

# ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ К КОМПЬЮТЕРНОМУ ТОМОГРАФИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ТЯЖЕЛОЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ У РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

К.Э. МАХКАМОВ, М.К. МАХКАМОВ, А.С. МАКСЕТБАЕВ, А.Б. САЛАЕВ, С.Т. НАСИМОВ

Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Узбекистан

## INDICATIONS AND CONTRAINDICATIONS FOR COMPUTED TOMOGRAPHY IN SEVERE TRAUMATIC BRAIN INJURY ACROSS DIFFERENT AGE GROUPS (LITERATURE REVIEW)

K.E. MAKHKAMOV, M.K. MAKHKAMOV, A.S. MAKSETBAEV, A.B. SALAEV, S.T. NASIMOV

Republican Research Center of Emergency Medicine, Tashkent, Uzbekistan

В настоящем обзоре рассматриваются современные подходы к применению компьютерной томографии (КТ) при тяжёлой черепно-мозговой травме с акцентом на возрастные особенности пациентов. Проанализированы показания и противопоказания к КТ-исследованию у детей, взрослых и пожилых пациентов. Особое внимание уделено специфике диагностической тактики в различных возрастных группах, включая минимизацию лучевой нагрузки в педиатрии и учёт сопутствующих заболеваний у пожилых пациентов. Представлены результаты международных исследований и современные клинические рекомендации по оптимизации применения КТ при тяжёлой черепно-мозговой травме.

**Ключевые слова:** *тяжелая черепно-мозговая травма, компьютерная томография, показания, противопоказания, возрастные особенности, диагностика.*

This review examines current approaches to computed tomography (CT) application in severe traumatic brain injury with emphasis on age-specific patient characteristics. Indications and contraindications for CT examination in children, adults and elderly patients are analyzed. Special attention is paid to diagnostic tactics specifics in different age groups, including radiation dose minimization in pediatrics and consideration of comorbidities in elderly patients. Results of international studies and current clinical guidelines for optimizing CT use in severe traumatic brain injury are presented.

**Keywords:** *severe traumatic brain injury, computed tomography, indications, contraindications, age-specific features, diagnosis.*

[https://doi.org/10.54185/ТВЕМ/vol19\\_iss1/a11](https://doi.org/10.54185/ТВЕМ/vol19_iss1/a11)

### Введение

Тяжёлая черепно-мозговая травма (ТЧМТ) представляет собой одну из ведущих причин смертности и инвалидизации во всём мире, особенно среди лиц молодого возраста [1]. По данным систематического анализа глобального бремени болезней, ежегодно в мире регистрируется около 69 млн случаев черепно-мозговой травмы различной степени тяжести, при этом тяжёлые формы составляют 10–15% от общего числа [2, 3]. Компьютерная томография (КТ) головного мозга является «золотым стандартом»

экстренной диагностики при подозрении на ТЧМТ благодаря своей доступности, скорости выполнения и высокой чувствительности в выявлении острых внутричерепных повреждений [4, 5]. Компьютерная обработка данных с трёхмерной реконструкцией позволяет создавать модели органов, систем и организма человека в целом, что расширяет возможности их применения в клинической практике [6]. Однако применение КТ-диагностики должно основываться на чётких показаниях и учитывать возрастные особенности пациентов, поскольку диагностическая

тактика у детей, взрослых и пожилых больных имеет существенные различия [7, 8].

### Определение понятия и патофизиология ТЧМТ

Классификация тяжести ЧМТ основывается на оценке по шкале комы Глазго (ШКГ), которая остаётся основным инструментом оценки уровня сознания при острой травме головного мозга [9]. ТЧМТ диагностируется при ШКГ 3–8 баллов и характеризуется потерей сознания более 6 часов, выраженной клинико-неврологической симптоматикой [10]. У детей до 4 лет преобладают травмы вследствие падений и синдрома жестокого обращения; в возрасте 5–14 лет – спортивные травмы и дорожно-транспортные происшествия (ДТП) [11]. У взрослых 15–44 лет основными причинами являются ДТП (40–50%) и падения с высоты (25–30%), тогда как у пожилых пациентов старше 65 лет доминируют падения на плоскости (до 80% случаев) [12, 13]. Патофизиология ТЧМТ включает первичные и вторичные механизмы повреждения головного мозга [14]. Первичные повреждения возникают в момент травмы и включают очаговые изменения (ушибы мозга, внутричерепные гематомы), диффузные повреждения (диффузное аксональное повреждение) и переломы костей черепа [15]. Вторичные повреждения развиваются в течение часов и дней после травмы вследствие отёка мозга, повышения внутричерепного давления, ишемии и нарушений метаболизма [16]. КТ головного мозга позволяет быстро выявить большинство первичных повреждений, требующих экстренного хирургического вмешательства, и оценить признаки вторичных изменений [17]. Диагностические возможности КТ включают выявление внутричерепных гематом (эпидуральных, субдуральных, внутримозговых), ушибов мозга, отёка и дислокации мозговых структур, а также переломов костей черепа [18].

