

УДК 617-7

DOI: 10.35693/2500-1388-2020-5-3-170-175

Комплексная нейровизуализация черепно-мозговой травмы: рентгенография и компьютерная томография

А.В. Яриков^{1,2,5}, А.Ю. Ермолаев^{2,4}, В.А. Леонов^{2,4}, А.А. Калинин^{3,2},
А.П. Фраерман⁴, А.И. Астахов², Ю.В. Руднев²

¹ФБУЗ «Приволжский окружной медицинский центр» ФМБА (Нижний Новгород, Россия)

²ГБУЗ НО «Городская клиническая больница №39» (Нижний Новгород, Россия)

³ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр» ФМБА (Москва, Россия)

⁴ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» (Нижний Новгород, Россия)

⁵ООО УЗ «Областной диагностический центр» (Владимир, Россия)

Аннотация

Ежегодно 1,5 млн человек погибает от черепно-мозговой травмы, из них 50 тыс. – в России. Современная диагностика черепно-мозговой травмы (ЧМТ) снижает смертность и повышает качество медицинской помощи. В статье рассматриваются современные инструментальные методы диагностики ЧМТ: рентгенография и КТ черепа, КТ-ангиография, КТ-цистернография (КТ-Ц), КТ-перфузия и селективная церебральная ангиография. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого из методов. Также описаны показания к каждому из вышеперечисленных методов.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, компьютерная томография, КТ-перфузия, рентгенография черепа, КТ-цистернография, КТ-ангиография.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Яриков А.В., Ермолаев А.Ю., Леонов В.А., Калинин А.А., Фраерман А.П., Астахов А.И., Руднев Ю.В. **Комплексная нейровизуализация черепно-мозговой травмы: рентгенография и компьютерная томография.** *Наука и инновации в медицине.* 2020;5(3):170-175
doi: 10.35693/2500-1388-2020-5-3-170-175

Сведения об авторах

Яриков А.В. – к.м.н., нейрохирург. ORCID: 0000-0002-4437-4480

Ермолаев А.Ю. – нейрохирург, онколог, аспирант. ORCID: 0000-0003-1481-5473

Леонов В.А. – нейрохирург. ORCID: 0000-0001-6228-4879

Калинин А.А. – к.м.н., нейрохирург. ORCID: 0000-0003-0720-4850

Фраерман А.П. – д.м.н., профессор, нейрохирург, ведущий научный сотрудник группы «Микронеурология». ORCID: 0000-0002-5476-7069

Астахов А.И. – рентгенолог. ORCID: 0000-0002-5586-5517

Руднев Ю.В. – заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии. ORCID: 0000-0001-7915-0623

Автор для переписки

Яриков Антон Викторович

Адрес: пр. Кирова, д. 20 кв. 27,

г. Нижний Новгород, Россия.

E-mail: anton-yarikov@mail.ru

Тел.: +7(950) 618 13 54.

ЧМТ – черепно-мозговая травма; ГМ – головной мозг; КТ – компьютерная томография; ВКК – вентрикуло-краниальный коэффициент; КТ-Ц – КТ-цистернография; ЦАГ – церебральная ангиография; ДАП – диффузное аксональное повреждение; УГМ – ушиб головного мозга.

Рукопись получена: 20.06.2020

Рецензия получена: 21.07.2020

Решение о публикации принято: 23.07.2020

Complex neuroimaging of traumatic brain injury: radiography and computed tomography

Anton V. Yarikov^{1,2,5}, Anton Yu. Ermolaev^{2,4}, Vasilii A. Leonov^{2,4}, Aleksandr A. Kalinkin^{3,2},
Aleksandr P. Fraerman⁴, Aleksei I. Astakhov², Yurii V. Rudnev²

¹Privolzhsky District Medical Center FMBA (Nizhny Novgorod, Russia)

²City Clinical Hospital No. 39 (Nizhny Novgorod, Russia)

³Federal Research and Clinical Center FMBA (Moscow, Russia)

⁴Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia)

⁵Regional Diagnostic Center (Vladimir, Russia)

Abstract

Every year, 1.5 million people die from traumatic brain injury, 50 thousand of them in Russia. A modern diagnostics of traumatic brain injury (TBI) reduces the mortality and improves the quality of medical care. The article discusses the advanced instrumental methods for diagnosing TBI: X-ray and CT of the skull, CT angiography, CT cisternography (CT-C), CT perfusion and selective cerebral angiography.

The advantages and disadvantages of each method are considered. The authors also described the indications for each of the above-mentioned methods.

Keywords: craniocerebral trauma, computed tomography, CT perfusion, skull X-ray, CT cisternography, CT angiography.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Yarikov AV, Ermolaev AY, Leonov VA, Kalinkin AA, Fraerman AP, Astakhov AI, Rudnev YV. **Complex neuroimaging of traumatic brain injury: radiography and computed tomography.** *Science & Innovations in Medicine.* 2020;5(3):170-175
doi: 10.35693/2500-1388-2020-5-3-170-175

Information about authors

Anton V. Yarikov – PhD, neurosurgeon. ORCID: 0000-0002-4437-4480

Anton Yu. Ermolaev – neurosurgeon, oncologist, post-graduate student. ORCID: 0000-0003-1481-5473

Vasilii A. Leonov – neurosurgeon. ORCID: 0000-0001-6228-4879

Aleksandr A. Kalinkin – PhD, neurosurgeon. ORCID: 0000-0003-0720-4850

Aleksandr P. Fraerman – PhD, Professor, neurosurgeon, leading researcher of the group "Microneurosurgery". ORCID: 0000-0002-5476-7069

Aleksei I. Astakhov – radiologist. ORCID: 0000-0002-5586-5517

Yurii V. Rudnev – the Head of the Department of maxillofacial surgery. ORCID: 0000-0001-7915-0623

Corresponding Author

Anton V. Yarikov

Address: apt.27, b.20, Kirov av.,

Nizhny Novgorod, Russia.

