

DOI: 10.24835/1607-0763-2017-1-5-12

Качественная и количественная оценка проводящих путей с помощью диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии у детей с церебральным инсультом

Туляганова Н.М.*

Ташкентский институт усовершенствования врачей, Ташкент, Узбекистан

Qualitative and Quantitative Evaluation of Pathways by Diffusion Tensor Imaging in Children with Cerebral Stroke

Tulyaganova N.M.*

Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education, Tashkent, Uzbekistan

Цель исследования: анализ количественных и качественных изменений при МР-трактографии в диагностике структурных повреждений головного мозга у детей с инсультом.

Материал и методы. Обследовано 55 детей с острым нарушением мозгового кровообращения в различных периодах в возрасте от рождения до 6 лет (средний возраст $5,99 \pm 1,67$ мес; Me = 2,0 мес). Всем пациентам проводили МР+трактографическое исследование с измерением фракциональной анизотропии (ФА) и измеряемого коэффициента диффузии (ИКД).

Результаты. При проведении оценки ФА в пораженной и здоровой стороне головного мозга выявлено статистически значимое ($p < 0,001$) снижение показателей ФА и повышение ИКД по ходу кортикоспинальных трактов на всех уровнях его прохождения. В зоне кистозной дегенерации значения ФА были значительно низкими ($0,05 \pm 0,02$), чем в зоне глиоза ($0,15 \pm 0,03$). ИКД в зоне кистозной дегенерации находился в пределах $2,91 \pm 0,44 \cdot 10^{-3}$ мм²/с, а в зоне глиоза – $1,49 \pm 0,27 \cdot 10^{-3}$ мм²/с. При сравнении значений ИКД в зави-

симости от моторного дефицита были выявлены статистически значимые различия между пациентами с монопарезом, гемипарезом и тетрапарезом ($p < 0,029$).

Заключение. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография позволяет не только оценивать имеющиеся количественные и качественные изменения проводящих путей головного мозга в различных периодах инсульта у детей, но и прогнозировать нарастание моторного дефицита (при этом наиболее чувствительным является показатель ФА, достоверно коррелирующий с функциональными исходами ($p < 0,05$) у детей с инсультами).

Ключевые слова: дети, инсульт, магнитно-резонансная томография, трактография.

Ссылка для цитирования: Туляганова Н.М. Качественная и количественная оценка проводящих путей с помощью диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии у детей с церебральным инсультом. *Медицинская визуализация.* 2017; 21 (1): 5–12. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-1-5-12.

Для корреспонденции*: Туляганова Нодирахон Маликовна – 10007, Узбекистан, Ташкент, ул. Паркентская, 51. Тел.: +99890-347-58-67 (моб.). E-mail: dr.nodirahon@mail.ru

Туляганова Нодирахон Маликовна – ассистент кафедры неврологии детского возраста Ташкентского института усовершенствования врачей, Ташкент.

Contact*: Nodirahon M. Tulyaganova – 10007, Republic of Uzbekistan, Tashkent, 51, Parkentskaya str. Phone: +99890-347-58-67 (mob.). E-mail: dr.nodirahon@mail.ru

Nodirahon M. Tulyaganova – assistant of the Pediatric Neurology Department of Tashkent Institute of Postgraduate Medical Education, Tashkent.



Objective: to analysis of quantitative and qualitative changes in MR tractography in the diagnosis of structural brain damage in children with stroke.

Materials and methods. We examined 55 children with stroke in different periods between the ages of birth to 6 years (mean age 5.99 ± 1.67 months; Me = 2.0 months.). All patients underwent DTI evaluation by measuring the fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC).

Results. During the assessment of the FA in the affected and healthy side of the brain we have revealed a statistically significant ($p < 0.001$) decrease of indicators of FA and increase of MCD along the corticospinal tracts and at all levels of its passage. In the area of cystic degeneration the value of FA was significantly lower (0.05 ± 0.02) than in the area of gliosis (0.15 ± 0.03). In the area of cystic degeneration ADC was within $2.91 \pm 0.44 \cdot 10^{-3}$ mm²/s, and in the area of gliosis – $1.49 \pm 0.27 \cdot 10^{-3}$ mm²/s. Comparison of ADC values depending on the motor deficits showed statistically significant differences between patients with monoparesis, hemiparesis and tetraparesis ($p < 0.029$).

Conclusion. Diffusion-tensor magnetic resonance imaging possible for not only to evaluate the available quantitative and qualitative changes brain pathways in different periods of stroke in children, but also it can predict the growth of motor deficits (in this case fractional anisotropy more sensitive indicator which significantly correlated with functional outcome ($p < 0.05$) in children with stroke).

Key words: children, stroke, magnetic resonance imaging, tractography.

Recommended citation: Tulyaganova N.M. Qualitative and Quantitative Evaluation of Pathways by Diffusion Tensor Imaging in Children with Cerebral Stroke. *Medical visualization*. 2017; 21 (1): 5–12.

DOI: 10.24835/1607-0763-2017-1-5-12.

