

<https://doi.org/10.17816/PED10129-36>

ВОЗМОЖНОСТИ МР-МОРФОМЕТРИИ И ДИФфуЗИОННО-ТЕНЗОРНОЙ МРТ В ДИАГНОСТИКЕ ДВУСТОРОННИХ СПАСТИЧЕСКИХ ФОРМ ДЕТСКОГО ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ПАРАЛИЧА

© В.С. Львов¹, А.В. Поздняков^{1,4,5}, Д.О. Иванов¹, А.И. Ташилкин¹, Л.М. Макаров^{1,2},
О.Ф. Позднякова^{1,4,5}, Т.В. Мелашенко¹, Л.Б. Бессонова³, П.А. Попов³, В.Ю. Александрович¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России;

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»;

³ СПбГБУЗ «Детская городская больница святой Ольги», Санкт-Петербург;

⁴ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург;

⁵ ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России

Для цитирования: Львов В.С., Поздняков А.В., Иванов Д.О., и др. Возможности МР-морфометрии и диффузионно-тензорной МРТ в диагностике двусторонних спастических форм детского церебрального паралича // Педиатр. – 2019. – Т. 10. – № 1. – С. 29–36. <https://doi.org/10.17816/PED10129-36>

Поступила: 26.12.2018

Одобрена: 07.02.2019

Принята к печати: 20.02.2019

Цель исследования – определение возможностей магнитно-резонансной морфометрии и диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии в диагностике двусторонних спастических форм детского церебрального паралича. В основную группу были включены 33 ребенка от 1 года до 4 лет 5 мес. с двусторонними спастическими формами детского церебрального паралича, в группу сравнения – 11 детей, не имевших двигательных нарушений. Обследуемым выполняли магнитно-резонансную морфометрию, диффузионно-тензорную магнитно-резонансную томографию. Проводили сравнение объемов структур головного мозга и показателей диффузии между группами. Выявлены достоверные различия ($p < 0,05$) в объемах правого бокового, третьего желудочков, белого вещества, таламусов, бледного шара, скорлупы, гиппокампов. Обнаружены также достоверные различия ($p < 0,05$) показателей диффузии в таламусах и задних ножках внутренних капсул. Продемонстрирована корреляция выявленных изменений с клинической картиной заболевания. Полученные данные демонстрируют высокую диагностическую ценность магнитно-резонансной морфометрии и диффузионно-тензорной магнитно-резонансной томографии в выявлении двусторонних спастических форм детского церебрального паралича.

Ключевые слова: детский церебральный паралич; магнитно-резонансная томография; воксель-базируемая морфометрия; диффузионно-тензорная МРТ.

CAPABILITIES OF VOXEL BASED MORPHOMETRY AND DIFFUSION TENSOR IMAGING IN DIAGNOSTICS OF BILATERAL SPASTIC FORMS OF CEREBRAL PALSY

© V.S. Lvov¹, A.V. Pozdnyakov^{1,4,5}, D.O. Ivanov¹, A.I. Tashilkin¹, L.M. Makarov^{1,2},
O.F. Pozdnyakova^{1,4,5}, T.V. Melashenko¹, L.B. Bessonova³, P.A. Popov³, V.Yu. Aleksandrovich¹

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Russia;

² Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg, Russia;

³ Saint Olga City Children's Hospital, Saint Petersburg, Russia;

⁴ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

⁵ A.M. Granov Russian Research Center for Radiology and Surgical Technologies, Saint Petersburg, Russia

For citation: Lvov VS, Pozdnyakov AV, Ivanov DO, et al. Capabilities of voxel based morphometry and diffusion tensor imaging in diagnostics of bilateral spastic forms of cerebral palsy. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2019;10(1):29-36. <https://doi.org/10.17816/PED10129-36>

Received: 26.12.2018

Revised: 07.02.2019

Accepted: 20.02.2019

The aim of the study was to determine the capabilities of magnetic resonance morphometry and diffusion tensor imaging in the diagnosis of bilateral spastic forms of cerebral palsy in children. The main groups were 33 children aged from 1 year to 4 years 5 months. with bilateral spastic forms of cerebral palsy, the comparison group – 11 children who did not have movement disorders. The patients underwent magnetic resonance morphometry, diffusion tensor imaging.