E-mail: anton-yarikov@mail.ru

Phone: +7(950) 618 13 54.

Received: 20.06.2020

Revision Received: 21.07.2020

Accepted: 23.07.2020

■ ВВЕДЕНИЕ

Черепно-мозговая травма (ЧМТ) представляется одним из наиболее частых видов травматизма и располагается на первом месте среди причин смертности и инвалидизации трудоспособных жителей развитых стран [1, 2, 3]. Ежегодно от ЧМТ в мире погибает 1,5 млн человек, а 2,4 млн становятся инвалидами [4]. В США ежегодно получают ЧМТ 1,6 млн человек: 51 тыс. из них погибает, а 124 тыс. становятся инвалидами [2, 4, 5]. Существенного снижения смертности и повышения качества оказываемой медицинской помощи лицам с тяжелой ЧМТ можно добиться путем выполнения своевременной диагностики повреждений головного мозга (ГМ) и выполнения экстренной операции до возникновения необратимых дислокационных изменений в стволе ГМ [6, 7, 8]. Под нейровизуализацией понимается комплекс диагностических методов, позволяющих визуализировать структуру, функциональное состояние и некоторые биохимические характеристики вещества ГМ [8, 9].

■ ЦЕЛЬ

Представить роль современных методов инструментальной диагностики (рентгенография, компьютерная томография и церебральная ангиография) черепно-мозговой травмы и описать их преимущества и недостатки.

■ РЕНТГЕНОГРАФИЯ

Рентгенография черепа – один из старейших и до сих пор наиболее доступных методов диагностики ЧМТ [10, 11]. Пострадавшим с подозрением на ЧМТ рентгенографию черепа выполняют в двух взаимоперпендикулярных проекциях (прямой и боковой). При необходимости используют дополнительные укладки (касательные, полуаксиальные, снимки орбит по Резе, височных костей по Шюллеру, Майеру, Стенверсу, Бабчину, придаточных пазух носа и др.) [12]. По данным

рентгенографии верифицируют переломы костей черепа, расхождение черепных швов, присутствие уровня жидкости в верхнечелюстных пазухах или пневмоцефалии [1, 13]. Следует помнить, что краниографию нельзя рассматривать как скрининговый метод диагностики ЧМТ. Чувствительность рентгенографии при верификации переломов костей черепа составляет 60%, а переломов костей лицевого скелета – 40% [14]. Кроме того, рентгенография не позволяет визуализировать вещество ГМ и оценить его повреждения [10, 15].

■ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Компьютерная томография (КТ) – метод получения снимков при помощи рентгеновского излучения, который основан на поперечном сканировании черепа и ГМ пучком рентгеновских лучей [1, 16, 17]. К преимуществам КТ-исследований для первичного обследования пациентов с ЧМТ относятся: доступность, возможность быстрого обследования, совместимость с медицинскими приборами жизнеобеспечения и визуализация вещества ГМ [15, 18, 19].

Стандартная толщина среза при КТ ГМ составляет 5 мм, шаг в зависимости от аппарата – 0,1–1 мм [10, 20]. При подозрении на переломы костей лицевого скелета (рисунки 1 и 2) проводят дополнительное сканирование толщиной среза 1–2 мм с последующей MPR и 3D-реконструкцией [1, 12, 15, 21].

При обнаружении очагов повреждения ГМ описывают их вид, топическое расположение, количество, рентгенологическую плотность (показатели коэффициента поглощения) в единицах Хаунсфилда (ед. Н) объем очагов и перифокального отека в см³, у оболочечных гематом измеряют наибольшую толщину в мм [1, 11, 22]. Оценивают локализацию срединных структур ГМ (прозрачной перегородки, III желудочка и эпифиза) и величину их поперечного смещения в мм [23]. Устанавливают состояние базальных цистерн ГМ,

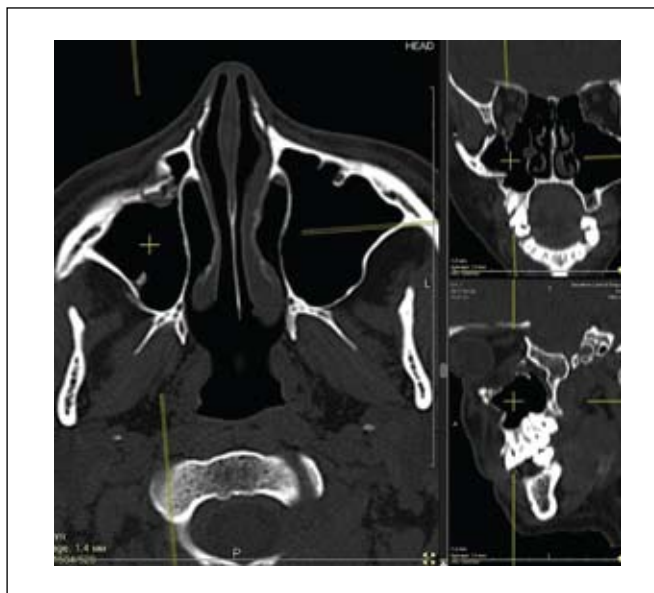


Рисунок 1. КТ костей лицевого скелета в MPR. Перелом верхнечелюстной пазухи справа.