Введение

Острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) являются одной из малоизученных проблем детской неврологии, актуальность которой определяется высокой степенью инвалидизации и смертности. По данным зарубежных авторов, инсульт у детей встречается в среднем от 2 до 8 случаев на 100 000 детей в возрасте до 14 лет, и в большинстве случаев в основе заболевания лежат болезни сердца, протромботические нарушения, серповидно-клеточная анемия и сосудистые аномалии развития. До настоящего времени конкретные диагностические и лечебные мероприятия инсульта у детей находятся в этапе разработки многомасштабных исследований [1–3].

В диагностике инсультов наряду с клинико-неврологическими данными применяют лучевые методы исследования, которым в распознавании инсультов отводится ведущая роль. Они являются самыми информативными, позволяющими поставить диагноз и выбрать адекватную тактику ведения больного.

Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография (ДТ-МРТ) головного мозга – диагностический метод, позволяющий визуализировать ориентацию и целостность проводящих путей головного мозга *in vivo* [4–6]. Внедрение ДТ-МРТ открыло новые возможности в количественной и качественной оценке повреждений проводящих путей головного мозга, получении их трехмерных изображений как в норме, так и при различной патологии мозга. Метод ДТ-МРТ оценивает диффузионные характеристики исследуемой среды, а также направленность диффузии воды (анизотропии) и, таким образом, дает информацию о степени интегрированности трактов белого вещества. Диффузионная анизотропия неоднородна в разных областях белого вещества и отражает различие в миелинизации волокон, диаметре и их направленности. Патологические процессы, изменяющие микроструктуру белого вещества, такие как дезорганизация и разобщение волокон или их разрыв, сочетающиеся с повреждением миелина, ретракцией нейронов, увеличением или уменьшением внеклеточного пространства, оказывают существенное влияние на показатели диффузии и анизотропии [5, 7].

Появление новой методики на основе магнитного резонанса – диффузионной тензорной визуализации – подтолкнуло отечественных и зарубежных исследователей к активному изучению ее возможностей в оценке микроструктурных свойств белого вещества головного мозга. Однако опыт применения диффузионной тензорной визуализации в диагностике инсульта у детей в отечественной литературе отсутствует. Вместе с тем авторы сходятся во мнении, что эта методика способна дополнить объем и качество получаемой диагностической информации [6, 8].

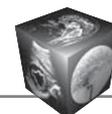
В отечественной литературе отсутствуют сведения по изучению изменений показателей фракционной анизотропии (ФА) и измеряемого коэффициента диффузии (ИКД) различных структур головного мозга при инсульте у детей в патологии и в норме, которые можно определять, проводя диффузионную тензорную визуализацию.

Цель исследования

Анализ количественных и качественных изменений при МР-трактографии в диагностике структурных повреждений головного мозга у детей с инсультом.

Материал и методы

Обследовано 55 детей с ОНМК в различных периодах, обратившихся в Городскую клиническую детскую больницу №1 (ГКДБ) г. Ташкента (Узбе-



кистан). Возрастной интервал пациентов в момент инсульта варьировал в пределах от рождения до 6 лет (средний возраст $5,99 \pm 1,67$ мес; Me = 2,0 мес). Количество детей от рождения до 1 мес составило 38,1% (28 детей), от 1 мес до 1 года – 52,7% (29 детей), старше 1 года – 9,1% (5 детей).

Верификацию диагноза проводили на основании данных анамнеза, неврологического осмотра, МРТ+трактографии головного мозга. МР+трактографические исследования проводили на томографе GE Signa Excute II с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл (General Electric Healthcare, Milwaukee, США). Обработка данных проводилась на автоматической станции Dell Precision Workstation 690 с программным обеспечением для построения трактографии. При обработке данных ДТ-МРТ производили количественную и качественную оценку изменения диффузии ФА и ИКД. Показатели ФА измерялись в пораженном полушарии большого мозга и в аналогичной зоне в противоположном (условно здоровом) полушарии, что расценивали как норму. При отсутствии визуализации тракта на цветовой карте или неполной (частичной) его визуализации при МР-трактографии и значительно сниженной ФА состояние расценивалось как разрушение тракта.

Критерии включения в исследование: дети обоего пола в возрасте от рождения до 6 лет с установленным диагнозом инсульта различного типа, находящиеся на стационарном лечении, а также поступившие в амбулаторном порядке, пациенты/опекуны, давшие письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Критериями исключения из исследования являлись: возраст больных старше 6 лет; структурные повреждения головного мозга (не сосудистого генеза), отсутствие информированного письменного согласия пациента/опекуна на участие в клиническом исследовании; соматически ослабленные пациенты на момент исследования.

Статистический анализ проводили с использованием программы SPSS 19 (IBM, США). Описательная статистика непрерывных количественных данных представлена в виде среднего значения (M) и стандартной ошибки среднего значения (m) при нормальном распределении, а также в виде медианы (Me) при отличии от нормального. Для сравнения 2 независимых непараметрических выборок использовали критерий Манна–Уитни, для множественного сравнения – Краскелла–Уоллиса. Для сравнения 2 зависимых непараметрических выборок использовали критерий Уилкоксона. Значение вероятности менее 0,05 демонстрировало статистическую достоверность.