A comparison was made between the volumes of brain structures and diffusion values between groups. Significant differences ($p < 0,05$) were found in the volumes of the right lateral, 3rd ventricles, white matter, thalamuses, globus pallidus, putamen, hippocampus. Significant differences ($p < 0,05$) in diffusion values in the thalamuses and in the posterior limb of internal capsules were also identified. The correlation of the identified changes with the clinic of the disease was demonstrated. The obtained data demonstrate wide possibilities and high diagnostic value in the detection of bilateral spastic forms of cerebral palsy in children.

Keywords: cerebral palsy; magnetic resonance imaging; voxel-based morphometry; diffusion tensor imaging.

Основной метод нейровизуализации в диагностике детского церебрального паралича (ДЦП) — магнитно-резонансная томография (МРТ). При этом МРТ не только используется как дополнительный метод подтверждения диагноза и выполняется с целью оценки соответствия структурной патологии головного мозга клинической картине заболевания, но и играет большую роль в проведении дифференциальной диагностики между ДЦП и заболеваниями со схожей симптоматикой (например, с нейродегенеративными заболеваниями нервной системы с дебютом в раннем возрасте) [1, 2].

Примерно у 20 % пациентов не удается выявить патологических изменений при проведении МРТ с использованием рутинных (стандартных) импульсных последовательностей [11], а обнаруженные при этом изменения обладают ограниченной диагностической и, особенно, прогностической ценностью [7]. В связи с этим повышенный интерес специалистов вызывают новые разновидности МРТ, к которым относятся магнитно-резонансная (МР) морфометрия и диффузионно-тензорная (ДТ) МРТ. Однако ранее в практической медицине для определения изменений объема структур головного мозга МР-морфометрию применяли только у взрослых (обычно у пациентов с нейродегенеративными заболеваниями) и у детей старше 5 лет в комплексной диагностике эпилепсии [5]. В доступной литературе были найдены лишь ограниченные данные по этому направлению и только при исследовании пациентов старше 5 лет с гемипаретической формой ДЦП [12].

Целью исследования стало определение возможностей МР-морфометрии и диффузионно-тензорной МРТ в диагностике двусторонних спастических форм детского церебрального паралича у детей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали 33 ребенка в возрасте от 1 года до 4 лет 5 мес., перенесших перинатальное гипоксически-ишемическое поражение центральной нервной системы, проходивших лечение в Санкт-Петербургском государственном

педиатрическом медицинском университете. Диагноз «детский церебральный паралич» был установлен в соответствии с критериями МКБ-10. У всех пациентов оценивали двигательные нарушения по шкале больших моторных функций (*англ.* gross motor function classification system, GMFCS). Критерии включения в исследование: верифицированный диагноз двустороннего спастического ДЦП; критерии исключения: верифицированное генетическое, нейрометаболическое заболевание, пороки развития центральной нервной системы (ЦНС). Всем детям кроме стандартной МРТ на томографе Philips Ingenia с индукцией магнитного поля 1,5 Тл были выполнены исследования с использованием специальной импульсной последовательности — 3D-T1. МР-морфометрия была проведена 20 детям, дополнительно выполняли ДТ-МРТ — 25. По обоим методам были обследованы 12 детей. У трех пациентов при стандартной МРТ патология не была выявлена, у 27 — обнаружено повреждение перивентрикулярного белого вещества в виде глиозных или кистозно-глиозных изменений. В трех случаях выявлено уменьшение объема белого вещества больших полушарий мозга. Группу сравнения составили 12 детей, не имевших двигательных нарушений, в возрасте от 1 года 3 мес. до 4 лет 4 мес. Для автоматического вычисления объема мозговых структур использовали пакет Freesurfer версии 6.0. Анализировали 3D-T1-последовательности. Сравнивались объемы боковых, третьего и четвертого желудочков, таламусов, базальных ганглиев, гиппокампов, мозжечка, серого вещества прецентральной и постцентральной извилин, белого вещества гемисфер головного мозга. Постпроцессинговый анализ ДТ-МРТ выполнен с использованием программного обеспечения FiberTrack (Philips). Регионы интереса — передняя и задняя части задней ножки внутренних капсул (ЗНВК), семиовальные центры, колено и валик мозолистого тела, таламусы, головка хвостатого ядра. Были рассчитаны количественные показатели — фракционная анизотропия (ФА), коэффициент диффузии (*англ.* apparent diffusion coefficient, ADC). Статистическая обработка полученных данных и анализ результатов исследования проводили на персональном ком-

