

УДК 616.89 073.75:614.876 (477.41)

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-59-65>

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФРАКЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ В ОЦЕНКЕ РИСКА КОГНИТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ У ПАЦИЕНТОВ С ДИСЦИРКУЛЯТОРНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

И. М. Левашкина, С. В. Серебрякова, О. В. Тихомирова, Е. В. Китайгородская
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

© Коллектив авторов, 2019 г.

У пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией (ДЭ) отмечаются частые проявления расстройств когнитивной сферы, что является следствием органического поражения головного мозга. Методика диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии (ДТ-МРТ) позволяет производить количественную оценку целостности проводящих путей. Цель исследования: разработать прогностические критерии изменений белого вещества головного мозга при ДЭ, выявить пороговые значения фракционной анизотропии, способные стать предикторами когнитивных нарушений (КН). Произведено сопоставление результатов ДТ-МРТ с данными нейропсихологического тестирования у пациентов с ДЭ. У пациентов с КН отмечалось статистически достоверное ($p < 0,005$) снижение коэффициента фракционной анизотропии (КФА) в трактах передних отделов лучистого венца (лобные доли), в нижнем продольном пучке (височные доли) и в переднем бедре внутренней капсулы. Рассчитаны пороговые значения КФА в данных областях, являющиеся предикторами КН, что дает возможность определить вероятность риска их развития у пациентов с ДЭ. Количественный анализ изменений в структурах мозга, отвечающих за когнитивную функцию, является актуальным для прогнозирования вероятности наступления у пациентов сосудистой деменции.

Ключевые слова: диффузионно-тензорная МРТ, коэффициент фракционной анизотропии, когнитивные нарушения, дисциркуляторная энцефалопатия, сосудистая деменция

THRESHOLD FRACTION ANISOTROPY LEVEL AND VASCULAR DEMENTIA PREDICTION FOR SUBJECTS WITH DIAGNOSED ENCEPHALOPATHY

I. M. Levashkina, S. V. Serebryakova, O. V. Tikhomirova, E. V. Kitaigorodskaya
Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

As a consequence of the cerebral tracts' damages, encephalopathy comes with cognitive disorders. Diffusion-tensor MRI is a cerebral tracts' integrity quantitative measurement method. The main purpose of the study was to develop criteria of cerebral tracts integrity using DT-MRI to predict vascular dementia, to find threshold CFA level in liable tracts to measure dementia risk. DT-MR results were compared with neuropsychological tests of subjects with diagnosed encephalopathy. Identified statistically significant ($p < 0,005$) FA decrease in three regions for those subjects with cognitive impairment: front sections of corona radiata, inferior longitudinal fasciculi and anterior horn of internal capsule. Threshold FA level calculated for these 3 region of interests, they can be predictors of the risk of cognitive disorders for subjects with diagnosed encephalopathy.

Key words: diffusion-tensor MRI (DT-MRI), fractional anisotropy (FA), cognitive disorders, encephalopathy, vascular dementia

Для цитирования: Левашкина И.М., Серебрякова С.В., Тихомирова О.В., Китайгородская Е.В. Диагностические критерии пороговых значений фракционной анизотропии в оценке риска когнитивных нарушений у пациентов с дисциркуляторной патологией головного мозга // *Лучевая диагностика и терапия*. 2019. № 2. С. 59–65, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-2-59-65>.

Введение. Социальная значимость дисциркуляторной энцефалопатии (ДЭ) определяется выраженностью и скоростью прогрессирования когнитивных нарушений (КН), которые вызывает данное заболе-

вание [1, 2]. Морфологическим субстратом КН, видимым при рутинной МРТ, являются церебральные сосудистые изменения: гидроцефалия, лейкоареоз, очаговые и атрофические изменения [3, 4]. Однако при малом количестве изменений отмечается сложность в оценке прогноза развития КН у данного контингента больных. С помощью дополнительной методики — диффузионно-тензорной МРТ (ДТ-МРТ), можно количественно измерить степень повреждения белого вещества головного мозга. При вычислении коэффициента фракционной анизотропии (КФА) в зонах, ответственных за когнитивную функцию, возможно определение диагностических критериев риска развития данной патологии на стадии, когда инвалидизация пациента еще не наступила.

Авторами [5], использовавшими ДТ-МРТ для обследования пациентов с хронической ишемией мозга, было отмечено снижение КФА в переднем бедре внутренней капсулы, белом веществе лобных долей, мозолистом теле и базальных ядрах, свидетельствующее о диффузной демиелинизации волокон этих структур дисциркуляторной природы. Другими исследователями [6] отмечена корреляция между процессом старения мозга и изменениями анизотропии в лобных долях и клюве мозолистого тела.