Результаты и их обсуждение

Общая выборка пациентов была разделена на 3 группы в зависимости от вида ОНМК, которые статистически различались между собой ($p < 0,001$). В 1-ю группу были включены дети (23 (41,8%)) с геморрагическим инсультом (ГИ); 2-ю группу составили дети (27 (49,1%)) с ишемическим инсультом (ИИ); 3-ю группу – (дети (5 (9,1%)) со смешанным инсультом (СИ).

Оценка гендерных соотношений в общей группе из 55 больных, перенесших ОНМК, показала, что мальчиков было больше – 33 (60%), чем девочек – 22 (40%), что совпало и с данными зарубежных исследований [9–11].

Анализ распределения пациентов по периоду инсульта показал: в острейшем/остром периоде находились 3 (5,5%) пациента, в раннем восстановительном периоде – 10 (18,2%), в позднем восстановительном периоде – 19 (34,5%) и в периоде остаточных явлений – 23 (41,8%) пациента.

У всех больных (100%) отмечали двигательные нарушения различного характера: в виде монопареза – 2 (3,6%), гемипареза – 46 (83,6%), тетрапареза – 7 (12,7%). Так, правосторонний дефицит обнаружен у 23 (41,8%) пациентов, левосторонний – у 25 (45,5%), двусторонний дефицит – у 7 (12,7%).

При проведении МРТ головного мозга в стандартных режимах были выявлены структурные изменения у всех 55 пациентов. В научных исследованиях по изучению инсультов достаточно много внимания уделяется сторонности ОНМК и его влияния на различные функции центральной нервной системы. Левосторонняя локализация инсульта в проведенном исследовании была отмечена у 24 (43,6%) больных, правосторонняя – у 17 (30,9%), двусторонняя – у 14 (25,5%). Очаги поражения локализовались: лобная доля – 4 (7,3%), теменная доля – 1 (1,8%), височная доля – 4 (7,3%), лобно-теменная область – 3 (5,5%), лобно-височная – 11 (20,0%), затылочно-теменная – 1 (1,8%), теменно-височно-затылочная – 9 (16,4%), височно-лобно-теменная – 19 (34,5%), перивентрикулярная область – 2 (3,6%), ствол мозга – 1 (1,8%). Необходимо отметить, что у большинства наших больных (37 детей – 67,3%) преобладали очаги кистозной дегенерации головного мозга, также выявляли участки глиоза у 10 (18,2%) пациентов, энцефаломалацию – у 10 (18,2%), лейкомаляцию – у 4 (7,3%), арахноидальную кисту – у 5 (9,1%) пациентов.

Были получены количественные показатели с помощью ДТ-МРТ (ФА и ИКД) в исследуемой группе детей.

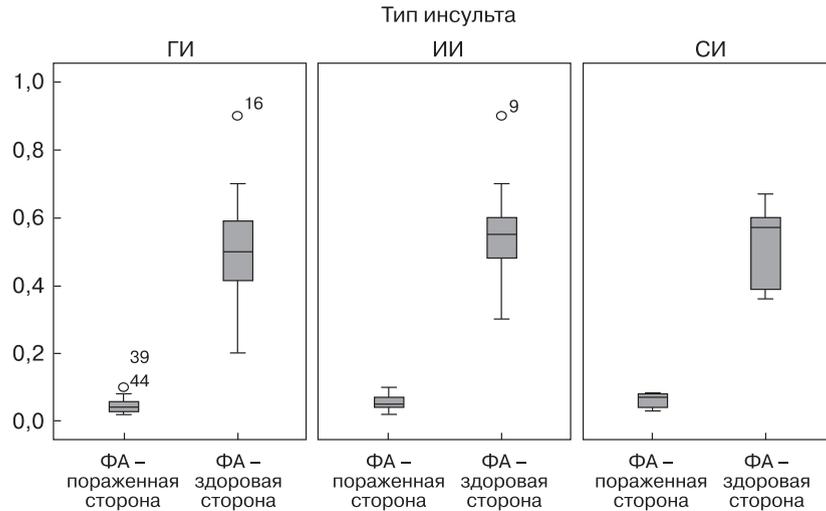


Рис. 1. Показатели ФА в пораженной и здоровой стороне у детей в зависимости от типа инсульта.

Основными критериями при моделировании трактов являлись: коэффициент ФА – 0,1, длина волокон – 40–70 мм. Показатели ФА измеряли в пораженном полушарии большого мозга и в аналогичной зоне в противоположном (условно здоровом) полушарии, что расценивали как норму. При проведении оценки ФА в пораженной и здоровой стороне головного мозга у детей с различными типами инсульта выявлено статистически значимое ($p < 0,001$) снижение показателей ФА и повышение индекса коэффициента диффузии по ходу кортикоспинальных трактов на всех уровнях его прохождения (рис. 1).