пьютере с использованием программ Microsoft Office Excel 7.0 и Statistica 10.0. Использовался непараметрический *U*-критерий Манна–Уитни ввиду того, что распределение показателей существенно отличалось от нормального. Для проведения корреляционного анализа применяли непараметрический критерий Спирмена. Различия считали достоверными при значении $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

МР-морфометрия. Были выявлены следующие различия объемов структур головного мозга у детей с ДЦП по сравнению с контрольной группой (табл. 1).

1. Объем белого вещества полушарий обеих гемисфер был достоверно меньше в группе детей с ДЦП ($p = 0,04$ для правой и левой гемисферы).

2. Объем правого бокового желудочка ($p = 0,04$), третьего желудочка ($p = 0,04$) у детей с ДЦП был достоверно больше по сравнению с контрольной группой.

3. Объем таламусов с двух сторон ($p = 0,001$ для правого, $p = 0,003$ для левого таламуса), бледного шара с двух сторон ($p = 0,01$ для правой, $p = 0,006$ для левой гемисферы соответственно), скорлупы с двух сторон ($p = 0,01$ для правой, $p = 0,02$ для левой гемисферы соответственно) был достоверно меньше у детей с ДЦП.

Таблица 1 / Table 1

Средние значения (медиана) объема мозговых структур у детей с ДЦП и детей группы сравнения
Mean values (median) of the volume of brain structures in children with cerebral palsy and children of the comparison group

Анатомическая структура / Anatomical structure	Объем структуры, мм ³		<i>p</i>
	Пациенты с ДЦП (<i>n</i> = 20) / Structure volume, mm ³ Children with CP (<i>n</i> = 20)	Группа сравнения (<i>n</i> = 7) / Structure volume, mm ³ Children of the comparison group (<i>n</i> = 7)	
Белое вещество, правая гемисфера / White matter, right hemisphere	126 901,15	164 719,1	0,04
Белое вещество, левая гемисфера / White matter, left hemisphere	123 735,748	162 564,9	0,04
Правый боковой желудочек / Right lateral ventricle	8009,2	4704,8	0,04
Левый боковой желудочек / Left lateral ventricle	9434,5	3604,9	0,07
Третий желудочек / 3 rd ventricle	1063	690,9	0,04
Правый таламус / Right thalamus	4054,95	6380,7	0,001
Левый таламус / Left thalamus	4391,4	6630,3	0,003
Правый бледный шар / Right globus pallidus	1118,2	1655,3	0,01
Левый бледный шар / Left globus pallidus	1202,7	1612,5	0,006
Скорлупа, правая / Right putamen	4013,05	4929,3	0,01
Скорлупа, левая / Left putamen	4075,1	4821,5	0,02
Правый гиппокамп / Right hippocampus	2419	3270,2	0,001
Левый гиппокамп / Left hippocampus	2424,2	3131,1	0,03

Примечание. ДЦП — детский церебральный паралич.

