

УДК 616.831-005.1-036.11-036.1-073.756.8:681.31

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ МИКРО- И МАКРОСТРУКТУРНЫХ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С КЛИНИЧЕСКИМ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СТАТУСОМ БОЛЬНЫХ В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА**

**А. А. Кулеш<sup>1\*</sup>, В. Е. Дробаха<sup>2</sup>, В. В. Шестаков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Пермский государственный медицинский университет им. академика Е. А. Вагнера,

<sup>2</sup>Городская детская клиническая больница № 15, г. Пермь, Россия

## **CORRELATION BETWEEN MICRO- AND MACRO-STRUCTURAL CEREBRAL MAGNETORESONANCE INDICES AND CLINICAL-FUNCTIONAL STATUS OF PATIENTS WITH ACUTE ISCHEMIC STROKE**

**A. A. Kulesh<sup>1\*</sup>, V. E. Drobakha<sup>2</sup>, V. V. Shestakov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Perm State Medical University named after E. A. Wagner,

<sup>2</sup>City Children's Clinical Hospital №15, Perm, Russian Federation

---

**Цель.** Оценить взаимосвязь микро- и макроструктурных церебральных магнитно-резонансных показателей с клиническим и функциональным статусом больных в остром периоде ишемического инсульта.

**Материалы и методы.** 103 пациентам в остром периоде ишемического инсульта проводилось комплексное МРТ-обследование головного мозга, включающее оценку морфометрических показателей и фракционной анизотропии (ФА) 10 зон, в том числе 5 трактов белого вещества. Полученные данные анализировались в контексте взаимосвязи с неврологическим, когнитивным и функциональным статусом больных.

**Результаты.** Выявлены различия ФА на стороне острого ишемического очага и в противоположном полушарии. Размер очага связан с тяжестью неврологического дефицита, когнитивным и функциональным статусом, но не с состоянием трактов. Площадь лейкоареоза и объем желудочковой системы ассоциированы с неврологическим, когнитивным и функциональным статусом, а также с микроструктурой таламуса, гиппокампа, передней ножки внутренней капсулы, цингулярного пучка, нижнего фронтально-окципитального пучка и мозолистого тела. Объем гиппокампа ассоциирован лишь с ФА цингулярного пучка, но не с клиническими данными.

**Выводы.** Полученные данные могут свидетельствовать об адаптивных механизмах, которые начинают реализовываться на микроструктурном уровне уже в острый период ишемического инсульта. Хроническое сосудистое поражение мозга представляется наиболее значимым фактором, влияющим на микроструктуру серого и белого вещества головного мозга и наравне с размером очага определяющим неврологический, когнитивный и функциональный статус у пациентов в острый период инсульта.

**Ключевые слова.** Фракционная анизотропия, ишемический инсульт, трактография, морфометрия.

**Aim.** To assess the correlation between micro and macrostructural cerebral magnetoresonance indices and clinical-functional status of patients with ischemic stroke in its acute period.

---

© Кулеш А. А., Дробаха В. Е., Шестаков В. В., 2015

e-mail: aleksey.kulesh@gmail.com

тел. 8 982 498 33 51

[Кулеш А. А. (\*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, доцент кафедры неврологии с курсом нейрореабилитологии ДПО; Дробаха В. Е. – врач-рентгенолог; Шестаков В. В. – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой неврологии с курсом нейрореабилитологии ДПО].

**Materials and methods.** One hundred and three patients in the acute period of ischemic stroke underwent complex MRT study of the brain with assessment of morphometric indices and fractional anisotropy (FA) of 10 zones including 5 tracts of white substance. The obtained data were analyzed in context of correlation with neurological, cognitive and functional status of patients.

**Results.** Differences in fractional anisotropy on the side of acute ischemic stroke and in the opposite hemisphere were revealed. The focus size is connected with the severity of neurological deficit, cognitive and functional status, but not with the status of tracts. Leucoareosis area and ventricular system volume are associated with neurological, cognitive and functional status as well as with the microstructure of thalamus, hippocampus, anterior limb of internal capsule, cingulate fascicle, frontooccipital fascicle and corpus callosum. The volume of hippocampus is associated only with FA of cingulate fascicle, but not with clinical data.

**Conclusions.** The obtained data can testify adaptive mechanisms, which can start realizing at the microstructural level already in the acute period of ischemic stroke. Chronic vascular cerebral injury is the most significant factor influencing microstructure of gray and white substance of the brain along with the focal size determining neurological, cognitive and functional status in acute stroke patients.

