

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616.89-008.434.3

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-36-40>

© Сергеев А.М., Поздняков А.В., Атаманова Э.Э., Позднякова О.Ф., Малеков Д.А., Гречаный С.В., 2021 г.

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ У ДЕТЕЙ С КОГНИТИВНОЙ ЭПИЛЕПТИФОРМНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИЕЙ, ВЫЯВЛЕННЫЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОТОННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А. М. Сергеев, А. В. Поздняков, Э. Э. Атаманова, О. Ф. Позднякова, Д. А. Малеков, С. В. Гречаный
Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Когнитивная эпилептиформная дезинтеграция — это комплекс нарушений высших психических функций у человека с патологическим паттерном ЭЭГ, свойственным для эпилепсии. При этом у пациента не должно быть эпилептических приступов или допускаются единичные приступы в анамнезе. Изучение биомаркеров рассматриваемого патологического состояния с помощью протонной магнитно-резонансной спектроскопии как показателей, поддающихся объективной оценке и измерению, определяет практическую актуальность этой работы.

Целью исследования было определение диагностической значимости метаболитов N-ацетиласпартата, холина и креатина по данным протонной магнитно-резонансной спектроскопии в головном мозге у детей с когнитивной эпилептиформной дезинтеграции.

Материалы и методы. С помощью рутинной МРТ и протонной магнитно-резонансной спектроскопии исследовано 6 детей с диагнозом «задержка психоречевого развития, когнитивная эпилептиформная дезинтеграция» в возрасте от 2 до 7 лет (5 мальчиков и 1 девочка). У пациентов была выполнена ЭЭГ с последующим определением типичного для КЭД паттерна. В анамнезе у всех детей отсутствовали характерные для эпилепсии приступы.

Результаты. Выявлено снижение соотношения концентрации NAA/Cr ($p < 0,05$) в височных долях с обеих сторон и гиппокампе справа, за счет снижения концентрации N-ацетиласпартата. Также отмечается увеличение соотношения концентрации Cho/NAA ($p < 0,05$) в гиппокампе справа, и увеличение соотношения концентрации Cho/Cr ($p < 0,05$) в префронтальной коре, постцентральных извилинах с обеих сторон, височной доле справа и области внутренней капсулы слева за счет повышения концентрации холина.

Заключение: полученные данные позволяют предположить, что изменение нейрометаболизма в холинергической системе у детей с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией возможно вызваны повреждением нейрональных связей преимущественно в гиппокампе и височных долях.

Ключевые слова: эпилепсия, эпилептические энцефалопатии, первазивные расстройства развития, магнитно-резонансная томография, протонная магнитно-резонансная спектроскопия

Контакт: Сергеев Артур Михайлович, artur5ergeeff@yandex.ru

© Sergeev A.M., Pozdnyakov A.V., Atamanova E.E., Pozdnyakova O.F., Malekov D.A., Grechaniy S.V., 2021

METABOLIC CHANGES IN THE BRAIN IN CHILDREN WITH COGNITIVE EPILEPTIFORM DISINTEGRATION REVEALED BY PROTON MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY

Artur M. Sergeev, Alexander V. Pozdnyakov, Elina E. Atamanova, Olga F. Pozdnyakova, Damir A. Malekov, Severin V. Grechaniy

St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

Introduction. Cognitive epileptiform disintegration is a complex of disorders of higher mental functions in a person with a pathological EEG pattern characteristic of epilepsy. In this case, the patient should not have epileptic seizures or a history of single seizures is allowed. The study of biomarkers of the pathological condition under consideration using proton magnetic resonance spectroscopy as indicators that can be objectively evaluated and measured determines the practical relevance of this work.

The aim of the study was to determine the diagnostic significance of the metabolites of N-acetylaspartate, choline and creatine according to proton magnetic resonance spectroscopy in the brain of children with cognitive epileptiform disintegration.

Material and methods. Using routine MRI and proton magnetic resonance spectroscopy, 6 children with a diagnosis of mental retardation, cognitive epileptiform disintegration at the age of 2 to 7 years (5 boys; 1 girl) were examined. The patients underwent EEG followed by identification of a typical QED pattern. All children had no history of seizures characteristic of epilepsy.