В работах китайских ученых [7] при изучении пациентов с сосудистой деменцией и массивным перивентрикулярным лейкоареозом отмечалось снижение КФА в перивентрикулярном белом веществе лобных долей, в семиовальных центрах и мозолистом теле.

При исследовании групп пациентов с лакунарным поражением базальных ядер отмечено снижение КФА в височных долях, а также по ходу кортикоспинальных трактов. Учеными акцентировано внимание на том, что патологические изменения (даже такие значимые, как лакунарные кисты), видимые при рутинной МРТ, не всегда ведут к когнитивному дефициту, и что о риске его снижения лучше всего судить по величине КФА, так как числовые значения анизотропии в трактах белого вещества головного мозга, ответственных за когнитивную функцию, четко коррелируют с когнитивным статусом [8].

В современной литературе отсутствуют работы по определению пороговых значений КФА в зонах мозга, ответственных за когнитивную функцию. В связи с этим актуально применение исследования с использованием методики ДТ-МРТ, способного дать прогностические критерии в виде количественных маркеров клинических проявлений ДЭ.

С помощью добавления ДТ-МРТ к нейропсихологическим методам появляется возможность предметно изучить микроструктурные изменения проводящих трактов белого вещества головного мозга при сосудистой патологии мозга.

Цель: разработать прогностические критерии изменений проводящих путей головного мозга

с помощью методики ДТ-МРТ при ДЭ; выявить пороговые значения фракционной анизотропии, способные стать предикторами когнитивных нарушений.

Материалы и методы. Во Всероссийском центре экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России (Санкт-Петербург) за период 2015–2018 гг. обследован 171 человек с дисциркуляторной энцефалопатией I, II и III стадии [9]. Средний возраст пациентов составлял $64,37 \pm 7,25$ года. Когнитивные функции оценивали с участием нейропсихолога с помощью специального тестирования. Каждый пациент набирал определенное количество баллов, что являлось количественным показателем функционального состояния высших мозговых функций и было удобным для дальнейшего статистического учета.

По результатам тестирования, включавшего краткое исследование психического статуса по шкале MMSE (англ. Mini-Mental State Examination — MMSE) [10] и батареи лобной дисфункции (англ. Frontal Assessment Battery — FAB) [11] были сформированы две группы. В I группу (79 человек) вошли пациенты с умеренными когнитивными нарушениями и наличием деменции легкой степени выраженности. Результаты теста MMSE у пациентов составили от 20 до 27 баллов, FAB — от 12 до 16 баллов. Во II группу (92 человека) были включены пациенты без нарушений когнитивных функций, у которых при нейропсихологическом тестировании результаты теста MMSE составили от 28 до 30 баллов, результаты теста FAB — от 17 до 18 баллов.

В исследование включались только пациенты с сосудистой патологией мозга, не имеющие самостоятельных (идиопатических) нейродегенеративных заболеваний (болезнь Альцгеймера, болезнь Паркинсона, деменция с тельцами Леви и проч.), ОНМК, тяжелых ЧМТ и токсических поражений мозга, а также соматической патологии в стадии декомпенсации.

Всем участникам исследования проводили ДТ-МРТ и измерение КФА в различных структурах головного мозга. Исследование проводили на томографе «Magnetom Verio» с напряженностью магнитного поля 3 Т. При выполнении диффузионно-тензорной МРТ использовали импульсную последовательность DTI с измерением диффузии в 12 направлениях с параметрами: TR=4200 мс, TE=109 мс, FOV= 230×230 мм, толщина среза — 4 мм, количество срезов — 25, длительность исследования — 3 мин 59 с. Использовалось программное обеспечение приложения Neuro 3D рабочей станции Syngo Imaging XS, Siemens.

Измерение КФА проводили билатерально в различных зонах интереса — ROI (Region of Interest), включающих основные пучки проводящих путей белого вещества и таламус. Обследовались 12 областей (12 ROI): верхний продольный пучок, лучистый венец, отделы внутренней капсулы и мозолистого тела, нижний продольный пучок, нижний лобно-

затылочный пучок, таламус, ножки мозга, варолиев мост. Выделение ROI производили мануальным методом, в соответствии с МРТ-атласом трактов белого вещества [12]. Для большей точности проводили несколько измерений на смежных срезах и из них рассчитывали среднее значение. В трактах вытянутой формы использовали методику Freehand ROI (свободное контурирование регионов интереса, или же его разновидность — контурирование цветовых максимумов по руслу тракта), которая, по мнению большинства ученых, более устойчива и отличается высокой воспроизводимостью в протяженных волокнах (внутренняя капсула, нижний лобно-затылочный пучок). Методику с использованием опции Circular (аппроксимации круглыми отметками) использовали для округлых или приближенных по форме к кругу ROI, таких как таламус или нижний продольный пучок в аксиальной проекции [13, 14].