ФА отражает анизотропию (“неодинаковость” свойств среды по различным направлениям внутри этой среды в противоположность изотропии) процесса диффузии, характеризует степень на-

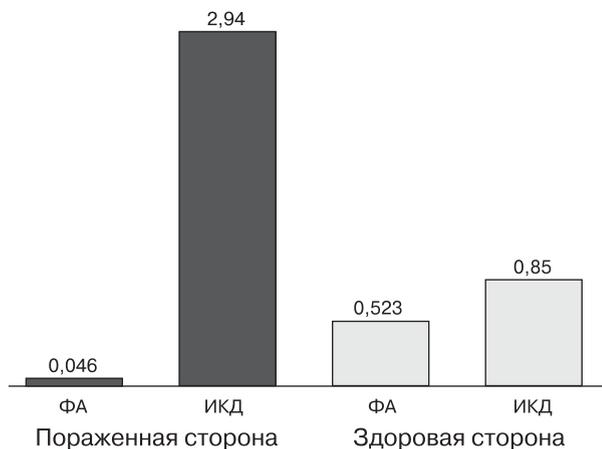


Рис. 2. Уровень ФА и ИКД в пораженном и в здоровом участке головного мозга.

правленности структур и их целостность, принимает значения от 0 (изотропная диффузия) до 1 (полностью анизотропная диффузия) и может быть представлена в виде двумерной карты в серой шкале, интенсивность МР-сигнала на которой соответствует значениям ФА от 0 (черный) до 1 (белый). В белом веществе анизотропия высока, что связано с высокой диффузией молекул вдоль направления волокон и низкой в направлении, перпендикулярном их ходу. В сером веществе и цереброспинальной жидкости анизотропия стремится к нулю, так как диффузия молекул одинакова во всех направлениях [12–14].

По данным МР-трактографии и диффузно-тензорном изображении (ДТИ) разрушение, перерыв проводящих трактов выявлены в 51 (92,7%) случае, преимущественно у пациентов с ИИ – 25 (45,4%), у детей с ГИ – 22 (40%), у 1 пациента со смешанным типом инсульта (1,8%). Разрушение трактов было обусловлено сочетанием кистозной дегенерации и глиозом. У этих пациентов данные ДТИ показывали снижение ФА в области тракта без смещения проводящих волокон белого вещества.

Показатели диффузии по данным ДТИ в области поражения при низкодифференцированных очагах имели значительную вариабельность, однако показатель ФА в зоне кистозной дегенерации и глиоза был ниже, чем в контралатеральном полушарии. При анализе уровня ФА и ИКД в пораженном и в здоровом участке головного мозга были выявлены существенные изменения (рис. 2). Так, в зоне поражения в 48 (84,8%) случаях отмечали снижение показателей ФА и ИКД. В зоне кистозной дегенерации значения ФА были значительно низкими ($0,05 \pm 0,02$), чем в зоне глиоза ($0,15 \pm 0,03$). ИКД в зоне кистозной дегенерации

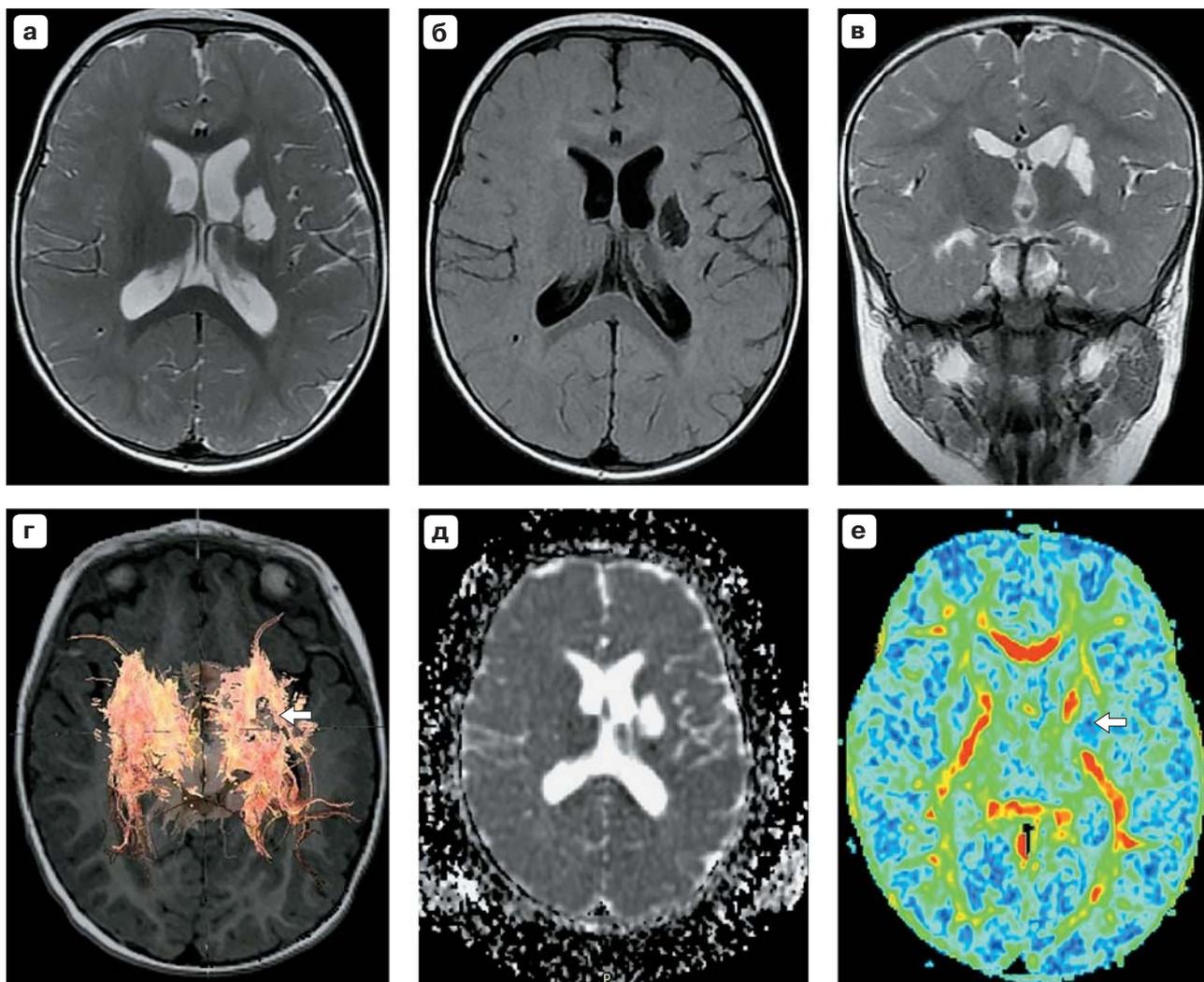
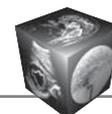