Figure 1. CT of facial bones in MPR. Fracture of the maxillary sinus on the right.

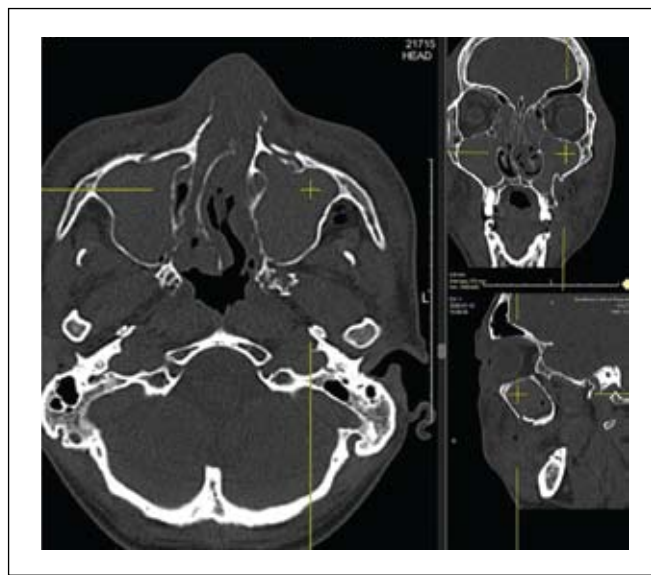


Рисунок 2. КТ костей лицевого скелета в MPR. Перелом верхнечелюстной пазухи с обеих сторон и двусторонний гемосинус.

Figure 2. CT of facial bones in MPR. Fracture of the maxillary sinus on both sides and bilateral hemossinus.

Виды повреждения ГМ	КТ-картина
Диффузное повреждение I	Норма
Диффузное повреждение II	Очаг повреждения невысокой или смешанной плотности более 25 см ³ (в том числе кости или инородные тела) Смещение 0–5 мм Цистерны основания ГМ прослеживаются
Диффузное повреждение III	Очаг повреждения невысокой или смешанной плотности более 25 см ³ Смещение 0–5 мм Цистерны основания ГМ поджаты или не прослеживаются
Диффузное повреждение IV	Очаг повреждения невысокой или смешанной плотности более 25 см ³ Смещение более 5 мм
Удаленные очаги	Любой хирургически удаленный очаг повреждения ГМ
Неудаленные очаги	Очаг повреждения высокой или смешанной плотности объемом более 25 см ³ , хирургически не удаленный

Таблица 1. КТ-классификация ушибов ГМ по L.F. Marshall, et al.
Table 1. CT-classification of MS injuries by L.F. Marshall, et al.

их видимость на всем протяжении, конфигурацию, отношение с прилежащими структурами ГМ [24]. Далее описывают состояние желудочковой системы с обязательным расчетом величины вентрикуло-краниальных коэффициентов (ВКК). ВКК оценивается для установления степени гидроцефалии или сужения желудочков ГМ при его отеке, оценивают эти результаты в динамике. Расчет ВКК производят по общепринятой методике, сопоставляя полученные результаты с возрастными пределами [25, 26, 27].

Для оценки ушибов ГМ и ДАП широко используют КТ-классификацию L.F. Marshall et al. (1992 г.), которая учитывает объем очага ушиба и необходимость хирургического вмешательства (**таблица 1**) [25]. Диффузные повреждения ГМ описаны исходя из их плотности по данным КТ, по состоянию базальных цистерн и величине латеральной дислокации. Эта классификация дает возможность расценивать степень выраженности дислокационного синдрома, а также предсказать результаты лечения у лиц с УГМ и ДАП [1, 4, 28].

A.I. Maas et al. (2005 г.) на основании данных КТ предложили простую в использовании шкалу оценки травматических поражений ГМ, получившую название Rotterdam computed tomography score [28, 29]. Оценку по шкале Rotterdam выполняют, суммируя баллы в каждой из четырех категорий, а затем в конце прибавляют 1 балл. Оценивают следующие категории КТ-признаков (**таблица 2**).

Авторы провели статистическую оценку прогностической точности классификации L.F. Marshall et al. и шкалы Rotterdam. Оказалось, что шкала Rotterdam представляется более точной для оценки прогнозирования исходов при ЧМТ, что достигается путем дополнительного учета у лиц субарахноидального, или внутрижелудочкового, кровоизлияния и более детального описания состояния базальных цистерн. По данным клиницистов, при сумме баллов 0 по шкале Rotterdam летальность насчитывает 0%, при максимальной сумме (6) – 61% [1].

Очаг ушиба по КТ выглядит как очаг повышенной денситометрической плотности (размозженные участки ГМ с кровоизлияниями), окруженный зоной

КТ-признаки	Баллы
Базальные цистерны	0 – норма 1 – поджаты 2 – не визуализируются
Дислокация срединных структур	0 – 0–5 мм 1 – более 5 мм
Эпидуральная гематома	0 – не визуализируется 1 – выявляется
Внутрижелудочковое, или субарахноидальное, кровоизлияние	0 – не визуализируется 1 – выявляется

Таблица 2. КТ-классификация по шкале Rotterdam (2005 г.)
Table 2. Rotterdam computed tomography score, 2005

перифокального отека пониженной плотности, которая развивается уже в первый час ЧМТ [23, 30].