Математическую обработку результатов проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics, версия 25. Проверку гипотез о влиянии КН на уровень значений КФА осуществили для трактов, в которых отклонение между средними значениями для разных групп превышало 3%. Выборки, для которых определялся р-уровень достоверности гипотез, подчинялись условно нормальному распределению (следовательно, для определения р-уровня достоверности гипотез использовался t-критерий Стьюдента). В статье представлены средние арифметические показатели и их средние ошибки ($M \pm m$).

Результаты и их обсуждение. При помощи ДТ-МРТ были сравнены билатеральные значения КФА всех 12 ROI пациентов группы I (с когнитивной дисфункцией) со значениями, полученными в группе II (у пациентов без когнитивных нарушений). По результатам исследования с высокой достоверностью ($p < 0,005$) отмечалось снижение анизотропии в группе пациентов с КН в следующих зонах: в области передних отделов лучистого венца (белое вещество лобных долей), в переднем бедре внутренней капсулы (лобно-таламический путь), в области нижнего продольного пучка (белое вещество височных долей) (табл. 1).

Полученные данные в виде трех ROI, в которых отмечено статистически значимое снижение КФА, говорят о том, что повреждение белого вещества лобных, височных долей и переднего бедра внутренней капсулы имеет основное значение в патогенезе когнитивных нарушений у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией. Данные зоны являются внутриполушарными ассоциативными трактами, связывающими между собой различные доли. Передние отделы лучистого венца (первый ROI) представлены дорсальными префронтальными волокнами [15]. В данном регионе отмечаются невысокие значения анизотропии, что обусловлено разнонаправленностью диффузионного тензора в перекрещивающихся волокнах [16]. В области передних отделов лобных долей перекрещиваются передние лобно-затылочные пучки лучистого венца, волокна лобных щипцов, передний отдел нижнего лобно-затылочного тракта и небольшая часть крючковидного пучка. Волокна передних отделов лучистого венца в дальнейшем формируют клинически важный для когнитивных функций ассоциативный путь, соответствующий передней таламической лучистости. Нижний продольный пучок соединяет полюс височной доли, парагиппокампальные извилины, гиппокамп и миндалевидное тело [17]. Переднее бедро внутренней капсулы соответствует передней таламической лучистости, обеспечивая двусторонние связи между передними ядрами (таламуса) и поясной извилиной, а также между медиальными ядрами (таламуса) и лобной долей. По мнению клиницистов, лобно-таламический путь является одним из наиболее важных для осуществления когнитивных функций [18]. Зоны, в которых отмечено снижение КФА у пациентов с сосудистыми когнитивными нарушениями, показаны на рис. 1.

Верификация каждого статистически значимого тракта была проведена с помощью вычисления пороговых значений (ROC-анализ), а также прогностической ценности (расчет площади под ROC-кривой — Area Under Curve, AUC).

Также с помощью статистического анализа вычислялись чувствительность и специфичность для каждого значения КФА в каждом тракте билатерально.

Таблица 1

Зоны белого вещества головного мозга, отмеченные наиболее значимыми отклонениями между средними значениями КФА при сравнении группы с КН (группа I) и группы без КН (группа II), $M \pm m$

ROI	Группа I (с КН) (n=79)	Группа II (без КН) (n=92)	p (Student t-test)
ПОЛВ, ПП (лобные доли)	372,7±4,57	419,6±5,06	<0,005
ПОЛВ, ЛП (лобные доли)	382,4±4,24	416,5±5,45	<0,005
НПП, ПП (височные доли)	312,2±4,77	344,3±6,58	<0,005
НПП, ЛП (височные доли)	309,1±5,23	346,2±8,08	<0,005
ПБВК, ПП	412,2±5,34	486,2±6,04	<0,001
ПБВК, ЛП	412,4±7,24	484,6±6,66	<0,001

Примечание. ПП — правое полушарие; ЛП — левое полушарие; ПОЛВ — передние отделы лучистого венца; НПП — нижний продольный пучок; ПБВК — переднее бедро внутренней капсулы.