Results. A decrease in the ratio of the concentration of NAA/Cr ($p < 0,05$) in the temporal lobes on both sides and the hippocampus on the right was revealed, due to a decrease in the concentration of N-acetylaspartate. There is also an increase in the Cho/NAA concentration ratio ($p < 0,05$) in the hippocampus on the right, and an increase in the Cho/Cr concentration ratio ($p < 0,05$) in the

prefrontal cortex, postcentral gyri on both sides, the temporal lobe on the right and the region of the inner capsule on the left, by increasing the concentration of choline.

Conclusions. The obtained data suggest that changes in neurometabolism in the cholinergic system in children with cognitive epileptiform disintegration are possibly caused by damage to neuronal connections, mainly in the hippocampus and temporal lobes.

Key words: epilepsy, epileptic encephalopathy, pervasive developmental disorders, magnetic resonance imaging, proton magnetic resonance spectroscopy

Contact: *Sergeev Arthur Mikhailovich, artur5ergeeff@yandex.ru*

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сергеев А.М., Поздняков А.В., Атаманова Э.Э., Позднякова О.Ф., Малеков Д.А., Гречаний С.В. Метаболические изменения в головном мозге у детей с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией, выявленные с помощью протонной магнитно-резонансной спектроскопии // *Лучевая диагностика и терапия*. 2021. Т. 12, № 2. С. 36–40, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-36-40>.

Conflict of interests: the author stated that there is no potential conflict of interests.

For citation: Sergeev A.M., Pozdnyakov A.V., Atamanova E.E., Pozdnyakova O.F., Malekov D.A., Grechaniy S.V. Metabolic changes in the brain in children with cognitive epileptiform disintegration revealed by proton magnetic resonance spectroscopy // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021. Vol. 12, No. 2. P. 36–40, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2021-12-2-36-40>.

Введение. Когнитивная эпилептиформная дезинтеграция (КЭД) — это комплекс нарушений высших психических функций у человека с патологическим паттерном ЭЭГ, свойственным эпилепсии. При этом у пациента не должно быть эпилептических приступов или допускаются единичные приступы в анамнезе [1, с. 4]. Данная нозологическая форма заболевания относится к одной из форм эпилептической энцефалопатии.

Согласно Л. Р. Зенкову (2007), частота КЭД составляет от 3 до 5% от всех эпилептических расстройств и 5% от всех психиатрических больных. По данным исследования среди детей до 14 лет, общим количеством до 113 пациентов, обследованных в институте детской неврологии и эпилепсии имени Святителя Луки, КЭД встречался в 5,7% случаев, то есть у 6–7 детей [1, с. 11].

По мнению К. Ю. Мухина [1, с. 5] существуют несколько причин развития КЭД у детей. К ним относятся: генетические нарушения созревания головного мозга; нарушение нейрональных связей, вызванных эпилептиформной активностью, а также патология головного мозга пренатального развития. Подобные причины приводят к нарушению когнитивных (внимание, память, реакция, способность к обучению), коммуникативных и речевых функций (сенсорная и моторная афазия) у детей.

Эпилептические энцефалопатии без эпилептических приступов являются значительной проблемой для дифференциальной диагностики. Основным методом диагностики у детей с эпилептическими энцефалопатиями в клинической практике является ЭЭГ, а МРТ используется в большей степени для выявления грубых органических повреждений головного мозга. В доступной литературе встречаются единичные работы [2, с. 39], посвященные использованию протонной магнитно-резонансной спектроскопии (H^+ МРС) в диагностике различных форм эпилептических энцефалопатий. А. Р. Parker и соавт. обследовали всего 11 детей от 2 до 12 лет с эпилептической энцефалопатией. Для диагностики авторы использовали H^+ МРС, но среди этой группы пациентов КЭД не рассматривался.

Магнитно-резонансная спектроскопия — это один из методов нейровизуализации, позволяющий *in vivo* определить концентрацию и соотношения метаболитов в головном мозге человека. Большинство работ по H^+ МРС, как правило, посвящены выявлению классических форм эпилепсии. Работы, посвященные использованию H^+ МРС у пациентов с КЭД, практически отсутствуют.

Целью исследования было определение возможностей протонной магнитно-резонансной спектроскопии у детей с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией.