### Показания и противопоказания к КТ-исследованию у пострадавших различных возрастных групп

Показания к экстренной КТ головного мозга при подозрении на ТЧМТ чётко регламентированы международными клиническими рекомендациями и подразделяются на абсолютные и относительные [19, 20]. Важным этапом в развитии диагностических критериев стала разработка Канадских критериев КТ головы, которые были обновлены в последних исследованиях с включением пациентов, получающих антикоагулянтную и антиагрегантную терапию [21]. Аб-

солютные показания к КТ включают нарушения сознания с ШКГ  $\leq 14$  баллов, очаговую неврологическую симптоматику (парезы, параличи, афазия, нарушения чувствительности, анизокория), судорожный синдром при поступлении или в анамнезе после травмы, многократную рвоту (более 2 эпизодов у взрослых, более 3 – у детей старше 2 лет), подозрение на открытую или проникающую ЧМТ, клинически или рентгенологически подтверждённый вдавленный перелом костей черепа, признаки перелома основания черепа (назальная или ушная ликворея, симптом «очков», симптом Бэттла, гемотимпанум), коагулопатию или приём антикоагулянтов/антиагрегантов (варфарин, прямые оральные антикоагулянты, двойная антиагрегантная терапия), прогрессирующее ухудшение неврологического статуса, а также наличие шунтирующей системы для лечения гидроцефалии [22, 23]. Согласно Канадским критериям КТ головы и рекомендациям NICE, абсолютным показанием также является потеря сознания или посттравматическая амнезия у пациентов с факторами высокого риска, что обусловлено повышенной вероятностью субдуральных гематом на фоне возрастной атрофии мозга и частым приёмом антитромботической терапии в данной группе [22].

К относительным показаниям относятся ретроградная амнезия продолжительностью более 30 минут до момента травмы, механизм травмы высокого риска (ДТП на высокой скорости, выброс из транспортного средства, наезд на пешехода или велосипедиста, падение с высоты более 1 метра), алкогольная или наркотическая интоксикация при невозможности адекватной оценки неврологического статуса, нарастающая головная боль, не купирующаяся анальгетиками, невозможность обеспечения динамического клинического наблюдения в течение 24 часов, а также возраст старше 65 лет при наличии любых, даже минимальных, симптомов ЧМТ [24, 25].

Противопоказания к КТ-исследованию немногочисленны, что обусловлено витальными показаниями при ТЧМТ [26]. Абсолютным противопоказанием к нативному (бесконтрастному) КТ-исследованию головного мозга фактически является лишь агональное состояние пациента, при котором проведение любых диагностических процедур нецелесообразно. Критическое состояние с нестабильной гемодинамикой не является абсолютным противопоказанием к КТ; напротив, при ТЧМТ результаты томографии необходимы для определения хирургической тактики. Однако исследование должно проводиться после первичной стабилизации витальных

функций и при условии обеспечения непрерывного мониторинга и реанимационной поддержки во время транспортировки и сканирования. При использовании контрастного усиления (КТ-ангиография) дополнительными противопоказаниями являются документированная аллергическая реакция на йодсодержащие контрастные препараты в анамнезе (анафилаксия, отёк Квинке, тяжёлая крапивница), тяжёлая почечная недостаточность (скорость клубочковой фильтрации менее 30 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>) в связи с риском контраст-индуцированной нефропатии, а также декомпенсированный тиреотоксикоз [27, 28].

К относительным противопоказаниям относятся беременность (особенно I триместр), однако при подозрении на ТЧМТ жизненные показания матери превалируют над потенциальным риском для плода при условии защиты области живота и таза свинцовым фартуком [27]; невозможность обеспечения неподвижности пациента без медикаментозной седации (у детей младшего возраста, пациентов с психомоторным возбуждением, выраженной спастичностью или произвольными движениями), что может потребовать предварительной седации с учётом рисков угнетения дыхания и сердечно-сосудистой системы [28, 59]; хроническая болезнь почек с умеренным снижением функции (СКФ 30–59 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>) при необходимости контрастного усиления [27]; а также крайне тяжёлое ожирение (масса тела, превышающая допустимую нагрузку стола томографа).

Возрастные особенности показаний к КТ при ТЧМТ имеют принципиальное значение для оптимизации диагностической тактики. У педиатрических пациентов (0–18 лет) показания к КТ имеют особенности, связанные с анатомо-физиологическими характеристиками детского возраста и повышенной чувствительностью к ионизирующему излучению [29].

У детей до 2 лет показания к КТ расширяются в связи с особенностями анатомии черепа (наличие большого родничка), невозможностью адекватной оценки неврологического статуса по стандартным шкалам, высоким риском неслучайной травмы и особенностями клинических проявлений. В этой возрастной группе даже незначительные клинические симптомы могут свидетельствовать о серьёзных внутричерепных повреждениях [30]. У детей старше 2 лет применяются модифицированные критерии, учитывающие механизм травмы, клинические проявления и возможность динамического наблюдения.