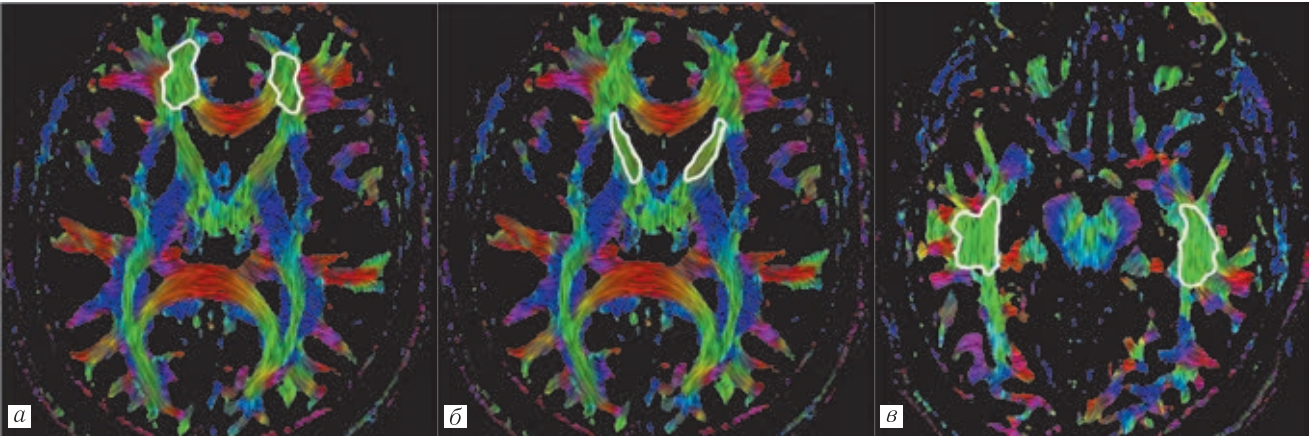


Рис. 1. Зоны, выделенные на цветной карте фракционной анизотропии в режиме «Texture», соответствуют передним отделам лучистого венца (*а*), переднему бедру внутренней капсулы (*б*) и нижнему продольному пучку (*в*)

Анализ КФА в группах пациентов с ДЭ позволил выделить пороговые значения анизотропии для всех ROI в абсолютных численных выражениях для данного типа аппарата МРТ («MagnetomVerio» с напряженностью магнитного поля 3 Тл), а также позволил сделать вывод о методике скрининговой диагностики КН с помощью вычисления КФА в соответствующих трактах.

Для передних отделов лучистого венца (лобные доли) анализ характеристической кривой (ROC-кривой) значений КФА показал, что она была достоверной в обоих полушариях ($p=0,030$ в правом и $p=0,029$ в левом полушарии). Качественная оценка метода (площадь AUC) была высокой — 0,846 для правого и 0,870 для левого полушария при асимптотической значимости менее 0,0001 в обоих полушариях. ROC-кривая значений КФА для передних отделов лучистого венца (билатерально) показана на рис. 2.

Пороговые значения КФА для данного региона, согласно ROC-анализу, представлены в табл. 2.

Как видно из представленной таблицы, в передних отделах лучистого венца неблагоприятным признаком для развития когнитивных нарушений (при чувствительности, стремящейся к единице) являются значения КФА ниже 282 в правом и ниже 289 в левом полушарии. Благоприятный прогноз в отношении когнитивной дисфункции (при специфичности, стремящейся к единице) дают значения КФА выше 369 в правом и выше 367 в левом полушарии. Значения в пределах указанных диапазонов сигнализируют о риске развития когнитивных нарушений, вероятность которого устанавливается по наиболее близким значениям чувствительности и специфичности для каждого конкретного случая.

Анализ ROC-кривой КФА для нижнего продольного пучка (височные доли) показал, что она была достоверной в обоих полушариях ($p=0,027$ в правом и $p=0,023$ в левом полушарии). Площадь AUC была высокой для правого — 0,887 и отличной — 0,910 для левого полушария. ROC-кривая значений