Объем очага УГМ рассчитывается на основании модифицированного эллипсоидного объема [24]: объем очага = $A + B + C / 2$, где А, В и С – три ортогональные величины гематомы в см.

Установлено, что при КТ лишь у 10% лиц с ДАП в остром периоде обнаруживается классическая картина, характеризующаяся точечными геморрагиями в области мозолистого тела, на границе белого и серого вещества полушарий ГМ, а также в области ствола и среднего мозга. КТ имеет низкую чувствительность в остром периоде при микроструктурных повреждениях белого вещества, подкорковых структур, ствола ГМ, которые не сопровождаются микрокровоизлияниями [19]. Из-за распада гемоглобина и уменьшения степени поглощения рентгеновских лучей на уровне кровоизлияния на КТ хуже визуализируются подострые и хронические гематомы, а также артефакты от костей черепа – структуры задней черепной ямки и ствола ГМ [4]. Ликворея по КТ верифицируется, если место перелома костей основания черепа совпадает с пазухой, имеющей содержимое, по плотности соответствующее ликвору [31].

Высокое разрешение КТ позволяет верифицировать любые черепно-лицевые повреждения (толщина среза до 2 мм). КТ дает возможность определить положение и величину смещения фрагментов, визуализировать как кости, так и мышцы челюстно-лицевой области, глазодвигательный аппарат (мышцы и глазное яблоко), околоносовые синусы, полость носа, количественно определить наличие, размер и топографию гематом, эмфизему (пневматизацию) тканей, костных полостей и фрагментов; наличие, параметры и топографию инородных тел [20, 32, 33].

КТ-цистернография (КТ-Ц). При базальной ликворее применяются нейровизуализация ликворопроводящих путей с эндолюмбальной инъекцией водорастворимых контрастных препаратов [12]. КТ-Ц дает возможность точно локализовать ликворную фистулу, выявить затекание контрастного препарата в придаточные пазухи носа и на основание черепа (**рисунки 3, 4 и 5**) [13, 34].

КТ-Ц имеет до 96,7% вероятности выявляемости локализации ликворной фистулы при активной и 40% при неактивной ликворее. В остром периоде ЧМТ использование КТ-Ц имеет чувствительность до 56% в связи со сложностью дифференцировки между контрастным препаратом и геморрагическим субстратом в цистернах и в области передней черепной ямки [12, 31].

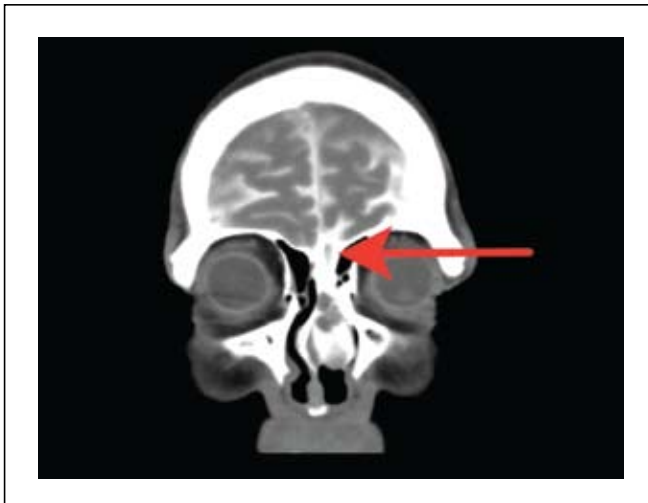


Рисунок 3. КТ-Ц с активной назальной ликвореей. Определяется распространение контрастного препарата из полости черепа в носовую полость через дефект основания черепа, в области продырявленной пластинки решетчатой кости слева дефект решетчатой кости обозначен стрелкой.
Figure 3. CT-C with active nasal liquorrhea. The distribution of the contrast agent is registered from the cranial cavity into the nasal cavity through a defect in the skull base in the area of perforated plate of the ethmoid bone, an arrow indicates the defect of ethmoid bone on the left.

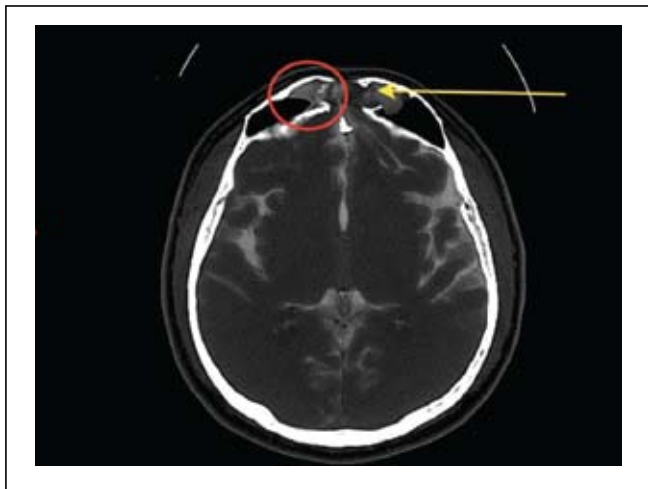


Рисунок 4. КТ-Ц с активной назальной ликвореей. Определяется дефект задней стенки лобной пазухи с пролабированием лобных долей (больше левой) в полость лобной пазухи – менингоэнцефалоцеле. В правой лобной пазухе визуализируется контрастный препарат, мигрирующий в полость носа. Желтая стрелка – менингоэнцефалоцеле; красный круг – контрастный препарат в правой лобной пазухе.
Figure 4. CT-C with active nasal liquorrhea. A defect of the posterior wall of the frontal sinus is registered with the prolapse of the frontal lobes (larger on the left) into the cavity of the frontal sinus – meningoencephalocele. A contrast agent migrating to the nasal cavity is visualized in the right frontal sinus. Yellow arrow – meningoencephalocele; red circle – a contrast agent in the right frontal sinus.