Противопоказания к КТ у детей включают те же абсолютные противопоказания, что и у

взрослых, однако с особым акцентом на минимизацию лучевой нагрузки. К относительным противопоказаниям у детей относятся: повышенная радиочувствительность тканей растущего организма с риском радиационно-индуцированного канцерогенеза (относительный риск избытка лейкемии – 0,036 на мГр, опухолей головного мозга – 0,023 на мГр) [69]; при этом эффективная доза КТ головы у новорождённых составляет приблизительно 3,5 мЗв, что в 4 раза превышает аналогичный показатель у взрослых [67]. Также существенным фактором является необходимость медикаментозной седации у детей младше 3 лет для обеспечения неподвижности, что сопряжено с риском угнетения дыхания, ларингоспазма, брадикардии и гипоксии, особенно у детей до 6 месяцев с незрелой системой регуляции дыхания [59]. К дополнительным ограничениям относятся наличие кумулятивной лучевой нагрузки от предшествующих КТ-исследований (кумулятивная доза около 50 мГр утраивает риск лейкемии, около 60 мГр – риск опухолей головного мозга) [69], а также возможность применения альтернативных методов диагностики – нейросонографии через открытый большой родничок у детей до 12–18 месяцев в качестве первичного скрининга [62] и МРТ без использования ионизирующего излучения при стабильном состоянии пациента [61]. Крупное европейское когортное исследование EPI-CT продемонстрировало увеличение риска гематологических злокачественных новообразований после проведения КТ в детском возрасте, что подчёркивает важность строгого соблюдения показаний в педиатрии [31].

У взрослых пациентов (18–65 лет) показания к КТ основываются на стандартных критериях с учётом механизма травмы, неврологического статуса и наличия факторов риска [32]. У пациентов с алкогольной или наркотической интоксикацией КТ головного мозга показана в обязательном порядке, поскольку интоксикация является признанным фактором, затрудняющим достоверную оценку неврологического статуса [27]. По данным Baum и соавт. (2020), алкогольная интоксикация может снижать показатель ШКГ на 1–3 балла, маскируя истинную тяжесть повреждения, а частота внутричерепных гематом у интоксигированных пациентов с нормальным неврологическим осмотром достигает 8–12% [33]. Согласно международным рекомендациям, КТ обязательна при невозможности достоверной оценки неврологического статуса, отсутствии положительной динамики сознания в течение 2–4 часов наблюдения, а также у пациентов с хрони-

ческим алкоголизмом ввиду сопутствующей коагулопатии и церебральной атрофии [22, 27, 33].

У пожилых пациентов (старше 65 лет) диагностическая тактика имеет свои особенности, связанные с возрастными изменениями мозга, высокой частотой сопутствующих заболеваний и приёмом антикоагулянтной терапии [34]. Современные исследования показывают, что возраст является независимым фактором риска неблагоприятного исхода при ЧМТ, что обосновывает снижение порога для проведения КТ у пожилых пациентов [35]. Возрастная атрофия мозга может маскировать наличие субдуральных гематом небольшого объёма, а приём антикоагулянтов значительно повышает риск внутримозговых кровоизлияний даже при лёгкой травме [36].

Международные исследования внесли значительный вклад в оптимизацию применения КТ при ТЧМТ. Консенсусная конференция SIBICC (Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference) в 2019 году разработала алгоритм ведения пациентов с мониторингом внутричерепного давления, включающий протоколы КТ-исследований [37]. Был предложен протокол ICE (Imaging and Clinical Examination), предусматривающий обязательное выполнение КТ при поступлении, через 48 часов и через 5–7 дней после травмы [38]. Европейское исследование CENTER-TBI, включившее 2867 пациентов из 65 клинических центров в 18 странах, продемонстрировало высокую диагностическую ценность биомаркеров GFAP и UCH-L1 в предсказании патологических изменений на КТ [39, 40].

Протоколы КТ-исследования при ТЧМТ включают нативное сканирование без контрастного усиления с толщиной срезов 5 мм для костных структур и 2,5–5 мм – для мягких тканей [41]. При подозрении на сосудистые повреждения дополнительно выполняется КТ-ангиография с внутривенным контрастированием [42]. У детей применяются низкодозовые протоколы с автоматической модуляцией тока трубки для минимизации лучевой нагрузки [43]. Повторные КТ-исследования проводятся при ухудшении неврологического статуса, нарастании внутричерепного давления или через 6–12 часов при исходно тяжёлом состоянии пациента [44]. Интерпретация результатов КТ при ТЧМТ требует оценки множества параметров, включая размеры и локализацию очагов ушиба мозга, наличие и объём внутримозговых гематом, степень масс-эффекта и дислокации срединных структур [45]. Особое внимание уделяется состоянию базальных цистерн, наличию признаков отёка мозга и повышения внутричерепного давления [46].

Оценка по современным КТ-классификационным системам позволяет стандартизировать описание изменений и прогнозировать исходы [47]. У детей учитываются возрастные нормы размеров желудочковой системы и субарахноидальных пространств [48]. Вопросы лучевой нагрузки особенно актуальны в педиатрической практике [49]. Эффективная доза облучения при КТ головного мозга составляет 1,4–4,6 мЗв, что соответствует естественному фоновому облучению за 8 месяцев – 2 года [50]. У детей риск развития злокачественных новообразований в отдалённые сроки выше, чем у взрослых, что обосновывает необходимость применения низкодозовых протоколов и строгого соблюдения показаний [51]. Применение итеративной реконструкции позволяет снизить лучевую нагрузку на 30–50% без ущерба для диагностического качества изображений [52].

Экономические аспекты КТ-диагностики при ЧМТ включают как прямые, так и косвенные затраты [53]. Французское исследование Velle et al. (2023) показало, что использование биомаркеров (GFAP + UCH-L1) может снизить количество КТ-исследований на 20–30% при сохранении сопоставимых затрат и клинических исходов [54].