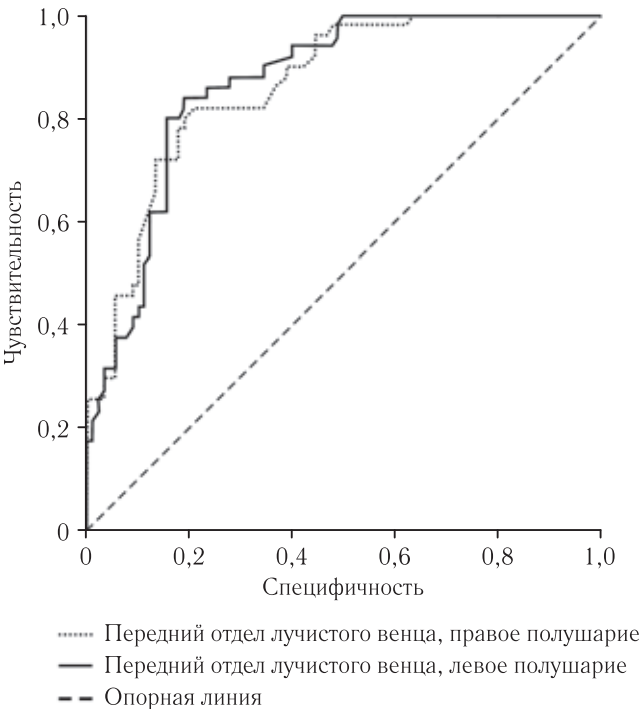


Рис. 2. ROC-кривая для передних отделов лучистого венца (лобные доли), правое и левое полушарие

Таблица 2

Передние отделы лучистого венца. Пороговые значения КФА для правого и левого полушарий			
Переменные	КФА	Чувствительность	Специфичность
Правое полушарие	282,50	1,000	0,367
	309,50	0,900	0,611
	324,50	0,820	0,789
	329,50	0,780	0,822
	346,50	0,660	0,867
	358,75	0,540	0,965
	369,50	0,480	1,000
Левое полушарие	289,40	1,000	0,487
	295,95	0,980	0,511
	310,10	0,940	0,600
	325,75	0,860	0,767
	334,20	0,800	0,844
	352,00	0,640	0,920
	367,50	0,510	1,000

КФА для нижнего продольного пучка показана на рис. 3.

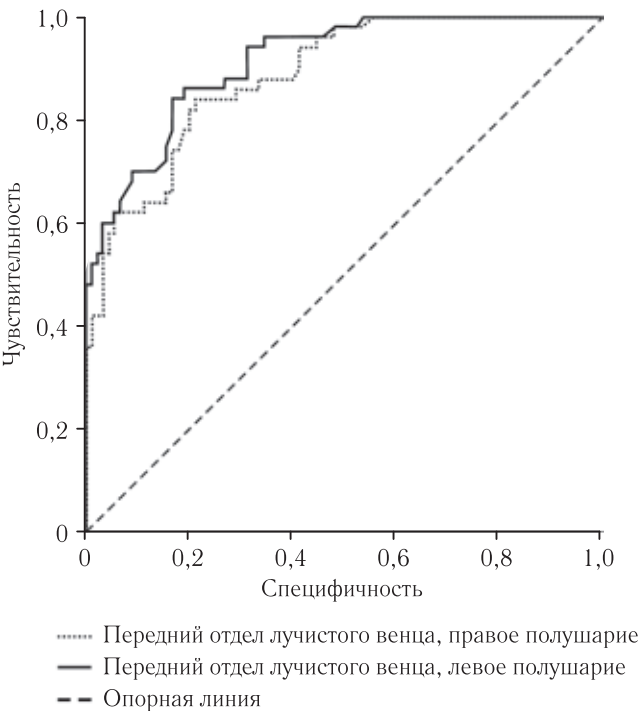


Рис. 3. ROC-кривая для нижнего продольного пучка (височные доли), правое и левое полушарие

Пороговые значения КФА для нижнего продольного пучка, согласно ROC-анализу, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Нижний продольный пучок. Пороговые значения КФА для правого и левого полушарий			
Переменные	КФА	Чувствительность	Специфичность
Правое полушарие	400,50	1,000	0,444
	441,50	0,880	0,667
	457,00	0,840	0,789
	467,65	0,740	0,833
	473,45	0,620	0,880
	490,15	0,580	0,956
Левое полушарие	498,25	0,510	1,000
	400,50	1,000	0,467
	440,25	0,650	0,720
	460,50	0,860	0,800
	466,50	0,840	0,833
	480,50	0,700	0,900
	492,55	0,620	0,944
	497,50	0,565	1,000

Согласно проведенному анализу, в нижнем продольном пучке неблагоприятным признаком для развития когнитивных нарушений (при чувствительности, стремящейся к единице) являются значения КФА ниже 400 в правом и левом полушариях. Благоприятный прогноз в отношении когнитивной дисфункции (при специфичности, стремящейся к единице) дают значения КФА выше 498 в правом и выше 497 в левом полушарии.