КТ-ангиографию выполняют путем введения йодсодержащего рентгеноконтрастного вещества, с дальнейшим сканированием толщиной срезов 1–3 мм. После производят построение 2D- и 3D-моделей для оценки структуры, просвета и хода артерий, их взаимоотношений с близлежащими костными образованиями и веществом ГМ [21, 35]. КТ-ангиография в диагностике ЧМТ применяется при проникающих ранениях черепа и ГМ, при присутствии инородных тел в полости черепа, для

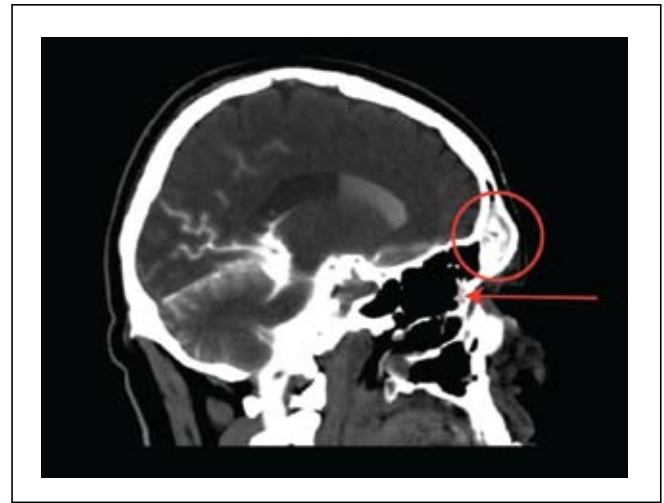


Рисунок 5. КТ-Ц с назальной ликвореей; красный круг – контрастный препарат в правой лобной пазухе; красная стрелка – контрастный препарат в полости носа.
Figure 5. CT-C with nasal liquorrhea; red circle – a contrast agent in the right frontal sinus; red arrow – a contrast agent in the nasal cavity.

изучения взаимоотношений между магистральными артериями ГМ и инородным предметом, а также исключения травматизации стенки артерии [9].

Перфузионная КТ – КТ с внутривенным болюсным контрастным усилением, которое дает возможность функционально и количественно оценивать кровоток ГМ и перфузию тканей в разных его отделах, что представляется недоступным при нативной КТ [35, 36, 37]. При КТ-перфузии анализируют изменение плотности при контрастировании выбранного участка ГМ в артериальную, венозную и капиллярную фазы и при помощи математического анализа рассчитывают главные гемодинамические параметры для выделенного участка: объемную скорость церебрального кровотока (СВФ, мл/100 г/мин), мозговой объем крови (СВВ, мл/100 г), среднее время транзита крови через этот участок ГМ (МТТ, с) на момент исследования и время до достижения максимальной (пиковой) концентрации контрастного препарата (ТТР, с) [38]. Эти показатели меняются уже с первых минут формирования ишемических изменений и связаны соотношением: $СВВ = СВФ \times МТТ$ [9]. У лиц с ЧМТ КТ-перфузию применяют в оценке динамики формирования очагов ушиба, вторичных ишемических повреждений ГМ и в выявлении ДАП [39]. При ДАП фиксируется диффузное уменьшение СВФ и СВВ преимущественно в глубинных структурах ГМ и перивентрикулярной зоне, характерных для глубокой ишемии и нарушения коллатерального тока крови [8, 32].

Из-за внедрения в нейрохирургическую практику КТ и МРТ **церебральная ангиография (ЦАГ)** в диагностике ЧМТ потеряла свое значение [22]. В настоящий момент показаниями к ЦАГ у лиц с ЧМТ являются клинические признаки повреждения экстра- и интракраниальных артерий, синусов, присутствие инородного тела (пуля, холодное оружие, осколки и др.) в полости черепа, располагающегося в непосредственной близости от магистральных сосудов или синусов, а также подозрение на формирование посттравматического каротидно-кавернозного соустья [9, 13, 15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время «золотым стандартом» обследования лиц с острой ЧМТ представляется нативная КТ ГМ, которую применяют в качестве скринингового метода диагностики при любой ЧМТ. При подозрении на травму лицевого скелета КТ-исследование нужно дополнять сканированием ниже орбитомеатальной линии с шагом томографа 1–3 мм. КТ позволяет оценить тяжесть ЧМТ, определить прогноз и тактику лечения в остром периоде. При подозрении на травму интракраниальных сосудов или синусов твердой мозговой оболочки или при верификации по КТ инородного тела, в непосредственной близости прилежащего к магистральным интракраниальным сосудам, исследование дополняют КТ-ангиографией или ЦАГ.

КТ-Ц выполняется лицам с посттравматической базальной ликвореей, и она предоставляет информацию для выбора адекватного и максимально щадящего хирургического подхода и закрытия фистулы.