Стоимость КТ-исследования значительно ниже, чем МРТ, что делает его более доступным методом диагностики, а быстрота выполнения КТ позволяет сократить время пребывания пациента в отделении неотложной помощи [55]. Качество КТ-изображений может существенно влиять на диагностическую точность [56]. Артефакты движения особенно часто встречаются у пациентов с нарушением сознания и у возбуждённых больных; металлические артефакты от имплантов, зубных протезов или инородных тел могут затруднять интерпретацию [57]. Использование итеративной реконструкции и алгоритмов подавления артефактов позволяет улучшить качество изображений [58]. У детей седация может потребоваться для получения изображений без артефактов движения, однако она должна применяться с осторожностью с учётом состояния дыхательной и сердечно-сосудистой систем [59].

Альтернативные методы нейровизуализации при ЧМТ имеют ограниченное применение в остром периоде [60]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) лучше выявляет диффузное аксональное повреждение, однако требует большего времени исследования и стабильного состояния пациента [61].

Ультразвуковое исследование головного мозга у детей с открытым родничком может быть полезно для первичной оценки, однако его диа-

гностические возможности ограничены [62]. Современные тенденции в области КТ-диагностики при ТЧМТ включают развитие технологий искусственного интеллекта для автоматического анализа изображений, совершенствование протоколов низкодозового сканирования и интеграцию биомаркеров в алгоритмы принятия клинических решений [63]. Исследования демонстрируют перспективность использования методов машинного обучения для повышения точности диагностики и прогнозирования исходов при ТЧМТ [64].

### Лучевая нагрузка КТ-исследования

Лучевая нагрузка при КТ-исследованиях головного мозга является важным фактором, требующим тщательного анализа, особенно в контексте экстренной диагностики травматических повреждений. Для объективной оценки радиационной экспозиции используются стандартизированные дозиметрические параметры: объёмный индекс дозы КТ (CTDIvol, мГр), произведение дозы на длину (DLP, мГр-см) и эффективная доза (мЗв). Согласно систематическому обзору McCollough и соавт. (2015), эффективная доза облучения при КТ головного мозга у взрослых составляет 0,9–2,1 мЗв [65]. Исследование Smith-Bindman и соавт. (2009), проанализировавшее данные четырёх медицинских учреждений, выявило медианную эффективную дозу для рутинной КТ головы 2,1 мЗв (межквартильный размах 1,8–2,8 мЗв) с 13-кратной вариабельностью между минимальными и максимальными значениями [66].

У педиатрических пациентов лучевая нагрузка имеет особое значение в связи с повышенной радиочувствительностью тканей. Согласно исследованию Huda и Ogden (2007), эффективная доза при КТ головы у новорождённых составляет приблизительно 3,5 мЗв, что в 4 раза превышает аналогичный показатель у взрослых (0,9 мЗв), несмотря на меньшие размеры головы [67]. Сравнительное исследование Tap и соавт. (2021), проведённое в педиатрических и общих отделениях неотложной помощи, выявило медианную эффективную дозу КТ головного мозга у детей 1,68 мЗв (межквартильный размах 1,43–2,10 мЗв), что соответствует приблизительно 6 месяцам естественного фонового облучения [68].

Риск радиационно-индуцированного канцерогенеза является предметом особого внимания в педиатрической практике. Ретроспективное когортное исследование Pearce и соавт. (2012),

включившее данные 178 604 пациентов, продемонстрировало статистически значимое увеличение риска лейкемии (относительный риск избытка – 0,036 на мГр) и опухолей головного мозга (относительный риск избытка – 0,023 на мГр) после КТ-исследований в детском возрасте. По оценкам авторов, кумулятивная доза около 50 мГр может утроить риск развития лейкемии, а доза около 60 мГр – риск опухолей головного мозга [69].

Для контекстуализации радиационных рисков целесообразно сравнение эффективных доз КТ с другими источниками облучения. Среднегодовая доза естественного фонового облучения составляет приблизительно 3 мЗв (в диапазоне 1–10 мЗв в зависимости от географического региона), при этом основным источником является радон (около 2 мЗв/год) [65]. Таким образом, однократное КТ-исследование головы эквивалентно 6–8 месяцам естественного фонового облучения. Для сравнения: рентгенография грудной клетки в двух проекциях соответствует эффективной дозе 0,1 мЗв (примерно 10 дней фонового облучения), тогда как КТ органов брюшной полости – 7–10 мЗв (2–3 года фонового облучения) [66].

### Заключение

Компьютерная томография остаётся основным методом экстренной диагностики тяжёлой черепно-мозговой травмы, позволяющим быстро выявить жизнеугрожающие состояния и определить тактику лечения. На основании проведённого анализа литературы можно сформулировать следующие конкретные показания и противопоказания к КТ-исследованию при ЧМТ.

Абсолютные показания к КТ головного мозга при ЧМТ включают: оценку по шкале комы Глазго  $\leq 14$  баллов; очаговую неврологическую симптоматику (парезы, параличи, афазия, нарушения чувствительности, анизокория); судорожный синдром при поступлении или в анамнезе после травмы; многократную рвоту (более 2 эпизодов у взрослых, более 3 – у детей старше 2 лет); подозрение на открытую или проникающую ЧМТ; клинически или рентгенологически подтверждённый вдавленный перелом костей черепа; признаки перелома основания черепа (назальная или ушная ликворея, симптом «очков», симптом Бэттла, гемотимпанум); коагулопатию или приём антикоагулянтов/антиагрегантов; прогрессирующее ухудшение неврологического статуса; наличие шунтирующей системы для лечения гидроцефалии; потерю со-

знания или посттравматическую амнезию у пациентов старше 65 лет.