**Key words.** Fractional anisotropy, ischemic stroke, tractography, morphometry.

## ВВЕДЕНИЕ

Показано, что метод диффузионно-тензорного изображения (ДТИ) может быть использован для оценки целостности трактов белого вещества головного мозга после инсульта [1]. Диффузионно-тензорные показатели, в первую очередь фракционная анизотропия (ФА) кортикоспинального тракта на различных уровнях, рассматриваются в качестве потенциальных биомаркеров поражения двигательных путей головного мозга и двигательного восстановления [2–5]. Комплексных исследований целостности основных трактов белого вещества, а также микроструктурных изменений серого вещества головного мозга в ассоциации с макроструктурными церебральными и клиническими параметрами в остром периоде инсульта в изученной нами литературе не обнаружено.

*Цель исследования* – оценить взаимосвязь микро- и макроструктурных церебральных магнитно-резонансных показателей с клиническим и функциональным статусом больных в остром периоде ишемического инсульта.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованы 103 пациента (61 мужчина (59 %) и 42 женщины (41 %)) в острый пери-

од ишемического инсульта в возрасте от 28 до 89 лет. Средний возраст составил  $64,8 \pm 11,04$  г.

Стандартизация оценки неврологического статуса выполнялась с помощью шкалы инсульта Национального института здоровья (NIHSS) при поступлении в стационар и при выписке. Оценка глобального когнитивного статуса проводилась при помощи краткой шкалы оценки психического статуса (MMSE) и Монреальской шкалы оценки когнитивных функций (MoCA) при выписке. Отдельные познавательные функции оценивались при помощи батареи лобных тестов (FAB), теста рисования часов (ТРЧ), семантической вербальной беглости (СВБ), таблиц Шульте (ТШ) и теста пяти слов (ТПС). Функциональный статус изучался при помощи индекса мобильности Ривермид (ИМР) и модифицированной шкалы Ренкина (МШР) при выписке.

МРТ-обследование проводилось на магнитном томографе GE Healthcare Brivo MR 355 с напряженностью магнитного поля 1,5 Т. Алгоритм сканирования включал в себя импульсные последовательности  $T_2$ ,  $T_1$ , FLAIR, диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) со значением  $b$ -фактора, равным 0 и  $1000 \text{ с/мм}^2$  в аксиальной плоскости,  $T_1$  в сагиттальной плоскости, а также последовательности высокого разрешения сильно

взвешенной по  $T_1$  – Ax 3D T1 FSPGR BRAVO (256×256, Slice thickness 1,2 мм, NEX = 1, FOV24.0, FA-12) [13, 15].

Постпроцессинговая обработка (вычисление объемных показателей) производилась на рабочей станции Advantage Workstation 4.6 с использованием программного пакета приложений Volume Share 5. Исследовались следующие МР-морфометрические показатели: объем головного мозга ( $V_m$ ), объем желудочковой системы головного мозга ( $V_j$ ), площадь лейкоареоза ( $S_d$ ), размер очага инфаркта ( $S_o$ ) и объем гиппокампов ( $V_p$ ).

Для оценки трактов и вычисления значений ФА получили ДТИ всех пациентов с использованием до 25 направлений измерения. Результаты были обработаны в программе OsiriX v3.6.1 с использованием приложения DTmap для построения карт ФА, приложения ADCmap для вычисления показателей измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), а также программы 3D Slicer4.4 для трехмерного построения трактов головного мозга.

В анализ вошли показатели, полученные в остром ишемическом очаге, скорлупе, таламусе, гиппокампе, колоне, теле и валике мозолистого тела (МТ), передней (ПНВК) и задней (ЗНВК) ножках внутренней капсулы, цингулярном пучке (ЦП), верхнем продольном пучке (ВПП), нижнем фронтоокипитальном пучке (НФОП), а также в этих зонах на симметричных участках. Величина площади измеряемого участка ФА находилась в пределах от 0,1–0,3 см<sup>2</sup> и зависела от анатомических характеристик тракта [6–9].

