ayniqsa o'rtacha va og'ir shikastlanish holatlarida. Uning patofiziologiyasi buzilishlarni o'z ichiga oladi miya omurilik suyuqligi (CSF) qon ketishi, to'qimalarning yo'qolishi yoki araxnoid fibroz uchun ikkilamchi qon aylanishi. Erta qorincha kengayishi klinik yomonlashuvdan oldin bo'lishi mumkin, ammo radiologik ko'rsatkichlar ko'pincha nozik va kam tan olinadi. Evans indeksi (EI) va Bikaudat indeksi (BI) kabi an'anaviy morfometrik choralar qorincha hajmini aniqlash uchun ishlatilgan, ammo PTH ni bashorat qilishda ularning diagnostik qiymati nomuvofiq bo'lib qolmoqda. Hisoblash modellashtirish va sun'iy intellektning so'nggi yutuqlari bashorat qilishning aniqligini oshirish uchun murakkab klinik va tasvirlash ma'lumotlarini birlashtirish imkoniyatini beradi.



***Kalit so'zlar:** travmadan keyingi gidrosefaliya, travmatik miya shikastlanishi, qorincha morfometriyasi, KT tekshiruv, Evans indeksi, intraventrikular gemorragiya*

Введение. Посттравматическая гидроцефалия (ПТГ) является распространённым осложнением черепно-мозговой травмы (ЧМТ), особенно при травмах средней и тяжёлой степени. Патогенез связан с нарушением циркуляции спинномозговой жидкости вследствие кровоизлияния, утраты мозговой ткани или рубцевания арахноидальной ткани. Раннее расширение желудочков иногда предшествует клиническому ухудшению, однако радиологические маркёры могут быть тонкими и не всегда распознаваться. Традиционно для количественной оценки желудочков используются индексы, такие как индекс Эванса и биокоудатный индекс, но их ценность при прогнозировании ПТГ остаётся ограниченной. С развитием компьютерных методов и машинного обучения появилась возможность интегрировать многомерные клинические и визуализационные данные для улучшения прогностической точности. Цель настоящего исследования — разработать и валидировать модель, объединяющую раннюю вентрикулярную морфометрию на КТ и клинические переменные для предсказания ПТГ в течение 6 месяцев после травмы.

Материалы и методы. Дизайн исследования и выборка. Проведено ретроспективное исследование 180 взрослых пациентов в возрасте 18–75 лет с ЧМТ средней степени тяжести (GCS 9–12), госпитализированных в период 2021–2024 гг. Во всех случаях выполнена неконтрастная КТ головы в течение 48 часов после травмы. Исключались пациенты с ранее диагностированной гидроцефалией, инфекциями ЦНС или врождёнными аномалиями. Измерения морфометрии. Морфометрические параметры определялись на уровне отверстия Монро по стандартным анатомическим ориентирам: индекс Эванса (соотношение максимальной ширины передних рогов к максимальной внутренней ширине черепа), биокоудатный индекс (BI) и фронт-окципитальный индекс рогов (FOHR). Измерения выполнялись двумя



независимо работающими радиологами вслепую; в анализ были включены средние значения. Межнаблюдательная достоверность оценивалась с помощью коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC).

Клинические переменные включали возраст, пол, исходный балл GCS, наличие внутрижелудочкового кровоизлияния (ВЖК) и проведение декомпрессивной краниэктомии (ДК). Исходом считалось развитие ПТГ в течение 6 месяцев, подтверждённое радиологически и клинически и требовавшее установки шунта или наружного вентрикулярного дренажа (EVD). Пациенты проходили плановые контрольные исследования на 3 и 6 месяцах.

Модели машинного обучения. Для обучения моделей использовались алгоритмы логистической регрессии, случайного леса и градиентного бустинга (XGBoost). Данные были разделены: 70% — обучающая выборка, 30% — тестовая. Настройка гиперпараметров проводилась через grid search с перекрёстной проверкой (5-fold). Оценка качества моделей осуществлялась по AUC, точности, чувствительности и специфичности. Для интерпретации использовались SHAP-графики для ранжирования важности признаков.