Note. CP – cerebral palsy.

Таблица 2 / Table 2

Средние значения (медиана) количественных показателей диффузии (ФА, ADC) у детей с ДЦП и детей группы сравнения

Mean values (median) of diffusion values (FA, ADC) in children with cerebral palsy and children of the comparison group

Анатомическая структура / Anatomical structure	Пациенты с ДЦП ($n = 25$) / Children with CP ($n = 25$)	Группа сравнения ($n = 5$) / Children of the comparison group ($n = 5$)	p
Правый таламус, ФА / Right thalamus, FA	0,22	0,231	0,78
Правый таламус, ADC / Right thalamus, ADC	0,921	0,853	0,008
Левый таламус, ФА / Left thalamus, FA	0,2065	0,258	0,03
Левый таламус, ADC / Left thalamus, ADC	0,9165	0,854	0,003
ЗНБК, прав. задн. часть, ФА / Right PLIC, posterior part, FA	0,5595	0,649	0,02
ЗНБК, прав. задн. часть, ADC / Right PLIC, posterior part, ADC	0,876	0,823	0,06
ЗНБК, лев. задн. часть, ФА / Left PLIC, posterior part, FA	0,579	0,676	0,05
ЗНБК, лев. задн. часть, ADC / Left PLIC, posterior part, ADC	0,9095	0,829	0,004
ЗНБК, прав. передн. часть, ФА / Right PLIC, anterior part, FA	0,53	0,572	0,33
ЗНБК, прав. передн. часть, ADC / Right PLIC, anterior part, ADC	0,852	0,847	0,35
ЗНБК, лев. передн. часть, ФА / Left PLIC, anterior part, FA	0,589	0,598	0,05
ЗНБК, лев. передн. часть, ADC / Left PLIC, anterior part, ADC	0,8585	0,833	0,01

Примечание. ДЦП — детский церебральный паралич; ЗНБК — задние ножки внутренних капсул; ФА — фракционная анизотропия; ADC — коэффициент диффузии.

Note. ADC – apparent diffusion coefficient; CP – cerebral palsy; FA – fractional anisotropy; PLIC – posterior limb of internal capsule.

4. Отмечалось уменьшение объема гиппокампов у детей с ДЦП ($p = 0,001$ для правого и $p = 0,03$ для левого).

Был также проведен корреляционный анализ между тяжестью двигательных нарушений (уровнем по GMFCS) и объемом структур головного мозга. При корреляционном анализе были выявлены следующие закономерности:

- 1) обратная сильная корреляционная связь между уровнем по GMFCS и объемом скорлупы ($r = -0,77$ для правой, $r = -0,7$ для левой гемисферы);
- 2) обратная сильная корреляционная связь между уровнем по GMFCS и объемом бледного шара ($r = -0,77$ для правой, $r = -0,89$ для левой гемисферы);
- 3) обратная умеренная корреляционная связь между уровнем по GMFCS и объемом правой прецентральной извилины ($r = -0,58$).

Диффузионно-тензорная МРТ. В результате статистического сравнения были обнаружены следующие различия (табл. 2).

1. ADC в таламусах с обеих сторон был выше у пациентов с ДЦП ($p = 0,008$ и $p = 0,003$ для правого и левого таламуса соответственно).
2. Показатель ФА в левом таламусе был достоверно выше у пациентов в группе сравнения ($p = 0,03$), при этом статистически значимых различий ФА для правого таламуса выявлено не было ($p = 0,78$).
3. Отмечалось снижение ФА в задней половине задних ножек внутренних капсул с двух сторон у детей с ДЦП ($p = 0,02$ и $p = 0,05$ для левой и правой гемисферы соответственно).
4. ADC в задней половине задней ножки левой внутренней капсулы был достоверно выше у детей с ДЦП ($p = 0,004$). Отмечалась тенден-