Статистическая обработка проводилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 8.0. Сравнительный анализ двух независимых групп по количественному признаку выполнялся с помощью  $U$ -критерия Манна–Уитни. Дисперсионный анализ проводился с использованием  $F$ -критерия Фишера; корреляционный анализ изученных показателей – с использованием непараметрического метода Спирмена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первый инсульт перенесли 83 пациента (81 %), повторный ишемический инсульт – 20 больных (19 %). Согласно критериям TOAST атеротромботический инсульт был выявлен у 60 пациентов (58 %), лакунарный – у 20 (19 %), кардиоэмболический – у 23 (23 %). Была проанализирована локализация ишемического очага, и установлено, что в теменной доле он встречался в 52 (50 %) случаях, в затылочной – в 14 (13,6 %), в височной – в 10 (9,7 %), в лобной – в 2 (1,9 %), в таламусе – в 7 (6,8 %), в скорлупе – в 4 (3,9 %), в теменно-затылочной зоне – в 2 (1,9 %), в теменно-височной зоне – в 1 (1 %), в височно-затылочной зоне – в 2 (1,9 %), в лобно-височно-затылочной зоне – в 1 (1 %), в мозжечке – в 2 (1,9 %), в стволе мозга – в 6 (5,8 %).

Латерализация справа была выявлена в 47 (46 %) случаях, слева – в 53 (51 %), с обеих сторон – в 3 (3 %).

По степени лейкоареоза значение шкалы Fazekas 1 балл было у 82 (80 %) пациентов, 2 балла – у 9 (8 %), 3 балла – у 12 (10 %).

Анализ макроструктурных и морфометрических показателей головного мозга пациентов представлен в табл. 1.

Общая характеристика ФА на стороне очага поражения и в симметричной зоне противоположного полушария представлена в табл. 2.

Как указано в табл. 2, на стороне очага поражения была выявлена более низкая ФА в зонах скорлупы, гиппокампа и ВПП. На противоположной стороне отмечалась более низкая ФА в зонах таламуса, ПНВК, ЗНВК и НФОП. Различий в ФА в зоне ЦП между сторонами выявлено не было (рисунок). Данную иллюстрацию можно рассматривать также в качестве усредненного «трактографического профиля» мозга пациента. Указанные результаты согласуются с данными, полученными нами ранее при исследовании меньшей группы больных [10, 11].

Таблица 1

**Макроструктурные и морфометрические характеристики**

Показатель	Минимум; максимум	Среднее значение	25%-ный и 75%-ный квартили
<i>Характеристика ишемического очага</i>			
Общее количество ишемических очагов	1; 27	7	2; 13
Количество острых ишемических очагов	0; 3	1	1; 1
$S_{\text{о}}, \text{мм}^2$	5; 121	15	10; 30
Измеряемый коэффициент диффузии очага	0; 0,005	0,001	0; 0,001
<i>Локализация</i>			
Количество пораженных долей головного мозга	1; 4	1	1; 1
<i>Лейкоареоз</i>			
$S_{\text{л}}, \text{мм}^2$	7; 1911	89	23; 321
<i>Морфометрические показатели</i>			
$V_{\text{л}}, \text{мм}^3$	1006; 1572	1279	1173; 1397
$V_{\text{к}}, \text{мм}^3$	10; 126	44	29; 62
$V_{\text{п}}, \text{мм}^3$	3,1; 10,8	6,7	5,4; 8,2

Таблица 2

**Общая характеристика ФА на стороне очага поражения и в симметричной зоне противоположного полушария**

Область	ФА ипсилатерально очагу			ФА контралатерально очагу			<i>p</i>
	Me	25 %	75 %	Me	25 %	75 %	
Скорлупа	0,246	0,197	0,342	0,375	0,307	0,492	< 0,001
Таламус	0,319	0,272	0,367	0,274	0,217	0,355	< 0,001
Гиппокамп	0,233	0,187	0,377	0,339	0,304	0,397	0,008
ПНВК	0,464	0,394	0,539	0,268	0,193	0,445	0,002
ЗНВК	0,636	0,553	0,683	0,490	0,417	0,577	< 0,001
ЦП	0,515	0,436	0,577	0,654	0,596	0,711	0,42
ВПП	0,428	0,386	0,487	0,523	0,422	0,583	0,002
НФОП	0,489	0,425	0,558	0,453	0,396	0,523	0,002