Для переднего бедра внутренней капсулы анализ ROC-кривой КФА показал, что она была достовер-

ной в обоих полушариях ($p=0,025$ в правом и $p=0,031$ в левом полушарии). Площадь AUC была отличной для правого — 0,916 и высокой для левого полушария — 0,884. ROC-кривая значений КФА для переднего бедра внутренней капсулы показана на рис. 4.

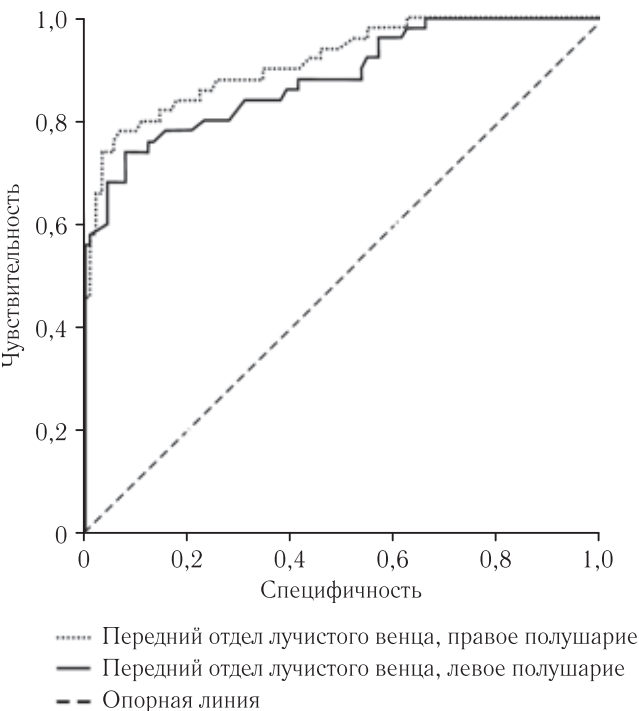


Рис. 4. ROC-кривая для переднего бедра внутренней капсулы, правое и левое полушария

Пороговые значения КФА для переднего бедра внутренней капсулы, согласно ROC-анализу, представлены в табл. 4. При близкой к 90–95 % специфичности чувствительность демонстрирует высокие значения ($\approx 75\text{--}80\%$).

Таблица 4

Переднее бедро внутренней капсулы. Пороговые значения КФА для правого и левого полушарий			
Переменные	КФА	Чувствительность	Специфичность
Правое полушарие	549,00	1,000	0,515
	562,50	0,900	0,600
	588,50	0,840	0,822
	596,50	0,800	0,889
	615,00	0,740	0,967
	624,00	0,660	0,978
	631,00	0,575	1,000
	545,00	1,000	0,520
Левое полушарие	560,00	0,920	0,610
	579,50	0,800	0,733
	599,65	0,740	0,922
	615,50	0,660	0,956
	625,50	0,580	0,989
	638,90	0,530	1,000
	545,00	1,000	0,520

Согласно проведенному анализу, в переднем бедре внутренней капсулы неблагоприятным признаком для развития когнитивных нарушений (при чувствительности, стремящейся к единице) являют-

ся значения КФА ниже 549 в правом и ниже 545 в левом полушарии. Благоприятный прогноз в отношении когнитивной дисфункции (при специфичности, стремящейся к единице) дают значения КФА выше 631 в правом и выше 639 в левом полушарии.

По данным проведенного исследования, нарушение целостности проводящих путей связано со снижением КФА и отражает степень когнитивных расстройств, что совпадает с мнением исследователей в этой области [19]. У пациентов, имеющих когнитивную дисфункцию, отмечалось снижение фракционной анизотропии в трактах передних отделов лучистого венца, в нижнем продольном пучке и в пучках переднего бедра внутренней капсулы. Снижение КФА наблюдалось в большей степени по ассоциативным волокнам, связывающим различные доли одного полушария. Это подтверждает гипотезу о том, что функционально значимыми для КН являются в основном лобные доли [20] и проводящие пути, связанные с таламусами и с лимбической системой.

Микроструктурные изменения проводящих путей головного мозга могут быть зафиксированы с помощью ДТ-МРТ еще до появления активных жалоб пациентов на снижение когнитивных функций. Начальные изменения микроструктуры проводящих путей головного мозга, количественно учитываемые с помощью значений КФА, достоверно не определяются ни клиническими (нейропсихологическое тестирование), ни диагностическими (рутинное МРТ) методами. Авторами рекомендовано в рамках МР-исследования у больных с ДЭ проведение дополнительной программы DTI с целью прогноза когнитивной дисфункции.