Таблица 3 / Table 3

Средние значения (медиана) количественных показателей диффузии (ФА, ADC) в задней ножке внутренних капсул у детей группы сравнения

Mean values (median) of diffusion values (FA, ADC) in PLIC in children of the comparison group

Сторона, показатель / Side, diffusion value	Передняя часть ЗНБК / PLIC, anterior part	Задняя часть ЗНБК / PLIC, posterior part	<i>p</i>
Правая гемисфера, ФА / Right hemisphere, FA	0,572	0,649	0,03
Правая гемисфера, ADC / Right hemisphere, ADC	0,833	0,829	0,84
Левая гемисфера, ФА / Left hemisphere, FA	0,598	0,676	0,69
Левая гемисфера, ADC / Left hemisphere, ADC	0,845	0,847	0,42

Примечание. ЗНБК — задняя ножка внутренних капсул; ФА — фракционная анизотропия; ADC — коэффициент диффузии.
Note. ADC — apparent diffusion coefficient; FA — fractional anisotropy; PLIC — posterior limb of internal capsule.

Таблица 4 / Table 4

Средние значения (медиана) количественных показателей диффузии (ФА, ADC) в задней ножке внутренних капсул у детей с ДЦП

Mean values (median) of diffusion values (FA, ADC) in PLIC in children with cerebral palsy

Сторона, показатель / Side, diffusion value	Передняя часть ЗНБК / PLIC, anterior part	Задняя часть ЗНБК / PLIC, posterior part	<i>P</i> -значение / P-value
Правая гемисфера, ФА / Right hemisphere, FA	0,53	0,5595	0,23
Правая гемисфера, ADC / Right hemisphere, ADC	0,8525	0,9115	0,02
Левая гемисфера, ФА / Left hemisphere, FA	0,589	0,579	0,61
Левая гемисфера, ADC / Left hemisphere, ADC	0,8585	0,9095	0,02

Примечание. ЗНБК — задняя ножка внутренних капсул; ФА — фракционная анизотропия; ADC — коэффициент диффузии.
Note. ADC — apparent diffusion coefficient; FA — fractional anisotropy; PLIC — posterior limb of internal capsule.

ция к подобным различиям в правой гемисфере ($p = 0,06$).

5. Наблюдалось снижение ФА в передней половине задней ножки левой внутренней капсулы у детей с ДЦП ($p = 0,05$) и повышение показателя ADC ($p = 0,01$). При этом показатели ФА и ADC в передней половине задней ножки правой внутренней капсулы между группами достоверно не различались.

Достоверных различий ФА и ADC в области колена и валика мозолистого тела, семиовальных центров, головок хвостатых ядер выявлено не было.

При сравнении показателей диффузии в передней и задней половинах ЗНБК у детей группы сравнения обнаружены следующие закономерности (табл. 3):

- 1) ФА в задней половине ЗНБК справа была достоверно выше, чем в передней половине ($p = 0,03$). Показатель ADC при этом достоверно не различался;
- 2) при этом в левой ЗНБК показатели диффузии достоверно не различались.

У детей с ДЦП выявлены следующие различия (табл. 4):

- 1) показатель ФА в передней и задней половинах ЗНБК с двух сторон статистически не различался ($p = 0,23$ и $p = 0,61$ для правой и левой гемисферы соответственно);
- 2) при этом отмечалось увеличение ADC в задних половинах внутренних капсул с двух сторон (правая — $p = 0,02$; левая — $p = 0,02$).

При корреляционном анализе была установлена прямая умеренная корреляционная связь между уровнем по GMFCS и показателем ADC в задней части правой ЗНБК ($r = 0,59$). Других статистически значимых корреляций выявить не удалось.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленные в результате МР-морфометрии увеличенные объемы желудочков, уменьшенный объем белого вещества полушарий мозга были характерны для детей с ДЦП. Подобное положение подтверждают данные литературы [9], однако они основаны на результатах стандартной МРТ, без использования МР-морфометрии. Не было обнаружено результатов по исследованию у детей с двусто-

ронными спастическими формами ДЦП подобными методиками. Кроме этого, в литературе не удалось найти упоминаний об уменьшении таламусов у детей с двусторонними спастическими формами ДЦП. По нашим данным, при морфометрическом исследовании таламусов было отмечено уменьшение их объема у пациентов с ДЦП ($p = 0,001$ для правого, $p = 0,003$ для левого таламуса).