Рис. 3. Пациент 3., 1 год 3 мес. Последствие ОНМК по ишемическому типу, МРТ-признаки участка кистозной дегенерации лобно-височной области левого полушария головного мозга (последствия ишемии). МР-изображения. а – T2 FSE-axial режим; б – T2 FLAIR режим; в – T2 FSE- коронарный режим; г – режим DTI-axial 3D-трактографическая карта (стрелкой указан участок нарушенной структуры проводящих путей); д – ADC-axial режим; е – FA-axial карта (стрелкой указан участок сниженного показателя фракционной анизотропии).

находился в пределах $2,91 \pm 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$, а в зоне глиоза – $1,49 \pm 0,27 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$.

В качестве примера приводим МРТ + трактографическое изображение и заключение детей с ИИ и ГИ в восстановительном периоде.

Клиническое наблюдение 1

Пациент 3., 1 год 3 мес, состоит на учете у невролога с диагнозом: последствия ОНМК по ишемическому типу с правосторонним гемипарезом. Ребенок перенес инсульт в 9 мес жизни. Причина инсульта не установлена. При поступлении в стационар со слов родителей жалобы на ограничение движений в правых конечностях.

Анамнез. В 9-месячном возрасте, когда появилось беспокойство необъяснимого характера, правая рука стала висеть, как “плеть”. После прогрессирования нев-

рологической симптоматики обратились в Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи (РНЦЭМП), где рекомендовали сделать МСКТ, после констатации ИИ ребенок был направлен в ГКДБ №1.

При оценке неврологического статуса больной был в сознании, лицо асимметричное за счет центрального пареза VII пары черепно-мозговых нервов. Гемипарез по спастическому типу с преимущественным поражением правой руки.

При МРТ+ДТИ-трактографии головного мозга пациента в лобно-височной области (проекция тела хвостатого ядра, скорлупы и передней ножки, и колена внутренней капсулы, частично ограды и наружной капсулы) левого полушария определяется неправильной формы кистозный участок (рис. 3, а), деформирующий прилежащие отделы мозга. Участки с неровными контурами,