Заключение.

1. Выявлено статистически значимое ($p < 0,05$) снижение коэффициента фракционной анизотропии

у пациентов с когнитивными нарушениями в трактах лобных, височных долей и переднего бедра внутренней капсулы.

2. Измерение коэффициента фракционной анизотропии в передних отделах лучистого венца, в нижнем продольном пучке и в переднем бедре внутренней капсулы позволяет количественно оценить вероятность развития снижения когнитивных функций.

3. Неблагоприятным признаком для развития когнитивных нарушений у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией являются следующие значения КФА: для передних отделов лучистого венца — ниже 282 в правом и 289 в левом полушарии, для нижнего продольного пучка — ниже 400 в обоих полушариях, для переднего бедра внутренней капсулы — ниже 549 в правом и 545 в левом полушарии.

4. Благоприятный прогноз в отношении сохранности когнитивных функций у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией дают значения коэффициента фракционной анизотропии: для передних отделов лучистого венца — выше 369 в правом и 367 в левом полушарии, для нижнего продольного пучка — выше 498 в правом и 497 в левом полушарии, для переднего бедра внутренней капсулы — выше 631 в правом и 639 в левом полушарии.

5. Пациенты, у которых значения анизотропии попадают в диапазон между вышеуказанными значениями, относятся к группе риска в отношении снижения когнитивных функций и нуждаются в дополнительном обследовании.

6. Результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать метод диффузионно-тензорной МРТ как дополнительный к клинко-психопатологическому методу исследования головного мозга у пациентов с дисциркуляторной энцефалопатией.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Парфенов В.А., Захаров В.В., Преображенская И.С. *Когнитивные расстройства*. М.: Ремедиум, 2015. 192 с. [Parfenov V.A., Zakharov V.V., Preobrazhenskaya I.S. *Kognitivnye rasstroistva [Cognitive impairments]*. Moscow: Izdatel'stvo Remedium, 2015. 192 p. (In Russ.).]
2. Scrobot O.A., O'Brien J., Black S. et al. The vascular impairment of cognition classification consensus study // *Alzheimers Dement*. 2016. Vol. 13, No. 6. P. 624–633.
3. Локшина А.Б., Захаров В.В. Вопросы терапии хронической ишемии головного мозга // *Неврология и психиатрия*. 2017. № 3 С. 48–54. [Lokshina A.B., Zakharov V.V. Therapy issues of chronic cerebral ischemia // *Neurologiya i Psikhiatriya [Neurology and Psychiatry]*, 2017, No. 3, pp. 48–54 (In Russ.).]
4. Лобзин В.Ю. Комплексная ранняя диагностика нарушений когнитивных функций // *Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*. 2015. Т. 115, № 11. С. 72–79. [Lobzin V.Yu. Comprehensive early diagnosis of cognitive impairment. *Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S. S. Korsakova [S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]*, 2015, Vol. 115, No. 11, pp. 72–79. (In Russ.).]
5. Ходжаева Д.Т., Хайдарова Д.К. Поражения проводящих путей при различных типах умеренно-когнитивных расстройств на фоне хронической ишемии мозга // *Евразийский союз ученых*. 2015. № 10. С. 122–124. [Khodzhaeva D.T., Khaydarova D.K. Lesions of pathways in different types of moderate cognitive disorders on the background of chronic ischemia of the brain. *Zhurnal Evraziyskogo Soyuza uchenykh=Eurasian Union of Scientists*, 2015, No. 10, pp. 122–124. (In Russ.).]
6. Engelhardt E., Moreira D.M., Laks J. The brain subcortical white matter and aging: A quantitative fractional anisotropy analysis // *Dement Neuropsychol*. 2009. Vol. 3 (3). P. 228–233. DOI: 10.1590/S1980-57642009DN30300009.
7. Wang S., Yuan J., Guo X. Teng et al. Correlation between prefrontal-striatal pathway impairment and cognitive impairment in patients with leukoaraiosis // *Medicine*. 2017. Vol. 96 (17). DOI: 10.1097/MD.00000000000006703.