Материалы и методы. Обследовано 6 детей с диагнозом «задержка психоречевого развития, когнитивная эпилептиформная дезинтеграция» в возрасте от 2 до 7 лет (средний возраст 4,3 года (σ 1,966)); 5 мальчиков и 1 девочка). У пациентов была выполнена ЭЭГ с последующим определением типичного для КЭД паттерна. В анамнезе у всех детей отсутствовали характерные для эпилепсии приступы.

Для выявления органических поражений головного мозга использовалась рутинная МРТ головного мозга (томограф фирмы Philips Ingenia 1,5 Тл) с применением стандартных протоколов исследования головного мозга у детей (программы 3D T1-ВИ, T2-ВИ, Flair ВИ). Для определения концентрации нейрометаболитов в тканях головного мозга у пациентов использовалась мультивоксельная магнитно-резонансная спектроскопия (программа PRESS) в префронтальной коре, области постцентральных извилин, височных долей, внутренней капсуле и гиппокампах с обеих сторон. Перед обследованием проводилась полная шиммирование и локальное шиммирование. Назначение резонансных линий отдельных метаболитов основывалось на сигнале NAA и Cr с химическим сдвигом, установленными на 2,0 и 3,0 ppm. Спектры анализировали с использованием предоставленного производителем программного пакета для протонной магнитно-резонансной спектроскопии (Philips Intelli Space Portal). Статистическая обработка и анализ полученных результатов исследования проводились с помо-

щью программ «Microsoft Office Excel» и «IBM SPSS Statistics 23».

Результаты и их обсуждение. У пациентов с КЭД при рутинной МРТ только у одного ребенка были выявлены признаки незавершенной миелинизации в области боковых желудочков. У остальных пациентов структурные изменения в головном мозге отсутствовали.

Данные протонной магнитно-резонансной спектроскопии, полученные с помощью программы PRESS, представлены в таблице.

У пациентов с КЭД отсутствует классическая картина эпилепсии, что требует более подробного обследования данной группы пациентов. Для обоснования назначения противоэпилептических препаратов, которые иногда используются при лечении КЭД и дают положительный эффект, требуется подтверждение изменения не только данных ЭЭГ, но и других методов нейровизуализации, к которым относится протонная магнитно-резонансная спектроскопия.

Т а б л и ц а

Средние значения соотношения метаболитов с референтными данными (n=10). Для сравнения использовался индекс U Манна–Уитни

Table

Average values of the ratio of metabolites with reference data (n=10). For comparison, the Mann–Whitney U-Test was used

Область головного мозга	Naa/Cr (y)	Naa/Cr (y) группа сравнения, p	Cho/Naa (y)	Cho/Naa (y) группа сравнения, p	Cho/Cr (y)	Cho/Cr (y) группа сравнения, p
Префронтальная кора (справа)	1,75 (0,816)	2,01 (0,152) p=1,0	1,0 (0,509)	0,88 (0,204) p=1,0	1,48 (0,337)	0,99 (0,172) p=0,002
Префронтальная кора (слева)	1,72 (0,917)	2,13 (0,176) p=0,428	1,01 (0,584)	0,83 (0,231) p=0,713	1,51 (0,343)	1,01 (0,166) p=0,002
Постцентральная извилина (справа)	1,88 (0,64)	2,1 (0,188) p=0,562	0,93 (0,48)	0,81 (0,228) p=1,0	1,45 (0,432)	0,92 (0,187) p=0,007
Постцентральная извилина (слева)	1,93 (0,801)	2,01 (0,185) p=0,792	0,84 (0,443)	0,96 (0,236) p=0,181	1,38 (0,407)	0,89 (0,180) p=0,007
Височная доля (справа)	1,53 (0,408)	2,05 (0,19) p=0,016	1,15 (0,361)	0,86 (0,217) p=0,073	1,45 (0,52)	0,96 (0,287) p=0,042
Височная доля (слева)	1,46 (0,196)	1,93 (0,202) p=0,002	1,03 (0,242)	0,93 (0,254) p=0,492	1,43 (0,476)	1,01 (0,196) p=0,073
Гиппокамп (справа)	1,47 (0,605)	1,95 (0,205) p=0,118	1,28 (0,495)	0,81 (0,185) p=0,031	1,48 (0,673)	0,94 (0,173) p=0,073
Гиппокамп (слева)	1,41 (0,563)	2,13 (0,221) p=0,016	1,06 (0,196)	0,93 (0,249) p=0,368	1,37 (0,585)	0,95 (0,182) p=0,181
Внутренняя капсула (справа)	1,68 (0,499)	2,06 (0,231) p=0,93	0,88 (0,444)	0,82 (0,187) p=1,0	1,36 (0,301)	1,02 (0,175) p=0,022
Внутренняя капсула (слева)	1,66 (0,388)	1,93 (0,194) p=0,181	0,83 (0,366)	0,76 (0,211) p=0,492	1,28 (0,24)	0,98 (0,179) p=0,022