Относительные показания к КТ при ЧМТ включают: ретроградную амнезию продолжительностью более 30 минут; механизм травмы высокого риска (ДТП на высокой скорости, выброс из транспортного средства, наезд на пешехода или велосипедиста, падение с высоты более 1 метра или более 5 ступеней); алкогольную или наркотическую интоксикацию при невозможности адекватной оценки неврологического статуса; нарастающую головную боль, не купируемую анальгетиками; невозможность обеспечения динамического клинического наблюдения в течение 24 часов; возраст старше 65 лет при наличии любых, даже минимальных, симптомов ЧМТ.

Абсолютные противопоказания к нативному КТ-исследованию головного мозга при ЧМТ фактически ограничиваются агональным состоянием пациента, при котором проведение диагностических процедур нецелесообразно. При использовании контрастного усиления (КТ-ангиография) абсолютными противопоказаниями являются: документированная тяжёлая аллергическая реакция на йодсодержащие контрастные препараты (анафилаксия, отёк Квинке); тяжёлая почечная недостаточность (СКФ менее 30 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>); декомпенсированный тиреотоксикоз.

Относительные противопоказания к КТ при ЧМТ включают: беременность (особенно I триместр), при этом жизненные показания матери превалируют над потенциальным риском для плода; невозможность обеспечения неподвижности пациента без медикаментозной седации; хроническую болезнь почек с умеренным снижением функции (СКФ 30–59 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>) при необходимости контрастного усиления; крайне тяжёлое ожирение, превышающее допустимую нагрузку стола томографа.

Возрастные особенности пациентов играют ключевую роль в определении диагностической тактики. У детей младшего возраста (до 2 лет) показания к КТ расширяются в связи с невозможностью адекватной оценки неврологического статуса по стандартным шкалам и высоким риском скрытых внутричерепных повреждений; однако приоритетом остаётся минимизация лучевой нагрузки с применением низкодозовых протоколов и итеративной реконструкции, позволяющей снизить дозу облучения на 30–50%. У пожилых пациентов (старше 65 лет) порог для назначения КТ должен быть снижен ввиду повы-

шенного риска внутричерепных осложнений на фоне возрастной атрофии мозга, маскирующей субдуральные гематомы, а также частого приёма антикоагулянтной терапии, значительно повышающей риск внутричерепных кровотечений даже при минимальной травме.

Современные технологические достижения, включая итеративную реконструкцию, автоматическую модуляцию дозы, интеграцию биомаркеров (GFAP, UCH-L1) в алгоритмы принятия решений и применение искусственного интеллекта для автоматического анализа изображений, открывают перспективы дальнейшей оптимизации КТ-диагностики ТЧМТ с учётом индивидуальных особенностей каждого пациента.

### Литература

1. Dewan M.C., Rattani A., Gupta S., Baticulon R.E., Hung Y.C., Panchak M., et al. Estimating the global incidence of traumatic brain injury. *J Neurosurg.* 2019; 130(4):1080–1097.
2. Maas A.I., Menon D.K., Manley G.T., Abrams M., Åkerlund C., Andelic N., et al. Traumatic brain injury: progress and challenges in prevention, clinical care, and research. *Lancet Neurol.* 2022; 21(11):1004–1060.
3. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019. *Lancet.* 2020; 396(10258):1204–1222.
4. Yuh E.L., Jain S., Sun X., Pisciă D., Harris M.H., Taylor S.R., et al. Pathological computed tomography features associated with adverse outcomes after mild traumatic brain injury: a TRACK-TBI study with external validation in CENTER-TBI. *JAMA Neurol.* 2021; 78(9): 1137–1148.
5. Haghbayan H., Boutin A., Laflamme M., Lauzier F., Shemilt M., Moore L., et al. The prognostic value of MRI in moderate and severe traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med.* 2017; 45(12): e1280–e1288.
6. Хаджибаев А.М., Махкамов К.Э., Азимов М.М. Интеграция компьютерного инжиниринга и аддитивных технологий в медицинскую сферу. *Вестник экстренной медицины.* 2019; 12(2): 5–11 [Khadjibaev A.M., Makhkamov K.E., Azimov M.M. Integration of computer engineering and additive technologies in the medical field. *Bulletin of Emergency Medicine.* 2019; 12(2): 5–11. In Russian].
7. Capizzi A., Woo J., Verduzco-Gutierrez M. Traumatic brain injury: an overview of epidemiology, pathophysiology, and medical management. *Med Clin North Am.* 2020; 104(2): 213–238.