8. Wu Y.F., Wu W.B., Liu Q.P. et al. Presence of lacunar infarctions is associated with the spatial navigation impairment in patients with mild cognitive impairment: a DTI study // *Oncotarget*. 2016. Vol. 7 (48). P. 78310–78319. DOI: 10.18632/oncotarget.13409.
9. Максудов Г.А. Классификация сосудистых поражений головного и спинного мозга // *Сосудистые заболевания нервной системы* / под ред. Е. В. Шмидта. М., 1975. С. 12–17. [Maksudov G.A. *Vascular involvements of brain and spinal cord classification*. Ed. E. V. Schmidt, Moscow, 1975, pp. 12–17. (In Russ.)].
10. Folstein M.F., Folstein S.E., McHugh P.R. Mini-Mental State: a practical guide for grading the mental state of patients for the clinical // *J. Psych. Res.* 1975. Vol. 12. P. 189–198.
11. Dubois B., Slachevsky A., Litvan I. et al. The FAB: A frontal assessment battery at bedside // *Neurology*. 2000. Vol. 55, No. 11. P. 1621–1626.
12. Mori S., Wakana S., Nague-Poetscher L.M., Van Zijl P.C.M. MRI atlas of human white matter // *Elsevier*. 2010. 284 p.
13. Hakulinen U. et al. Repeatability and variation of region-of-interest methods using quantitative diffusion tensor MR imaging of the brain // *BMC Medical Imaging*. 2012. Vol. 12. DOI: 10.1186/1471-2342-12-30.
14. Левашкина И.М., Серебрякова С.В., Кожевникова В.В., Алексанин С.С. Возможности диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии в комплексной оценке когнитивных расстройств у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС в отдаленном периоде (клинико-лучевые сопоставления) // *Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2017. № 4. С. 13–19. [Levashkina I.M., Serebryakova S.V., Kozhevnikova V.V., Aleksanin S.S. Diffusion tensor MRI potential of integrated assessment for Chernobyl accident liquidators' cognitive disorders at the remote period (clinical and radiological juxtapositions). *Medico-Biological and Socio-Psychological problems of safety in emergency situations*, 2017, No. 4, pp. 13–19. (In Russ.)].
15. Zakszewski E., Adluru N., Tromp do P.M. et al. A diffusion-tensor-based white matter atlas for rhesus macaques // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9 (9). DOI: 10.1371/journal.pone.0107398.
16. Abdallah C.G., Tang C.Y., Mathew S.J. et al. Diffusion tensor imaging in studying white matter complexity: a gap junction hypothesis // *Neurosci Lett*. 2010. Vol. 475 (3). P. 161–164. DOI: 10.1016/j.neulet.2010.03.070.
17. Catani M., Thiebaut de Schotten M. A diffusion tensor imaging tractography atlas for virtual in vivo dis-sections // *Cortex*. 2008. Vol. 44 (8). P. 1105–1132. doi: 10.1016/j.cortex.2008.05.004.
18. Калашникова Л.А. Когнитивные нарушения и деменция при цереброваскулярных заболеваниях // *Нервные болезни*. 2005. № 2. С. 36–40. [Kalashnikova L.A. Cerebrovascular Disease, Cognitive Impairment and Dementia. *Neurological disorders*, 2005, No. 2, pp. 36–40. (In Russ.)].
19. Фокин В.А., Одинак М.М., Шамрей В.К. и др. Возможности количественной диффузионной тензорной магнитно-резонансной трактографии в диагностике неопухолевых заболеваний головного мозга // *Вестн. Рос. Воен.-мед. акад.* 2009. № 3. С. 145–150. [Fokin V.A., Odinak M.M., Shamrei V.K. et al. Diffusion tensor magnetic resonance imaging tractography in diagnostics of non-tumor neurodegenerative diseases // *Vestnik Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii [Bulletin of Russian Military medical Academy]*, 2009, No. 3, pp. 145–150. (In Russ.)].
20. Liu J., Liang P., Yin L. et al. White Matter Abnormalities in Two Different Subtypes of Amnesic Mild Cognitive Impairment // *PLoS One*. 2017. Vol. 12 (1). doi: 10.1371/journal.pone.0170185.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 18.04.2019 г.

Контакт: Левашкина Ирина Михайловна, levashkina ldc@yandex.ru

Сведения об авторах:

Левашкина Ирина Михайловна — врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2; e-mail: levashkina ldc@yandex.ru;
Серебрякова Светлана Владимировна — доктор медицинских наук, зав. кабинетом магнитно-резонансной томографии Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2; e-mail: medicine@arcegm.spb.ru;

Тихомирова Ольга Викторовна — доктор медицинских наук, зав. отделом клинической неврологии и медицины сна Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России; 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2; e-mail: Tikhomirova2@rambler.ru;

Китайгородская Елена Викторовна — математик, независимый системный аналитик; e-mail: kitaygorodskaya@gmail.com.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2019 года.

Подписные индексы:

Агентство «Роспечать» 57991

ООО «Агентство „Книга-Сервис”» 42177