Морфометрические исследования выявили уменьшение объемов скорлупы и бледного шара с двух сторон у детей с ДЦП. Подобные изменения, но при исследовании пациентов с гемиплегической формой ДЦП, были отмечены Scheck et al. [12], выявившими уменьшение данных структур на стороне, контралатеральной парезу. Следует предположить, что вывод З.А. Заляловой и др. [4] о том, что атрофические изменения скорлупы являются причиной экстрапирамидных расстройств у больных ДЦП, не может быть полностью верным. В нашем исследовании все дети имели клинику пирамидных нарушений, но экстрапирамидных расстройств отмечено не было. По данным корреляционного анализа имеется обратная связь между объемом этих структур и тяжестью двигательного дефицита. Что касается изменений объемов хвостатых ядер, то в нашем исследовании не было найдено достоверных различий в объеме данной структуры у детей с ДЦП по сравнению с контрольной группой.

Следует отметить, что в процессе проведения МР-морфометрии у пациентов с ДЦП было установлено статистически значимое уменьшение объемов гиппокампов с двух сторон ($p = 0,001$ для правого и $p = 0,03$ для левого). Взаимосвязь повреждения данной структуры в перинатальном периоде с последующим развитием эпилепсии (которая в популяции больных ДЦП значительно превышает среднепопуляционные значения и приближается к 40 %) может стать предметом дальнейших исследований. В данном исследовании эпилепсией страдали 7 пациентов (35 %).

По данным, полученным с помощью диффузионно-тензорной МРТ, было выявлено изменение показателей диффузии (уменьшение ФА и увеличение ADC) в задней части ЗНБК с двух сторон у детей с ДЦП. Согласно представлениям об анатомии проводящих путей головного мозга передняя часть ЗНБК содержит преимущественно двигательные пути (кортикоспинальный и кортиконуклеарный), в то время как в задней части ЗНБК проходят преимущественно чувствительные, таламокортикальные пути. По современным представлениям о миелинизации проводящих путей, в ЦНС в процессе внутриутробного развития чувствительные пути

миелинизируются раньше двигательных, что, возможно, обуславливает более высокую чувствительность к гипоксии данных регионов мозга. Частично это предположение подтверждается работами исследователей [3, 8, 10, 13], которые высказывают предположение о ведущей роли повреждения именно чувствительных путей в развитии двигательных нарушений. В то же время в литературе приводятся противоречивые результаты исследований. До сих пор нет единого мнения о зонах интереса, отображающих клиническую картину изменений.

Полученные нами данные также подтверждают вышеприведенное предположение, выявляя повышение ADC в таламусах. Следует отметить, что роль чувствительных путей и таламусов как первичных центров чувствительности в развитии двигательных нарушений недооценивается.

При сравнении показателей диффузии в передней и задней частях ЗНБК у детей с ДЦП отмечалось увеличение ADC преимущественно в задней части ЗНБК. Это подтверждает, что показатели диффузии в ЗНБК неоднородны.

При этом по данным корреляционного анализа была выявлена прямая умеренная корреляционная связь между тяжестью двигательных нарушений и показателем ADC в задней части правой ЗНБК. Других значимых корреляций обнаружено не было, что не соотносится с данными предыдущих исследований.

Изменение показателей диффузии в передней части ЗНБК (моторных путях) было выявлено только для левой гемисферы, что лишь частично соотносится с данными предыдущих исследований [3, 6, 10].