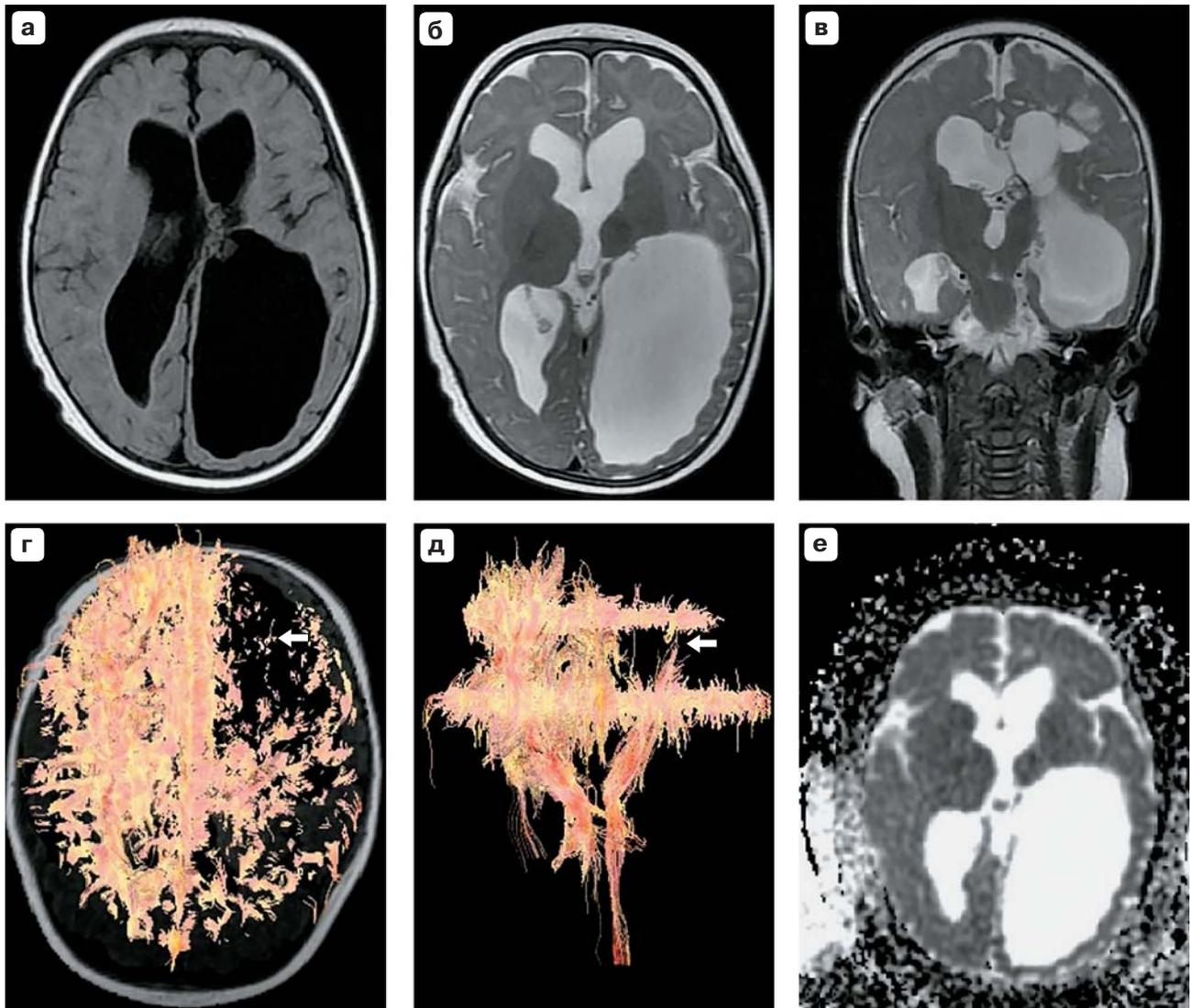
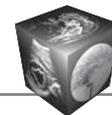


Рис. 4. Пациент С., 7 мес. Последствие ОНМК по геморрагическому типу. МРТ-признаки протяженных участков кистозной дегенерации левого полушария мозга с вторичной левосторонней вентрикуломегалией. МР-изображения. а – T2 FSE-axial режим; б – T2 FLAIR режим; в – T2 FSE- коронарный режим; г – режим DTI-axial 3D-трактографическая карта (стрелкой указан участок нарушенной структуры проводящих путей); д – режим DTI-coronar 3D-трактографическая карта (стрелкой указан участок нарушенной структуры проводящих путей); е – ADC-axial режим.

зоной глиоза по периферии, ликворными сигнальными характеристиками, размерами (переднезадний × поперечный × вертикальный) 22 × 14 × 23 мм (рис. 3, б, в). На 3D-трактографической карте отмечается повреждение и уменьшение объема волокон верхнего продольного пучка, волокон передней таламической лучистости, кортико-понтинного тракта и частично фронтооксипитального пучка (рис. 3, г). При ADC-картировании в зоне глиоза наблюдается инверсия МР-сигнала в виде появления участков повышения интенсивности (рис. 3, д). Также определяются умеренная деформация и уменьшение степени анизотропии на уровне переднего бедра внутренней капсулы слева, области ствола мозолистого тела (рис. 3, е).

Для решения вопросов прогнозирования, определения степени тяжести структурных изменений головного мозга было проведено данное исследование, в результате которого было определено поражение левого полушария с наличием изменений, свойственных постинсультным. Повреждение волокон передней таламической лучистости, кортико-понтинного тракта и частично фронтооксипитального пучка и является основополагающим в формировании достаточно грубого двигательного дефекта. Выявление данных изменений способствовало определению дальнейшего прогноза, составлению рекомендаций для родителей с включением листка планирования реабилитационных мероприятий.



Клиническое наблюдение 2

Ребенок С., 7 мес, состоит на учете у невролога с диагнозом: последствия фетального инсульта, задержка этапов психомоторного развития. Родители предъявляют жалобы на ограничение движения в конечностях справа и задержку психомоторного развития.

Анамнез. Ребенок от 3-й беременности. Беременность протекала на фоне токсикоза, ОРВИ (I триместр беременности), анемии (100 г/л), повышения артериального давления, нефропатии. Роды в 36–37 нед, физиологические, с однократным обвитием пуповиной, кричал после манипуляций. Масса тела при рождении 3100 г. Сосал вяло. Особенности послеродового периода: затаявшаяся желтуха. В 2-месячном возрасте в рамках планового осмотра родители обратились к невропатологу, по рекомендации которого было выполнено МРТ-исследование, после чего обратились в ГКДБ №1.