Перфузионная КТ в остром периоде ЧМТ теряет свою значимость из-за невысокой клинической ценности и относительно высоких временных и ресурсных затрат. В настоящее время КТ-перфузия применяется в отдаленном периоде ЧМТ с целью оценки прогноза восстановления пострадавшего. ■

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Puras YuV, Grigoreva EV. Neuroimaging methods in the diagnosis of traumatic brain injury. Part 1. Computer and magnetic resonance imaging. *Nejrohirurgiya*. 2014;2:7–16. (In Russ.). [Пурас Ю.В., Григорьева Е.В. Методы нейровизуализации в диагностике черепно-мозговой травмы. Часть 1. Компьютерная и магнитно-резонансная томография. *Нейрохирургия*. 2014;2:7–16].
- Fraerman AP. Traumatic compression of the brain: current aspects of the problem, treatment tactics. *Sovremennye tekhnologii v medicine*. 2011;4:146–150. (In Russ.). [Фраерман А.П. Травматическое сдавление головного мозга: современные аспекты проблемы, тактика лечения. *Современные технологии в медицине*. 2011;4:146–150].
- Tihomirov SE, Cibusov SN, Kravec LYa, et al. Plastic defects of the cranial vault and dura mater with a new polymer material. *Sovremennye tekhnologii v medicine*. 2010;2:6–11. (In Russ.). [Тихомиров С.Е., Цыбусов С.Н., Кравец Л.Я. и др. Пластика дефектов свода черепа и твердой мозговой оболочки новым полимерным материалом РЕПЕРЕН. *Современные технологии в медицине*. 2010;2:6–11].
- Potapov AA, Lihterman LB, Kravchuk AD, et al. Modern approaches to the study and treatment of traumatic brain injury. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2010;4(1):4–12. (In Russ.). [Потапов А.А., Лихтерман Л.Б., Кравчук А.Д. и др. Современные подходы к изучению и лечению черепно-мозговой травмы. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2010;4(1):4–12].
- Muhina TS, Sharova EV, Boldyreva GN, et al. Features of the neuroanatomy of active arm movement in patients with severe traumatic brain injury (analysis of functional magnetic resonance imaging data). *Nevrologiya, nejropsihiatriya, psichosomatika*. 2017;9(1):27–33. (In Russ.). [Мухина Т.С., Шарова Е.В., Болдырева Г.Н. и др. Особенности нейроанатомии активного движения руки у пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой (анализ данных функциональной магнитно-резонансной томографии). *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2017;9(1):27–33].
- Talypov AE, Myatchin MYu, Kuksova NS, et al. Drug neuroprotection in the acute period of traumatic brain injury of moderate severity. *Medicinskij sovet*. 2015;10:82–92. (In Russ.). [Талыпов А.Э., Мятчин М.Ю., Куксова Н.С. и др. Медикаментозная нейропротекция в остром периоде черепно-мозговой травмы средней степени тяжести. *Медицинский совет*. 2015;10:82–92].
- Grin AA, Krylov VV. Surgery of traumatic intracranial shell hematomas of small volume (up to 50 cm³) of supratentorial localization. *Nejrohirurgiya*. 2002;1:31–38. (In Russ.). [Грин А.А., Крылов В.В. Хирургия травматических внутричерепных оболочечных гематом малого объема (до 50 см³) супратенториальной локализации. *Нейрохирургия*. 2002;1:31–38].
- Krylov VV, Petrikov SS, Talypov AE, et al. Modern principles of surgery for severe traumatic brain injury. *Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch*. 2013;4:39–47. (In Russ.). [Крылов В.В., Петриков С.С., Талыпов А.Э. и др. Современные принципы хирургии тяжелой черепно-мозговой травмы. *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2013;4:39–47].
- Puras YuV, Grigoreva EV. Neuroimaging methods in the diagnosis of traumatic brain injury. Part 2. Computer and magnetic resonance imaging (special techniques). *Nejrohirurgiya*. 2014;3:6–13. (In Russ.). [Пурас Ю.В., Григорьева Е.В. Методы нейровизуализации в диагностике черепно-мозговой травмы. Часть 2. Компьютерная и магнитно-резонансная томография (специальные методики). Радионуклидные методы нейровизуализации. *Нейрохирургия*. 2014;3:6–13].
- Dorovskih GN, Anikeev NV, Moguchaya OV. Clinical and radiological diagnosis of craniocerebral injuries in polytrauma. *Vestnik hirurgii im. I.I. Grekova*. 2012;171(2):41–44. (In Russ.). [Доровских Г.Н., Аникеев Н.В., Могучая О.В. Клинико-лучевая диагностика черепно-мозговых повреждений при политравме. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2012;171(2):41–44].
- Shaginyan GG, Dreval ON, Gyulzatyan AA, et al. Emergency medical care for victims of severe traumatic brain injury in a multidisciplinary hospital. *Medicinskij alfavit*. 2014;4(23):40–47. (In Russ.). [Шагинян Г.Г., Древал О.Н., Гользатян А.А. и др. Неотложная медицинская помощь пострадавшим с тяжелой черепно-мозговой травмой в условиях многопрофильной больницы. *Медицинский алфавит*. 2014;4(23):40–47].
- Shaginyan GG, Makarevich DA, Nikitina OO. The problem of basal liquorrhea in patients with severe craniofacial trauma (historical aspects). *Nejrohirurgiya i nevrologiya Kazakhstana*. 2010;4(24):11–19. (In Russ.). [Шагинян Г.Г., Макаревич Д.А., Никитина О.О. Проблема базальной ликвореи у больных с тяжелой краниофациальной травмой (исторические аспекты). *Нейрохирургия и неврология Казахстана*. 2010;4(24):11–19].
- Shaginyan GG, Dreval ON. Principles for the diagnosis and treatment of patients with severe traumatic brain injury in a multidisciplinary hospital (Part I). *Lechenie zabollevanij nervnoj sistemy*. 2009;2(2):3–8. (In Russ.). [Шагинян Г.Г., Древал О.Н. Принципы диагностики и лечения больных с тяжелой черепно-мозговой травмой в многопрофильной больнице (Часть I). *Лечение заболеваний нервной системы*. 2009;2(2):3–8].
- Dorovskih GN. Comparative analysis of the sensitivity and specificity of various methods of radiation diagnosis in polytrauma. *Byulleten Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskih nauk*. 2014;4(98):24–28. (In Russ.). [Доровских Г.Н. Сравнительный анализ чувствительности и специфичности различных методов лучевой диагностики при политравме. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2014;4(98):24–28].
- Potapov AA, Krylov VV, Gavrilov AG, et al. Recommendations for the diagnosis and treatment of severe traumatic brain injury (Part I). Organization of medical care and diagnostics. *Voprosy nejrohirurgii im. N.N. Burdenko*. 2015;79(6):100–106. (In Russ.). [Потапов А.А., Крылов В.В., Гаврилов А.Г. и др. Рекомендации по диагностике и лечению тяжелой черепно-мозговой травмы (Часть I). Организация медицинской помощи и диагностика. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2015;79(6):100–106].
- Talypov AE, Petrikov SS, Puras YuV, et al. Modern methods of treating brain injuries. *Nevrologiya, nejropsihiatriya, psichosomatika*. 2011;1:8–15. (In Russ.). [Талыпов А.Э., Петриков С.С., Пурас Ю.В. и др. Современные методы лечения ушибов головного