Таким образом, данные, полученные при использовании МР-морфометрии и диффузионно-тензорной МРТ, необходимо рассматривать как характерные изменения у детей с ДЦП. Взаимосвязь развития пирамидных нарушений с повреждением структур (таламусов, скорлупы, бледного шара, чувствительных путей) требует дальнейшего исследования.

С помощью МР-морфометрии и диффузионно-тензорной МРТ возможна не только комплексная диагностика заболевания, но и изучение патогенетических основ ДЦП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Кузенкова Л.М., и др. Детский церебральный паралич у детей. Клинические рекомендации. – М., 2016. [Baranov AA, Namazova-Baranova LS, Kuzenkova LM, et al. Detskiy tserebral'nyy paralich u detey. Klinicheskie rekomendatsii. Moscow; 2016. (In Russ.)]
2. Батышева Т.Т. Детский церебральный паралич и эпи-

- лепсия. Современные подходы к лечению. Методические рекомендации № 27. – М.: Научный центр детской психоневрологии, 2016. [Batysheva TT. Detskiiy tserebral'nyy paralich i epilepsiya. Sovremennyye podkhody k lecheniyu. Metodicheskie rekomendatsii № 27. Moscow: Nauchnyy tsentr detskooy psikhonevrologii; 2016. (In Russ.)]
3. Ермолина Ю.В. Особенности структурных и функциональных изменений головного мозга у детей со спастическими формами церебрального паралича: Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. – М., 2016. [Ermolina YV. Osobennosti strukturnykh i funktsional'nykh izmeneniy golovnogo mozga u detey so spasticheskimi formami tserebral'nogo paralicha. [dissertation] Moscow; 2016. (In Russ.)]
 4. Залялова З.А., Аюпова В.А. Клинико-МРТ анализ пациентов с гиперкинетической формой детского церебрального паралича // Неврологический вестник. Журнал им. В.М. Бехтерева. – 2004. – Т. 36. – № 1–2. – С. 21–26. [Zalalova ZA, Ayupova VA. A clinical MRT-examination of patients with a hyperkinetic form of infantile cerebral paralysis. *Nevrologicheskii vestnik*. 2004;36(1-2):21-26. (In Russ.)]
 5. Тотолян А.А. Магнитно-резонансная томография в оценке структурных изменений головного мозга у пациентов с локализационно-обусловленной эпилепсией, комплексный подход // Лучевая диагностика и терапия. – 2013. – Т. 4. – № 4. – С. 42–50. [Totolyan AA. MRI in assessment of structural brain lesions in patients with localization-related epilepsy, complex approach. *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2013;(4):42-50. (In Russ.)]
 6. Faria AV, Zhang J, Oishi K, et al. Atlas-based analysis of neurodevelopment from infancy to adulthood using diffusion tensor imaging and applications for automated abnormality detection. *Neuroimage*. 2010;52(2):415-428. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.04.238>.
 7. Holmefur M, Kits A, Bergstrom J, et al. Neuroradiology can predict the development of hand function in children with unilateral cerebral palsy. *Neurorehabil Neural Repair*. 2013;27(1):72-78. <https://doi.org/10.1177/1545968312446950>.
 8. Hoon AH, Jr., Stashinko EE, Nagae LM, et al. Sensory and motor deficits in children with cerebral palsy born preterm correlate with diffusion tensor imaging abnormalities in thalamocortical pathways. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51(9):697-704. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03306.x>.
 9. Korzeniewski SJ, Birbeck G, DeLano MC, et al. A systematic review of neuroimaging for cerebral palsy. *J Child Neurol*. 2008;23(2):216-227. <https://doi.org/10.1177/0883073807307983>.
 10. Lee JD, Park HJ, Park ES, et al. Motor pathway injury in patients with periventricular leucomalacia and spastic diplegia. *Brain*. 2011;134(Pt 4):1199-1210. <https://doi.org/10.1093/brain/awr021>.
 11. Numata Y, Onuma A, Kobayashi Y, et al. Brain magnetic resonance imaging and motor and intellectual functioning in 86 patients born at term with spastic diplegia. *Dev Med Child Neurol*. 2013;55(2):167-172. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12013>.
 12. Scheck SM, Pannek K, Fiori S, et al. Quantitative comparison of cortical and deep grey matter in pathological subtypes of unilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2014;56(10):968-975. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12461>.
 13. Trivedi R, Agarwal S, Shah V, et al. Correlation of quantitative sensorimotor tractography with clinical grade of cerebral palsy. *Neuroradiology*. 2010;52(8):759-765. <https://doi.org/10.1007/s00234-010-0703-8>.