8. Meulepas J.M., Ronckers C.M., Smets A.M., Nieuvelstein R.A., Gradowska P., Lee C., et al. Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *J Natl Cancer Inst.* 2019; 111(3):256–263.
9. Bodien Y.G., Barra A., Temkin N.R., Barber J., Foreman B., Vassar M., et al. Diagnosing level of consciousness: the limits of the Glasgow Coma Scale total score. *J Neurotrauma.* 2021; 38(23):3295–3305.
10. Pugh M.J., Kennedy E., Prager E.M., Humpherys J., Dams-O'Connor K., Hack D., et al. Phenotyping the spectrum of traumatic brain injury. *J Neurotrauma.* 2021; 38(22):3222–3234.
11. Dewan M.C., Mummareddy N., Wellons J.C. III, Bonfield C.M. Epidemiology of global pediatric traumatic brain injury: a qualitative review. *World Neurosurg.* 2016; 91:497–509.
12. Gardner R.C., Dams-O'Connor K., Morrissey M.R., Manley G.T. Geriatric traumatic brain injury: epidemiology, outcomes, knowledge gaps. *J Neurotrauma.* 2019; 35(7):889–906.
13. Gravesteyn B.Y., Sewalt C.A., Ercole A., Akerlund C., Nelson D., Maas A.I., et al. Toward a new multi-dimensional classification of traumatic brain injury. *J Neurotrauma.* 2020; 37(7):1002–1010.
14. Ng S.Y., Lee A.Y.W. Traumatic brain injuries: pathophysiology and potential therapeutic targets. *Front Cell Neurosci.* 2019; 13:528.
15. Hill C.S., Coleman M.P., Menon D.K. Traumatic axonal injury: mechanisms and translational opportunities. *Trends Neurosci.* 2022; 45(6):475–490.
16. Stocchetti N., Carbonara M., Citerio G., Ercole A., Skrifvars M.B., Smielewski P., et al. Severe traumatic brain injury: targeted management in the intensive care unit. *Lancet Neurol.* 2017; 16(6):452–464.
17. Mutch C.A., Talbott J.F., Gean A. Imaging evaluation of acute traumatic brain injury. *Neurosurg Clin N Am.* 2019; 27(4):409–439.
18. Sananmuang T., Agarwal M., Maleki F., Muthukrishnan N., Marquez J.C., Chankowsky J., Forghani R. Dual energy computed tomography in head and neck imaging: pushing the envelope. *Neuroimaging Clin N Am.* 2020; 30(3):311–323.
19. Hawryluk G.W., Aguilera S., Buki A., Bulger E., Citerio G., Cooper D.J., et al. A management algorithm for patients with intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC). *Intensive Care Med.* 2019; 45(12):1783–1794.
20. Fuller G., Sabir L., Evans R., Lecky F., Turner C., Kelly P., et al. Risk stratification in paediatric head injury: an updated NICE guideline. *Arch Dis Child Educ Pract Ed.* 2023; 108(4):249–253.
21. Uccella L., Riboni C., Polinelli F., Biondi C., Uccheddu G., Petrino R., et al. Use of the Canadian CT head rule for patients on anticoagulant/anti-platelet therapy. *Front Neurol.* 2024; 15:1327871.
22. Coffeng S.M., Foks K.A., Cnossen M.C., van den Brand C.L., Lingsma H.F., Polinder S., et al. Evaluation of clinical characteristics and CT decision rules in elderly patients with minor head injury. *J Clin Med.* 2023; 12(3):982.
23. Skandsen T., Nilsen T.L., Einarsen C., Normann I., McDonagh D., Haberg A.K., et al. Incidence of mild traumatic brain injury. *Front Neurol.* 2019; 10:638.
24. Van den Brand C.L., Perotti J.R., van der Linden M.C., Tolido T., Jellema K. Effect of the implementation of a new guideline for minor head injury on computed tomography-ratio and hospitalizations in the Netherlands. *Eur J Emerg Med.* 2020; 27(6):441–446.
25. Weber M.W., Nie J.Z., Espinosa J.A., Delfino K.R., Michael A.P. Assessing the efficacy of mild traumatic brain injury management. *Clin Neurol Neurosurg.* 2021; 202: 106518.
26. Bazarian J.J., Biberthaler P., Welch R.D., Lewis L.M., Barzo P., Bogner-Flatz V., et al. Serum GFAP and UCH-L1 for prediction of absence of intracranial injuries on head CT (ALERT-TBI). *Lancet Neurol.* 2018; 17(9):782–789.
27. Backus B.E., Moustafa F., Skogen K., Sapin V., Rane N., Moya-Torrecilla F., et al. Consensus paper on the assessment of adult patients with traumatic brain injury with GCS 13–15. *Eur J Emerg Med.* 2024; 31(4):240–249.
28. Lumba-Brown A., Yeates K.O., Sarmiento K., Breiding M.J., Haegerich T.M., Gioia G.A., et al. CDC guideline on the diagnosis and management of mild traumatic brain injury among children. *JAMA Pediatr.* 2018; 172(11):e182853.
29. Goske M.J., Applegate K.E., Bulas D., Butler P.F., Callahan M.J., Coley B.D., et al. Image Gently: progress and challenges in CT education and advocacy. *Pediatr Radiol.* 2011; 41(Suppl 2):461–466.
30. Kuppermann N., Dayan P.S., Levine D.A., Vitale M., Tzimenatos L., Tunik M.G., et al. A clinical prediction rule to identify febrile infants 60 days and younger at low risk for serious bacterial infections. *JAMA Pediatr.* 2019; 173(4):342–351.
31. Bosch de Basea M., Thierry-Chef I., Harbron R., Hauptmann M., Byrnes G., Bernier M.-O., et al. Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults. *Nat Med.* 2023; 29(12):3111–3119.
32. Yuh E.L., Jain S., Sun X., Pisciă D., Harris M.H., Taylor S.R., et al. Pathological computed tomography features associated with adverse outcomes after mild traumatic brain injury: a TRACK-TBI study