- мозга. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2011;1:8–15].
17. Kravec LYa, Smirnov PV, Lavrenyuk AN. Dynamics of focal traumatic parenchymal brain injuries in the acute period of mild traumatic brain injury. *Nejrohirurgiya*. 2016;2:16–23. (In Russ.). [Кравец Л.Я., Смирнов П.В., Лавренюк А.Н. Динамика очаговых травматических parenхиматозных повреждений головного мозга в остром периоде легкой черепно-мозговой травмы. *Нейрохирургия*. 2016;2:16–23].
 18. Dadabaev V, Alekseev R. Computed tomography for the diagnosis of traumatic brain injury in urgent neurosurgery. *Vrach*. 2018;29(10):53–57. (In Russ.). [Дадабаев В., Алексеев Р. Компьютерная томография при диагностике черепно-мозговой травмы в urgentной нейрохирургии. *Врач*. 2018;29(10):53–57]. doi.org/10.29296/25877305-2018-10-13
 19. Kornienko VN, Pronin IN, Arutyunov NV, et al. Neuroradiology at the beginning of the XXI century. Achievements and development prospects. *Luchevaya diagnostika i terapiya*. 2012;3(3):8–19. (In Russ.). [Корниенко В.Н., Пронин И.Н., Арутюнов Н.В. и др. Нейрорадиология в начале XXI века. Достижения и перспективы развития. *Лучевая диагностика и терапия*. 2012;3(3):8–19].
 20. Shalunov AZ, Levchenko OV, Sharifullin FA, et al. X-ray computed tomography of maxillofacial lesions combined with traumatic brain injury. *Nejrohirurgiya*. 2009;4:42–49. (In Russ.). [Шалунов А.З., Левченко О.В., Шарифуллин Ф.А. и др. Рентгеновская компьютерная томография челюстно-лицевых повреждений, сочетанных с черепно-мозговой травмой. *Нейрохирургия*. 2009;4:42–49].
 21. Krylov VV, Grigoreva EV. Computed tomography and magnetic resonance imaging in the diagnosis of cerebral aneurysms. *Nejrohirurgiya*. 2012;3:9–17. (In Russ.). [Крылов В.В., Григорьева Е.В. Компьютерная томография и магнитно-резонансная томография в диагностике аневризм головного мозга. *Нейрохирургия*. 2012;3:9–17].
 22. Kravec LYa, Smirnov PV, Kukarin AB. The choice of treatment for brain injuries. *Nejrohirurgiya*. 2017;1:8–14. (In Russ.). [Кравец Л.Я., Смирнов П.В., Кукарин А.Б. Выбор метода лечения при ушибах головного мозга. *Нейрохирургия*. 2017;1:8–14].
 23. Lavrenyuk AN, Kravec LYa, Smirnov PV, Nikitin DN. To the concept of "traumatic parenchymal brain damage". *Voprosy travmatologii i ortopedii*. 2011;1:26–30. (In Russ.). [Лавренюк А.Н., Кравец Л.Я., Смирнов П.В., Никитин Д.Н. К понятию «травматические parenхиматозные повреждения головного мозга». *Вопросы травматологии и ортопедии*. 2011;1:26–30].
 24. Dreval ON, Lazarev VA, Dzhindzhihadze RS, Danchenko IA. Neuroimaging diagnosis of intracranial hypertension (neurosurgical aspects). *Medicinskaya vizualizatsiya*. 2010;4:40–51. (In Russ.). [Древал О.Н., Лазарев В.А., Джинджихадзе Р.С., Данченко И.А. Нейровизуализационная диагностика внутричерепной гипертензии (нейрохирургические аспекты). *Медицинская визуализация*. 2010;4:40–51].
 25. Pronin IN, Fadeeva LM, Zaharova NE, et al. Diffusion tensor magnetic resonance imaging and tractography. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2008;2(1):32–40. (In Russ.). [Пронин И.Н., Фадеева Л.М., Захарова Н.Е. и др. Диффузионная тензорная магнитно-резонансная томография и трактография. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2008;2(1):32–40].
 26. Lebedev VV, Krylov VV. Emergency neurosurgery. М.: Medicina. 2000. (In Russ.). [Лебедев В.В., Крылов В.В. Неотложная нейрохирургия. М.: Медицина. 2000].
 27. Adams JH, Graham DI, Murray LS, Scott G. Diffuse axonal injury due to nonmissile head injury in humans: an analysis of 45 cases. *Ann Neurol*. 1982;12(6):557–563. doi.org/10.1002/ana.410120610
 28. Smirnov PV, Kravec LYa, Yakimov VN. Early computed tomography for bruises of the brain. *Nejrohirurgiya*. 2017;2:21–28. (In Russ.). [Смирнов П.В., Кравец Л.Я., Якимов В.Н. Ранняя компьютерная томография при ушибах головного мозга. *Нейрохирургия*. 2017;2:21–28].