◆ Информация об авторах

Виктор Сергеевич Львов – аспирант кафедры медицинской биофизики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: viktorlvov@list.ru.

Александр Владимирович Поздняков – д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики, заведующий кафедрой медицинской биофизики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург; профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург; руководитель лаборатории нейровизуализации, ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

◆ Information about the authors

Viktor S. Lvov – Postgraduate Student of the Department of Medical Biophysics. St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: viktorlvov@list.ru.

Aleksandr V. Pozdnyakov – MD, PhD, Dr Med Sci, Professor, Head of Department of Radiology, Head of the Department of Medical Biophysics, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; Professor, Head, Department of Radiology and Radiotherapy, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia; Med. Head of the “Neuroimaging Laboratory”, A.M. Granov Scientific Center, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

◆ Информация об авторах

Дмитрий Олегович Иванов – д-р мед. наук, профессор, ректор. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Алексей Иванович Тащилкин – ассистент кафедры медицинской биофизики, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Леонид Михайлович Макаров – канд. техн. наук, доцент факультета информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», Санкт-Петербург; доцент кафедры медицинской биофизики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: viktorlvov@list.ru.

Ольга Федоровна Позднякова – канд. мед. наук, доцент кафедры медицинской биофизики, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург; доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург; научный сотрудник лаборатории нейровизуализации, ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Татьяна Владимировна Мелашенко – канд. мед. наук, невролог отделения реанимации и интенсивной терапии новорожденных. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Любовь Борисовна Бессонова – заведующая психоневрологическим отделением для детей с органическим поражением центральной нервной системы, психики и опорно-двигательного аппарата. СПбГБУЗ «Детская городская больница св. Ольги» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Павел Александрович Попов – канд. мед. наук, заведующий кабинетом МРТ. СПбГБУЗ «Детская городская больница св. Ольги» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

Виктория Юрьевна Александрович – студентка, 5-й курс, педиатрический факультет. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург. E-mail: Radiology@mail.ru.

◆ Information about the authors

Dmitry O. Ivanov – MD, PhD, Dr Med Sci, Professor, Rector. St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Alexey I. Tashilkin – Assistant of the Department of Medical Biophysics, radiologist of the Department of Radiology. St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Leonid M. Makarov – PhD (Engineering Sciences), Bonch-Bruевич St. Petersburg State University of Telecommunications, Saint Petersburg, Russia; Associate Professor, Department of Medical Biophysics, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: viktorlvov@list.ru.

Ol'ga F. Pozdnyakova – MD, PhD, Dr Med Sci, Radiologist of Department of Radiology, Associate Professor of the Department of Medical Biophysics, St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Radiotherapy, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia; Research Fellow of the "Neuroimaging Laboratory", A.M. Granov Scientific Center, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Tat'yana V. Melashenko – MD, PhD, Neurologist of Neonatal Intensive Care Unit. St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Lyubov' B. Bessonova – Head, Neurological Department. Saint Olga City Children's Hospital, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Pavel A. Popov – MD, PhD, Head, MRI Unit. Saint Olga City Children's Hospital, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.

Viktoriya Yu. Aleksandrovich – 5th year student of Pediatric faculty. St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Radiology@mail.ru.