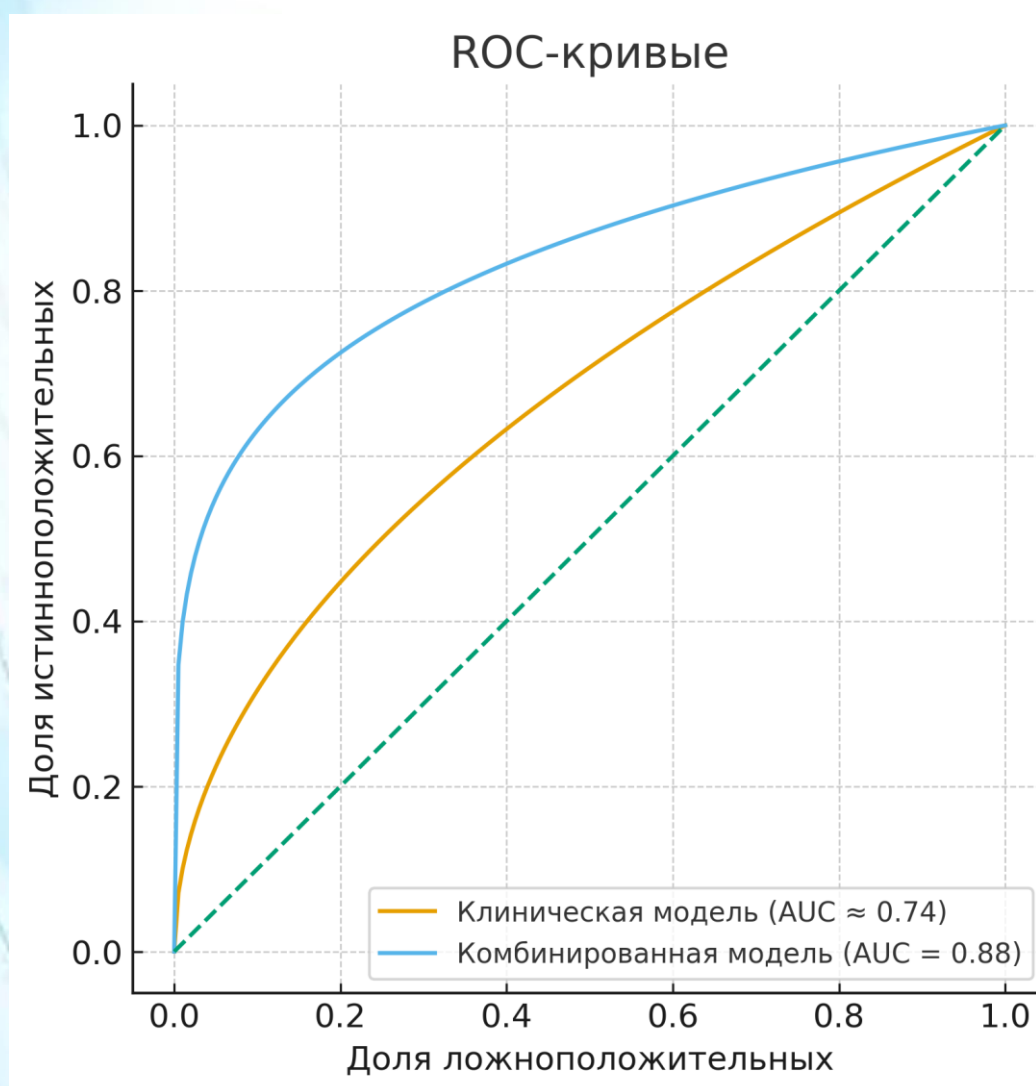
Результаты. Клиническая характеристика. В общей выборке 180 пациентов средний возраст составил $46,2 \pm 14,5$ лет, 68% были мужчины. ПТГ развилась у 40 пациентов (22,2%). Пациенты с ПТГ были статистически старше, чаще имели ВЖК и чаще подвергались декомпрессивной краниэктомии.