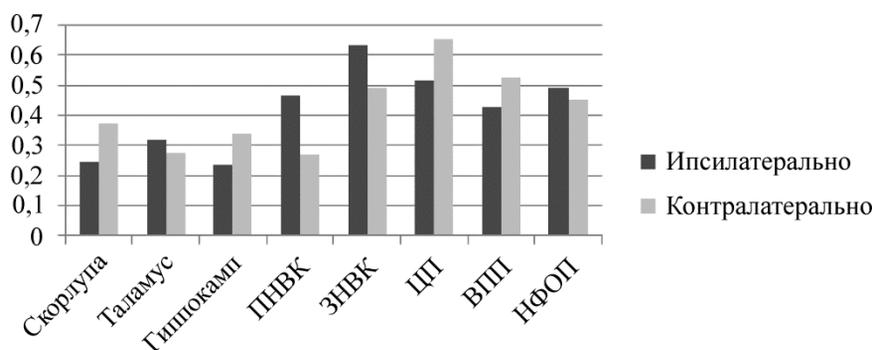


Рис. Показатели ФА в исследованных зонах на стороне ишемического очага и контралатерально

Нами был выполнен корреляционный анализ макро-, микроструктурных и клинических данных, результаты которого представлены в табл. 3 и 4.

Как отражено в табл. 3 и 4, возраст пациентов был прямо ассоциирован с размером лейкоареоза, желудочков и обратно связан с ФА в зонах обоих таламусов, контралатеральной ПНВК, ипсилатерального НФОП и колена МТ. Примечательно, что связи возраста с объемом гиппокампа выявлено не было. Степень неврологического дефицита при поступлении была связана с размером очага, лейкоареоза и желудочков и обратно коррелировала с ФА ипсилатерального НФОП, колена и валика МТ. Схожие взаимосвязи определялись и для степени неврологического дефицита при выписке.

Результат МоСА был связан с размером лейкоареоза и желудочков, обратно коррелировал с ФА контралатерального стриатума и ЗНВК и прямо с ФА контралатерального ЦП и инсилатерального НФОП. Схожий профиль корреляций отмечался и для MMSE, FАВ, ТРЧ и СВБ за тем исключением, что результат лобной батареи коррелировал также с ФА валика МТ.

Таким образом, тяжесть инсульта, а также результаты глобальных и доменных тестов были ассоциированы с размером очага, лейкоареоза и желудочков. Исключение составила МоСА, которая не коррелировала с размером очага. Данный факт может говорить о том, что, несмотря на высокую чувствительность в диагностике сосудистых когнитивных нарушений, данная шкала не отражает «вклада» самого инсульта в развитие

Таблица 3

**Результаты корреляционного анализа морфометрических и клинических данных**

Характеристика обследуемой группы	Морфометрические показатели				
	$S_0$	$S_1$	$V_*$	$V_*$	$V_r$
Возраст	<i>US</i>	$r = 0,38$ $p = 0,001$	<i>US</i>	$r = 0,32$ $p = 0,004$	<i>US</i>
НИН-1	$r = 0,29$ $p = 0,008$	$r = 0,29$ $p = 0,02$	<i>US</i>	$r = 0,28$ $p = 0,02$	<i>US</i>
НИН-2	$r = 0,22$ $p = 0,04$	$r = 0,37$ $p = 0,002$	<i>US</i>	$r = 0,38$ $p = 0,0008$	<i>US</i>
МоСА	<i>US</i>	$r = -0,29$ $p = 0,015$	<i>US</i>	$r = -0,50$ $p = 0,00001$	<i>US</i>
MMSE	$r = -0,41$ $p = 0,0003$	$r = -0,32$ $p = 0,005$	<i>US</i>	$r = -0,47$ $p = 0,00001$	<i>US</i>
FAB	$r = -0,33$ $p = 0,006$	$r = -0,31$ $p = 0,009$	<i>US</i>	$r = -0,50$ $p = 0,00001$	<i>US</i>
ТРЧ	$r = -0,32$ $p = 0,009$	$r = -0,37$ $p = 0,002$	<i>US</i>	$r = -0,50$ $p = 0,00001$	<i>US</i>
СВБ	<i>US</i>	$r = -0,31$ $p = 0,012$	<i>US</i>	$r = -0,37$ $p = 0,015$	<i>US</i>
ТПС	<i>US</i>	<i>US</i>	<i>US</i>	<i>US</i>	<i>US</i>
ТШ	$r = 0,42$ $p = 0,0005$	$r = 0,35$ $p = 0,004$	<i>US</i>	$r = 0,33$ $p = 0,005$	<i>US</i>
ИМР	$r = -0,31$ $p = 0,007$	$r = -0,33$ $p = 0,013$	<i>US</i>	$r = -0,29$ $p = 0,022$	<i>US</i>
МШР	$r = 0,41$ $p = 0,00006$	$r = 0,37$ $p = 0,002$	<i>US</i>	$r = 0,30$ $p = 0,001$	<i>US</i>

Примечание: *US* – недостоверно.