В неврологическом статусе на момент осмотра: ребенок в сознании, объем груди 41 см, голову не удерживает. Со стороны черепно-мозговых нервов – ни стагм, сужение глазной щели справа, повышение мышечного тонуса по спастическому типу больше справа, сухожильная гиперрефлексия больше справа и на той же стороне патологические знаки. В конечном итоге стоит отметить выраженный правосторонний гемипарез по спастическому типу с задержкой этапов развития.

Пациенту была проведена *МРТ+ДТИ-трактография* головного мозга в периоде раннего восстановления ГИ с целью визуализации уровня повреждения проводящих путей для дальнейшей тактики лечения и реабилитации.

На серии томограмм в перивентрикулярных зонах левого полушария мозга определяются неправильной формы протяженные кистозные участки, деформирующие прилежащие отделы мозга и выраженно подтягивающие латеральные отделы левого бокового желудочка (рис. 4, а). Участки с неровными контурами, зоной глиоза по периферии, единичными участками отложения гемосидерина по контурам, ликворными сигнальными характеристиками (рис. 4, б). При коронарном сечении также отмечается кистозный участок неправильной формы, с признаками вторичной левосторонней вентрикуломегалии (рис. 4, в). На 3D-трактографической карте определяются: деформация и повреждение волокон верхнего и нижнего продольных, верхнего и нижнего фронтоокипитальных, крючковидного пучков, верхней и задней таламической лучистости, кортико-понтинного тракта, задняя часть лучистого венца, мозолистого тела, опоясывающей извилины, а также субкортикальных U-волокон (рис. 4, г, д). На ADC-карте в зоне кистозной дегенерации степень диффузии молекул распределяется неравномерно из-за незавершенной миелинизации (рис. 4, е).

По данным нейровизуализации, с учетом клинической картины, можно получить подтвержде-

ние левополушарного процесса с выраженным правосторонним центральным гемипарезом. Неправильной формы протяженные кистозные участки, деформирующие прилежащие отделы мозга и выраженно подтягивающие латеральные отделы левого бокового желудочка, являются отражением резидуальной стадии, но в силу выраженных структурных изменений могут формировать предпосылки для возникновения вторичных изменений. Неравномерный уровень ФА (степень миелинизации) белого вещества, свидетельствуя о незавершенной миелинизации, может давать шанс на динамику в случае правильно подобранной тактики лечения и реабилитации.

Одним из главных преимуществ ДТ-МРТ является ее относительная постоянность: при выполнении данной методики оцениваются основные направления диффузии молекул воды в зависимости от расположения волокон в пространстве; таким образом, возможно получить не только величину диффузии в данной точке, но и ориентацию волокон в трехмерном пространстве [15, 16].

В работах различных исследователей было показано, что степень повреждения главного двигательного проводящего пути имеет прогностическую ценность в отношении функционального исхода у пациентов в остром периоде ИИ. Определяемое с помощью этого метода изменение ипсилатерального кортико-спинального тракта является более точным прогностическим инструментом для оценки функционального исхода инсульта, чем исходное состояние или объем инфаркта у пациентов со средними и малыми инфарктами [13, 17].

Данные МР-трактографии позволили провести оценку состояния проводящих волокон в зоне поражения основных проекционных трактов, локализующихся вблизи границ очага повреждения. Помимо этого, позволили верифицировать истинный характер повреждений, в частности ишемию от геморрагии или ишемию от воспаления. Полученные результаты совпадают с данными других исследователей [4, 6, 14, 15]. Данные МР-трактографии способствовали выбору оптимального реабилитационного и медикаментозного метода лечения на этапе планирования дальнейшей тактики ведения детей с ПОНМК. На сегодняшний день область применения трактографии постоянно расширяется. Исследователи и фирмы-производители МР-оборудования предлагают новое и усовершенствованное программное обеспечение для реконструкции трактограмм. Ожидается внедрение в рутинную клиническую практику трактографии, что может быть чрезвычайно полезно в специализированных неврологических клиниках,



изучающих структуру белого вещества головного мозга и влияние на нее различных патологических состояний [5, 7, 13]. Необходимо проведение дальнейших исследований, уточняющих области клинического применения МР-трактографии. Методика реконструкции трактограмм необременительна для неврологов или специалистов по лучевой диагностике.

Заключение

ДТ-МРТ позволяет не только оценивать имеющиеся количественные и качественные изменения проводящих путей головного мозга в различных периодах инсульта у детей, но и прогнозировать нарастание моторного дефицита (при этом наиболее чувствительным является показатель ФА, достоверно коррелирующий с функциональными исходами ($p < 0,05$) у детей с инсультами).

При сравнении показателей ФА и ИКД на уровне ножек мозга и заднего бедра внутренней капсулы у пациентов с ИИ и ГИ на контралатеральной парезу стороне выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$). При сравнении значений ИКД в зависимости от моторного дефицита были выявлены статистически значимые различия между пациентами с монопарезом, гемипарезом и тетрапарезом ($p < 0,029$).