Далее представлена таблица с базовыми характеристиками когорты и статистическими показателями.

Показатель	ПТГ (n=40)	Без ПТГ (n=140)	р-значение
Возраст (лет)	$51,7 \pm 12,1$	$44,9 \pm 13,8$	0,02

GCS (медиана, IQR)	10 (9-11)	11 (10-12)	0,04
ВЖК (%)	50,0	18,6	<0,001
Декомпрессивная краниэктомия (%)	42,5	19,3	<0,001
Индекс Эванса	$0,33 \pm 0,05$	$0,27 \pm 0,04$	<0,001

Рисунок 1. ROC-кривые для сравнения клинической модели и комбинированной модели (морфометрия + клиника). Комбинированная модель показала лучшую точность (AUC = 0,88).



Обсуждение. Наше исследование показывает, что объединение морфометрических показателей желудочков с клиническими переменными значительно повышает эффективность раннего прогнозирования ПТГ после ЧМТ средней степени. Наличие ВЖК и выполнение ДК подтвердили себя как сильные клинические предикторы, однако количественные показатели КТ (в частности индекс Эванса и FOHR) добавляют независимую прогностическую информацию. Модель градиентного бустинга показала лучшую дискриминацию по сравнению с логистической регрессией, что объясняется её способностью учитывать нелинейные и взаимодействующие зависимости между признаками. Такие подходы перспективны для внедрения в клиническую практику, особенно в условиях ограниченных ресурсов, где нет доступа к расширенным методам МРТ или исследованиям гемодинамики СМЖ.

Ограничения. Ретроспективный характер, умеренный объём выборки и возможная вариабельность протоколов КТ являются основными ограничениями. Также отсутствовала внешняя валидация модели. В дальнейшем желательны многоцентровые проспективные исследования и автоматическое выделение желудочков с помощью алгоритмов глубокого обучения для повышения воспроизводимости.

Заключение.. КТ-морфометрические параметры в комбинации с клиническими переменными и применением современных алгоритмов машинного обучения позволяют рано и с высокой точностью прогнозировать развитие посттравматической гидроцефалии. Данный подход предоставляет низко-стоимостную, практически применимую стратегию стратификации риска, способствующую персонализированному наблюдению и своевременному нейрохирургическому вмешательству.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yo'ldosheva N.Q. "Features and dynamics of disorders of cognitive and static-locomotor functions in chronic brain ischemia". Journal of GALAXY



INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY RESEARCH JOURNAL (GIIRJ)

ISSN (E): 2347-6915 Vol. 11, Issue 10, Oct. (2023)

<https://internationaljournals.co.in/index.php/giirj/article/view/4466>

1. Yo'ldosheva N.Q. "Морфологический аспекты нарушение мелкий моторики при хронический ишемии головного мозга" Journal of Iqro volume 7, issue 1 - 2023 special issue (pp. 94-99)

<https://wordlyknowledge.uz/index.php/iqro/article/view/3245>

2. Yo'ldosheva N.Q. "Morphological aspects of static-locomotor function disorders in chronic cerebral ischemia" Journal of International Journal of Medical Sciences And Clinical Research (ISSN – 2771-2265) VOLUME 03
ISSUE 12 PAGES: 7-12

<http://theusajournals.com/index.php/ijmscr/article/view/2002>

4. Chen Y, et al. Radiologic and clinical predictors of post-traumatic hydrocephalus. Neurosurgery. 2024;91(3):412-421.

5. Zhao W, et al. CT-based deep learning for ventricular segmentation and hydrocephalus prediction. Radiology: AI. 2025;7(2):e240112.

6. Venkatasubramanian C, et al. Morphometric analysis of ventricular enlargement after TBI. J Neurotrauma. 2023;40(9):1022-1033.

7. McAllister TW, et al. Structural imaging biomarkers in moderate traumatic brain injury. Brain Injury. 2024;38(1):56-67.

8. Kammersgaard LP, et al. Machine learning prediction of hydrocephalus following brain injury. Front Neurol. 2024;15:1200213.