Таблица 4

**Результаты корреляционного анализа ФА,  
морфометрических и клинических данных**

Показатель	Зоны интереса																				
	Очаг		Стриатум		Таламус		Гиппокамп		ПНВК		ЗНВК		ЦП		ВПП		НФОП		МТ		
	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	И	К	КО- ЛЕ- НО	ТЕ- ЛО	ВА- ЛИК
Возраст	0	0	0	0	-	-	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0	0
NIHSS-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	-	-
NIHSS-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	-
MoCA	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-	0	+	0	0	+	0	0	0	0
MMSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	+	0	0	+	0	0	0	0
FAB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	+	0	0	+	0	0	0	+
ТРЧ	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	+	0	0	0	0
СВБ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0		0	0	0	0	0	0	0
ТПС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	+	+	0	0	0
ТШ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0
ИМР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0	0	+
МШР	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	0	0	-
Общее количество очагов	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Количество ОИО	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+	0	0
ИКД	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_o$	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_d$	0	0	0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	0	0
$V_n$	0	0	0	0	+	+	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$V_x$	0	0	0	0	0	0	+	+	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	-	0	-
$V_r$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0

Примечание: И – ипсилатерально; К – контралатерально; «+» – положительная корреляционная зависимость (критерий Спирмена) с уровнем статистической значимости менее 0,05; «-» – отрицательная корреляционная зависимость (критерий Спирмена) с уровнем статистической значимости менее 0,05; 0 – взаимосвязь статистически не значима.

познавательного дефицита, а преимущественно свидетельствует о хроническом поражении мозга, т.е. освещает церебральную предрасположенность. Наиболее стойкий паттерн макро- и микроструктурных взаимосвязей отмечен для MMSE, FAB и ТРЧ. Интересно, что несмотря на типичные ассоциации с макроструктурными показателями результат ТШ из микроструктурных зон коррелировал лишь с контралатеральным ЦП. Напротив, ТПС не был ассоциирован с макроструктурными показателями, но положительно коррелировал с ФА обоих ЦП и НФОП.

Показатели функционального статуса при выписке ИМР и МШР были ассоциированы с размером очага, лейкоареоза и желудочков. Также отмечались корреляции их с ФА ипсилатерального НФОП и валика МТ. МШР была также ассоциирована с ФА ипсилатеральной ЗНВК.

Анализируя взаимосвязи между макро- и микроструктурными МР-показателями, мы пришли к парадоксальному выводу, что ни общее количество очагов, ни число острых ишемических повреждений не связаны с состоянием трактов, за исключением ипсилатеральной ПНВК

и колена МТ. Интересно также, что размер очага не был связан с ФА ни одной из зон. При этом площадь лейкоареоза коррелировала с ФА ипсилатеральных таламуса, ПНВК, НФОП с обеих сторон, а также коленом МТ. Объем желудочковой системы оказывал наибольшее влияние на микроструктуру трактов, а именно ЦП, НФОП, колена и валика МТ. Примечательно, что как размер внутренней гидроцефалии, так и степень атрофии мозга в целом были ассоциированы со снижением ФА гиппокампов. Объем мозга коррелировал также с ФА таламусов. Интересно, что объем гиппокампа был связан лишь с ФА контралатерального ЦП, но не с ФА в зоне гиппокампа.

### Выводы

Таким образом, мы выявили различия ФА на стороне очага и в противоположном полушарии. Разность показателей анизотропии можно рассматривать в рамках дефицитарного и компенсаторного подходов. Учитывая разнонаправленность данных изменений, можно предположить несколько механизмов: 1) вторичное нарушение микроструктуры скорлупы, таламуса и дезинтеграция ВПП вследствие дезорганизующего эффекта очага; 2) развитие очага уже в скомпромитированной (например, за счет хронической гипоперфузии или микроэмболизации) зоне мозга; 3) компенсаторное возрастание анизотропии в зонах таламуса, ножек внутренней капсулы и НФОП как структур, принимающих на себя функционирование нейронной сети на стороне очага. Аналогичным образом можно трактовать повышение ФА скорлупы, таламуса и ВПП противоположного полушария. Так или иначе, полученные данные могут свидетельствовать об адаптивных механизмах, которые начинают реализовываться на

микроструктурном уровне уже в острый период ишемического инсульта [12–15].