 29. Maas AI, Hukkelhoven CW, Marshall LF, et al. Prediction of outcome in traumatic brain injury with computed tomographic characteristics: a comparison between the computed tomographic classification and combinations of computed tomographic predictors. *Neurosurgery*. 2005;57(6):1173–1182. doi.org/10.1227/01.NEU.0000186013.63046.6B
 30. Semenov AV, Krylov VV, Sorokovikov VA. On the risk factors for the formation of surgically significant delayed traumatic intracranial hematomas with combined trauma. *Politравма*. 2019;2:40–47. (In Russ.). [Семенов А.В., Крылов В.В., Сороковиков В.А. О факторах риска образования хирургически значимых отсроченных травматических внутричерепных гематом при сочетанной травме. *Политравма*. 2019;2:40–47].
 31. Godkov IM, Levchenko OV. Post-traumatic basal liquorrhea (Part 1). Diagnosis. *Nejrohirurgiya*. 2012;1:62. (In Russ.). [Годков И.М., Левченко О.В. Посттравматическая базальная ликворея (Часть 1). Диагностика. *Нейрохирургия*. 2012;1:62].
 32. Sharifullin FA, Shalunov AZ, Krylov VV, et al. X-ray computed tomography of maxillofacial lesions combined with traumatic brain injury. *Medicinskaya vizualizatsiya*. 2010;6:60–68. (In Russ.). [Шарифуллин Ф.А., Шалунов А.З., Крылов В.В. и др. Рентгеновская компьютерная томография челюстно-лицевых повреждений, сочетанных с черепно-мозговой травмой. *Медицинская визуализация*. 2010;6:60–68].
 33. Semenov AV, Monakov NV, Balhanova EI, et al. Multislice computed tomography in the diagnosis of combined traumatic brain injury. *Vestnik rentgenologii i radiologii*. 2018;99(3):119–124. (In Russ.). [Семенов А.В., Монаков Н.В., Балханова Е.И. и др. Многосрезовая компьютерная томография в диагностике сочетанной черепно-мозговой травмы. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018;99(3):119–124].
 34. Godkov IM, Levchenko OV, Turovskij AB, et al. Blind penetrating cranioorbital wound with a sword. *Nejrohirurgiya*. 2011;4:62–68. (In Russ.). [Годков И.М., Левченко О.В., Туровский А.Б. и др. Слепое проникающее краниоорбитальное ранение шпагой. *Нейрохирургия*. 2011;4:62–68].
 35. Krotchenkova MV, Bryuhov VV, Morozova SN, et al. Modern technologies of neuroimaging (lecture). *Radiologiya – praktika*. 2017;2(62):47–63. (In Russ.). [Кротченкова М.В., Брюхов В.В., Морозова С.Н. и др. Современные технологии нейровизуализации (лекция). *Радиология – практика*. 2017;2(62):47–63].
 36. Boldyreva GN, Sharova EV, Zhavoronkova LA, et al. Comparison of fMRI reactions of the brain of healthy people with active, passive and imaginary hand movements. *Medicinskaya vizualizatsiya*. 2015;5:100–112. (In Russ.). [Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Жаворонкова Л.А. и др. Сопоставление фМРТ-реакций мозга здоровых людей при активных, пассивных и воображаемых движениях рукой. *Медицинская визуализация*. 2015;5:100–112].
 37. Ublinskij MV, Manzhurcev AV, Menshchikov PE, et al. Multimodal studies of the human brain using functional magnetic resonance imaging and magnetic resonance spectroscopy. *Annaly klinicheskoy i eksperimental'noj nevrologii*. 2018;12(1):54–60. (In Russ.). [Ублинский М.В., Манжурцев А.В., Меньшиков П.Е. и др. Мультимодальные исследования головного мозга человека с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии и магнитно-резонансной спектроскопии. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2018;12(1):54–60].
 38. Kamada K. Sequential observations of brain edema with proton magnetic resonance imaging and spectroscopy. *Hokkaido Igaku Zasshi*. 1996;71(1):105–22.
 39. Tokarev AS, Stepanov VN, Shatohina YuI, et al. The use of functional magnetic resonance imaging of the brain in neurosurgery. *Nejrohirurgiya*. 2017;2:3–10. (In Russ.). [Токарев А.С., Степанов В.Н., Шатохина Ю.И. и др. Применение функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга в нейрохирургии. *Нейрохирургия*. 2017;2:3–10].