При этом у пациентов с гемипарезом значение ФА заднего бедра внутренней капсулы в стороне поражения было статистически значимо меньше ($p = 0,001$), чем у детей с монопарезом и тетрапарезом.

Работа проводилась в рамках Государственного научно-технического прикладного гранта АДСС-15.23.4 "Разработка патогенетических методов диагностики инсультов у детей раннего возраста и оптимизация принципов терапии".

Список литературы / References

1. Filho E.M., Carvalho W.B. De. Stroke in children. *J. de Pediatria*. 2009; 85: 469–479. DOI:10.2223/JPED.1944.
2. Jordan L.C., Hillis A.E. Hemorrhagic Stroke in Children. *Pediatric Neurol*. 2007; 36: 73–80. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2006.09.017.
3. Rivkin M.J., Bernard T.J., Dowling M.M., Amlic-Lefond C. Guidelines for Urgent Management of Stroke in Children. *Pediatric Neurol*. 2016; 56: 8–17. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2016.01.016.
4. Dudink J., Counsell S.J., Lequin M.H., Govaert P.P. DTI reveals network injury in perinatal stroke. *Arch. Dis. in Childhood – Fetal and Neonatal Edition*. 2012; 97: F362–364.
5. Assaf Y., Pasternak O. Diffusion Tensor Imaging (DTI)-based White Matter Mapping in Brain Research: A Review. *J. Molec. Neurosci*. 2008; 34: 51–61. DOI: 10.1007/s12031-007-0029-0.
6. Mukherjee P. Diffusion tensor imaging and fiber tractography in acute stroke. *Neuroimag. Clinic N. Am*. 2005; 15: 655–665. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nic.2005.08.010>.
7. Song J., Nair V.A., Young B.M., Walton L.M., Nigogosyan Z., Remsik A., Tyler M.E., Farrar-Edwards D., Caldera K.E., Sattin J.A., Williams J.C., Prabhakaran V. DTI measures track and predict motor function outcomes in stroke rehabilitation utilizing BCI technology. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2015; 9: 195. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00195.
8. Jang S.H. A review of diffusion tensor imaging studies on motor recovery mechanisms in stroke patients. *NeuroRehabilitation*. 2011; 28: 345–352. DOI: 10.3233/NRE-2011-0662.
9. Fullerton H.J., Wu Y.W., Zhao S., Johnston S.C. Risk of stroke in children: ethnic and gender disparities. *Neurology*. 2003; 61: 189–194.
10. Vannucci S.J., Hurn P.D. Gender Differences in Pediatric Stroke: Is Elevated Testosterone a Risk Factor for Boys? *Ann. Neurol*. 2009; 66: 713–714. DOI: 10.1002/ana.21925.
11. Golomb M.R., Fullerton H.J., Nowak-Gottl U., Deveber G. Male predominance in childhood ischemic stroke: Findings from the international pediatric stroke study. *Stroke*. 2009; 40: 52–57. DOI: 10.1161/STROKEAHA.108.521203.
12. Heller S.L., Heier L.A., Watts R., Schwartz T.H., Zelenko N., Doyle W., Devinsky O. Evidence of cerebral reorganization following perinatal stroke demonstrated with fMRI and DTI tractography. *Clinical Imaging*. 2005; 29: 283–287. DOI: 10.1016/j.clinimag.2004.09.003.
13. Jang S.H. Prediction of motor outcome for hemiparetic stroke patients using diffusion tensor imaging: A review. *NeuroRehabilitation*. 2010; 27: 367–372. DOI: 10.3233/NRE-2010-0621.
14. Пирадов М.А., Танашян М.М., Кротенкова М.В., Брюхов В.В., Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н. Передовые технологии нейровизуализации. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2015; 9: 11–19. Piradov M.A., Tanashyan M.M., Krotenkova M.V., Bryukhov V.V., Kremneva E.I., Konovlov R.N. Advanced neuroimaging technology. *Annaly klinicheskoy i eksperimentalnoy neurologii*. 2015; 9: 11–19. (In Russian)
15. Ma H.T., Ye C., Wu J., Yang P., Chen X., Yang Z., Ma J. A preliminary study of DTI Fingerprinting on stroke analysis. Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. *Ann. Conference*. 2014; 2014: 2380–2383.
16. Seghier M.L., Lazeyras F., Zimine S., Maier S.E., Hanquinet S., Delavelle J., Volpe J.J. Combination of event-related fMRI and diffusion tensor imaging in an infant with perinatal stroke. *NeuroImage*. 2004; 21: 463–472. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2003.09.015.
17. Cárdenas J.F., Rho J.M., Kirton A. Pediatric stroke. Child's nervous system: *ChNS: official journal of the International Society for Pediatric Neurosurgery*. 2011; 27: 1375–1390.

Поступила в редакцию 29.11.2016.
Принята к печати 18.01.2017.

Received on 29.11.2016.
Accepted for publication on 18.01.2017.