Размер очага представляется значимым фактором, в первую очередь в отношении тяжести неврологического дефицита, когнитивных и функциональных нарушений, но при этом не связан с состоянием трактов.

Площадь лейкоареоза и объем желудочковой системы являются синергичными параметрами, оказывающими влияние на неврологический, когнитивный и функциональный статус, а также мультикорреляционно связанными с микроструктурой таламуса, гиппокампа, ПНВК, ЦП, НФОП и МТ.

Объем гиппокампа был ассоциирован лишь с ФА ЦП, но не с клиническими данными. Это подтверждает точку зрения о том, что в отрыве от клинической картины и состояния нейрональной сети в целом данный фактор диагностически не значим. В заключение следует сказать, что проведенное исследование позволило осветить лишь основные взаимосвязи макро- и микроструктурных церебральных МР-параметров. Тем не менее даже совокупность рассмотренных показателей может иметь предиктивную ценность и применяться в прогностических моделях.

### Библиографический список

1. Дробаха В. Е., Кулеш А. А., Шестаков В. В. Диагностические возможности диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии в остром периоде ишемического инсульта. *Врач-аспирант* 2015; 2: 69: 77–83.

2. Кулеш А. А., Дробаха В. Е., Шестаков В. В. Магнитно-резонансная морфометрия головного мозга у пациентов с постинсультными когнитивными нарушениями. *Пермский медицинский журнал* 2014; 31 (3): 39–45.

3. *Beaulieu C., Jobansen-Berg H., Behrens T.* Diffusion MRI: from quantitative measurement to in vivo neuroanatomy. London: Elsevier, 2009; 490.
4. *Chen J. L., Schlaug G.* Resting state interhemispheric motor connectivity and white matter integrity correlate with motor impairment in chronic stroke. *Frontiers in neurology* 2013; 4: 1–7.
5. *Fernández-Andújar M., Doornink F., Dacosta-Aguayo R.* Remote thalamic microstructural abnormalities related to cognitive function in ischemic stroke patients. *Neuropsychology* 2014; 28 (6): 984–996.
6. *Guo J., Wang S., Li R.* Cognitive impairment and whole brain diffusion in patients with carotid artery disease and ipsilateral transient ischemic attack. *Neurol. Res.* 2014; 36 (1): 41–46.
7. *Li Y., Wu P., Liang F., Huang W.* The microstructural status of the corpus callosum is associated with the degree of motor function and neurological deficit in stroke patients. *PLoS ONE* 2015; 104: e0122615.
8. *Lindenberg R., Renga V., Zhu L. L.* Structural integrity of corticospinal motor fibers predicts motor impairment in chronic stroke. *Neurology* 2010; 74: 280–287.
9. *MacIntosh B. J., Grabam S. J.* Magnetic resonance imaging to visualize stroke and characterize stroke recovery: a review. *Front. Neurol.* 2013; 4: 60.
10. *Rong D., Zhang M., Ma Q.* Corticospinal tract change during motor recovery in patients with medulla infarct: a diffusion tensor imaging study. *BioMed Research International* 2014, available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/524096>.
11. *Schaechter J. D., Fricker Z. P., Perdue K. L.* Microstructural status of ipsilesional and contralesional corticospinal tract correlates with motor skill in chronic stroke patients. *Hum. Brain. Mapp.* 2009; 30: 3461–3474.
12. *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. *Front Hum. Neurosci.* 2015; 9: 195.
13. *Stinear C. M., Barber P. A., Smale P. R.* Functional potential in chronic stroke patients depends on corticospinal tract integrity. *Brain* 2007; 130(Pt 1): 170–180.
14. *Takenobu Y., Hayashi T., Moriwaki H., Nagatsuka K., Naritomi H., Fukuyama H.* Motor recovery and microstructural change in rubro-spinal tract in subcortical stroke. *NeuroImage* 2014; Clinical 4: 201–208.
15. *Yu C., Zhu C., Zhang Y.* A longitudinal diffusion tensor imaging study on wallerian degeneration of corticospinal tract after motor pathways stroke. *Neuroimage* 2009; 47: 451–458.

Материал поступил в редакцию 1.08.2015