- with external validation in CENTER-TBI. *JAMA Neurol.* 2021; 78(9): 1137–1148.
33. DiGiorgio A.M., Wittenberg B.A., Crutcher C.L. II, Kennamer B., Greene C.S., Velander A.J., et al. The impact of drug and alcohol intoxication on Glasgow Coma Scale assessment in patients with traumatic brain injury. *World Neurosurg.* 2020; 135: e664–e670.
  34. Krishnamoorthy V., Distelhorst J.T., Vavilala M.S., Thompson H. Traumatic brain injury in the elderly: burden, risk factors, and prevention. *J Trauma Nurs.* 2015; 22(4):204–208.
  35. Eghzawi A., Alsabbah A., Gharaibeh S., Alwan I., Gharaibeh A., Goyal A.V. Mortality predictors for adult patients with mild-to-moderate traumatic brain injury: a literature review. *Neurol Int.* 2024; 16(2):406–418.
  36. Scotti P., Séguin C., Lo B.W., De Guise E., Troquet J.M., Marcoux J. Antithrombotic agents and traumatic brain injury in the elderly population: hemorrhage patterns and outcomes. *J Neurosurg.* 2019; 133(2): 486–495.
  37. Hawryluk G.W., Rubiano A.M., Totten A.M., O'Reilly C., Ullman J.S., Bratton S.L., et al. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury: 2020 update of the decompressive craniectomy recommendations. *Neurosurgery.* 2020; 87(3): 427–434.
  38. Chesnut R.M., Temkin N., Dikmen S., Rondina C., Videtta W., Petroni G., et al. A method of managing severe traumatic brain injury in the absence of intracranial pressure monitoring: the imaging and clinical examination protocol. *J Neurotrauma.* 2018; 35(1):54–63.
  39. Czeiter E., Amrein K., Gravesteyn B.Y., Lecky F., Menon D.K., Mondello S., et al. Blood biomarkers on admission in acute traumatic brain injury: relations to severity, CT findings and care path in the CENTER-TBI study. *EBioMedicine.* 2020; 56:102785.
  40. Helmrich I.R.R., Czeiter E., Amrein K., Büki A., Lingsma H.F., Menon D.K., et al. Incremental prognostic value of acute serum biomarkers for functional outcome after traumatic brain injury (CENTER-TBI): an observational cohort study. *Lancet Neurol.* 2022; 21(9):792–802.
  41. Almenawer S.A., Bogza I., Yarascavitch B., Sne N., Farrokhhyar F., Murty N., et al. The value of scheduled repeat cranial computed tomography after mild head injury: single-center series and meta-analysis. *Neurosurgery.* 2013; 72(1):56–64.
  42. Rutman A.M., Vranic J.E., Mossa-Basha M. Imaging and management of blunt cerebrovascular injury. *Radiographics.* 2020; 40(3):761–788.
  43. Strauss K.J., Goske M.J., et al. Image gently: Ten steps you can take to optimize image quality and lower CT dose for pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2010; 194(4): 868–873.
  44. Reljic T., Engel A., et al. Timing of repeat CT in mild traumatic brain injury. *Brain Inj.* 2020; 34(3): 291–298.
  45. Mutch C.A., Talbott J.F., Gean A. Imaging evaluation of acute traumatic brain injury. *Neurosurg Clin N Am.* 2020; 27(4):409–439.
  46. Thelin E.P., Nelson D.W., et al. Evaluation of novel CT scoring systems in human traumatic brain injury. *PLoS Med.* 2019; 14(8):e1002368.
  47. Maas A.I.R., Hukkelhoven C.W.P.M., et al. Prediction of outcome in traumatic brain injury with CT characteristics. *Neurosurgery.* 2005; 57(6):1173–1182.
  48. Raj R., Luoto T.M., et al. CT findings in pediatric traumatic brain injury: diagnostic value and clinical relevance. *Pediatr Crit Care Med.* 2019; 20(1):e1–e8.
  49. Huang R., Liu X., et al. Radiation exposure associated with CT in childhood and subsequent risk of cancer: a meta-analysis. *Dose Response.* 2020; 18(2):1559325820923828.
  50. McCollough C.H., et al. CT dose optimization strategies. *Radiology.* 2019; 293(3):507–518.
  51. Mathews J.D., Forsythe A.V., et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to CT scans in childhood or adolescence. *BMJ.* 2013; 346: f2360.
  52. Willeminck M.J., Noël P.B. The evolution of image reconstruction for CT. *Eur Radiol.* 2019; 29(5):2185–2195.
  53. Kaplan Z.L.R., et al. Intramural healthcare consumption and costs after traumatic brain injury: CENTER-TBI study. *J Neurotrauma.* 2023; 40(19–20):2126–2145.
  54. Velle L., et al. Cost-effectiveness of blood-based brain biomarkers for screening adults with mild TBI. *J Head Trauma Rehabil.* 2023; 38(3):e201–e213.
  55. Korley F.K., et al. Emergency department evaluation of traumatic brain injury in the United States. *J Head Trauma Rehabil.* 2019; 31(6): 379–387.
  56. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. *Radiographics.* 2004; 24(6):1679–1691.
  57. Gjestebly L., et al. Metal Artifact Reduction in CT: Where Are We After Four Decades? *IEEE Access.* 2016; 4: 5826–5849.
  58. Kahn J., et al. CT in trauma patients using iterative reconstruction: reducing radiation exposure without loss of image quality. *Acta Radiol.* 2019; 57(3): 362–369.
  59. Hoyle J.D. Jr, et al. Pharmacological sedation for cranial CT in children after minor blunt head trauma. *Pediatr Emerg Care.* 2019; 30(1):1–7.

60. Wallace E.J., et al. Diffusion tensor imaging changes following mild, moderate and severe adult TBI. *Brain Imaging Behav.* 2019; 12(6):1607–1621.
61. Yuh E.L., Mukherjee P., et al. MRI improves 3-month outcome prediction in mild TBI. *Ann Neurol.* 2013; 73(2):224–235.
62. Parri N., Crosby B.J., et al. Diagnostic accuracy of point-of-care ultrasound for skull fractures in children with head trauma. *Acad Emerg Med.* 2018; 25(9):1018–1027.
63. Chilamkurthy S., Ghosh R., et al. Deep learning algorithms for detection of critical findings in head CT scans. *Lancet.* 2019; 392(10162):2388–2396.
64. Iqbal Z., et al. Deep learning algorithms for automated detection of TBI on CT: a systematic review and meta-analysis. *Neuroradiology.* 2024; 66(1):23–38.
65. McCollough C.H., Bushberg J.T., et al. Answers to common questions about the use and safety of CT scans. *Mayo Clin Proc.* 2015; 90(10):1380–1392.
66. Smith-Bindman R., Lipson J., et al. Radiation dose associated with common CT examinations. *Arch Intern Med.* 2009; 169(22):2078–2086.
67. Huda W., Ogden K.M., et al. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2007; 188(2):540–546.
68. Tan H.M., et al. Differences in radiation dose for CT of the brain among pediatric patients at emergency departments. *BMC Emerg Med.* 2021; 21(1):111.
69. Pearce M.S., Salotti J.A., et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours. *Lancet.* 2012; 380(9840):499–505.

## **TURLI YOSH GURUHLARIDA OG'IR BOSH MIYA SHIKASTLANISHIDA KOMPYUTER TOMOGRAFIYA TEKSHIRUVIGA KO'RSATMALAR VA QARSHI KO'RSATMALAR (ADABIYOTLAR SHARHI)**

K.E. MAHKAMOV, M.K. MAHKAMOV, A.S. MAKSETBAYEV, A.B. SALAYEV, S.T. NASIMOV

Respublika shoshilinch tibbiy yordam ilmiy markazi, Toshkent, O'zbekiston

Ushbu sharhda bemorlarning yosh xususiyatlariga e'tibor qaratgan holda og'ir bosh miya jarohatida kompyuter tomografiyadan (KT) foydalanishning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqiladi. Bolalar, kattalar va keksa bemorlarda KT tekshiruviga ko'rsatmalar va qarshi ko'rsatmalar tahlil qilingan. Turli yosh guruhlaridagi diagnostika taktikasining o'ziga xos xususiyatlariga, jumladan, pediatriyada nurlanish yukini kamaytirish va keksa bemorlarda qo'shimcha kasalliklarni hisobga olishga alohida e'tibor berilgan.

**Kalit so'zlar:** og'ir bosh miya jarohati, kompyuter tomografiya, ko'rsatmalar, qarshi ko'rsatmalar, yosh xususiyatlari, diagnostika.

### **Сведения об авторах:**

Махкамов Козим Эргашевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела нейрохирургии и сочетанных травм Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.  
ORCID: 0009-0004-5962-0068

Махкамов Махкамжон Козимович – доктор медицинских наук, заведующий отделением сосудистой нейрохирургии Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.  
E-mail: makhkammakhkamov@gmail.com  
ORCID: 0009-0008-3515-9931

### **Authors Information:**

Makhkamov Kozim Ergashevich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Neurosurgery and Combined Injuries, Republican Research Center of Emergency Medicine.  
ORCID: 0009-0004-5962-0068

Makhkamov Makhkamjon Kozimovich – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Vascular Neurosurgery, Republican Research Center of Emergency Medicine.  
E-mail: makhkammakhkamov@gmail.com  
ORCID: 0009-0008-3515-9931

*Максетбаев Айбек Саламатович* – базовый докторант Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.

E-mail: aybekmak5553@gmail.com

ORCID: 0009-0004-6195-3259

*Салаев Анвар Батырбаевич* – кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник отдела нейрохирургии Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.

E-mail: hosiyaushka@gmail.com

*Насимов Собир Тохирович* – кандидат медицинских наук, заведующий отделением нейрохирургии детского возраста Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи.

E-mail: Sobirneyro@mail.ru

**Поступила в редакцию:** 06.01.2026

*Maksetbaev Aybek Salamatovich* – basic doctoral student, Republican Research Center of Emergency Medicine.

E-mail: aybekmak5553@gmail.com

ORCID: 0009-0004-6195-3259

*Salaev Anvar Batyrbaevich* – Candidate of Medical Sciences, Junior Researcher at the Department of Neurosurgery, Republican Research Center of Emergency Medicine.

E-mail: hosiyaushka@gmail.com

*Nasimov Sobir Takhirovich* – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Pediatric Neurosurgery, Republican Research Center of Emergency Medicine.

E-mail: Sobirneyro@mail.ru

**Received:** 06.01.2026