Как видно из таблицы, у пациентов с КЭД определяются значимые альтерации метаболизма в тканях головного мозга: снижение соотношения концентрации NAA/Cr ($p<0,05$) в височных долях с обеих сторон и гиппокампе справа, за счет снижения концентрации N-ацетиласпартата. Кроме этого, было обнаружено увеличение соотношения концентрации Cho/NAA ($p<0,05$) в гиппокампе справа, и увеличение соотношения концентрации Cho/Cr ($p<0,05$) в префронтальной коре, постцентральных извилинах с обеих сторон, височной доле справа и области внутренней капсулы слева, за счет повышения концентрации холина. По всем остальным показателям соотношения метаболитов находились в пределах нормальных величин и при сравнении с контрольной группой были статистически не значимы ($p>0,05$).

На рис. 1 и 2 представлены результаты изменения высоты пиков основных метаболитов у пациентов с КЭД различных локализаций.

При анализе полученных данных у пациентов с КЭД отмечалось снижение соотношения концентрации NAA/Cr за счет уменьшения концентрации N-ацетиласпартата в височных долях с обеих сторон и в гиппокампе слева, что может указывать на нейрональную дисфункцию в данных областях с последующими нарушениями функций. Подобные результаты были получены другими исследователями [2, с. 40]. Однако, стоит отметить, что данные результаты относятся только к некоторым формам эпилептической энцефалопатии, таким как синдром Леннокса–Гасто и атипичными синдромами, без учета метаболических изменений у пациентов с КЭД.

У детей с классическими формами эпилепсии отмечаются метаболические изменения в области эпилептического очага и височных отделах головного мозга, гиппокампе на стороне локализации эпилептического очага за счет снижения концентрации соотношения NAA/Cr [5, с. 668].

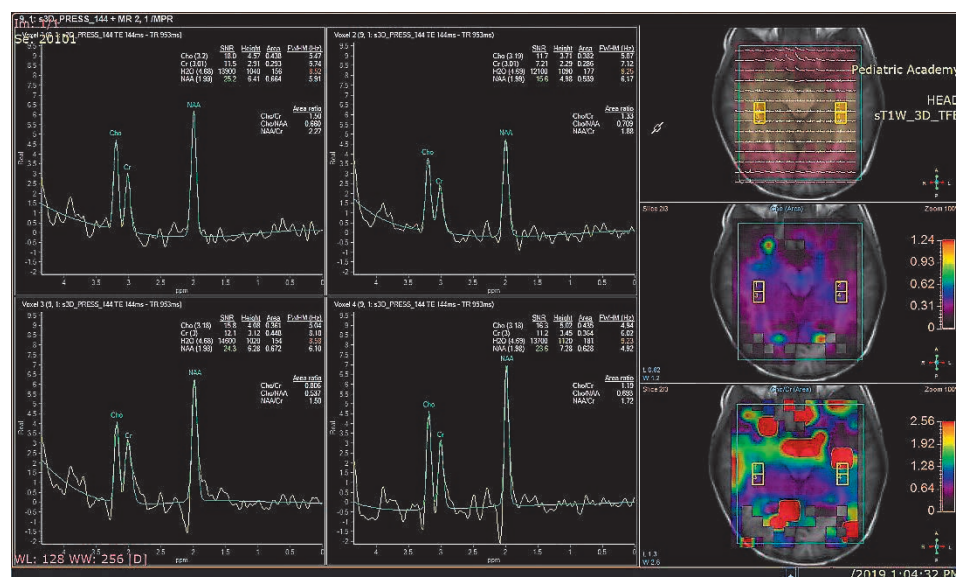


Рис. 1. H^+ МРС головного мозга пациента с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией, область исследования — височные доли с обеих сторон. Отмечаются снижение пика NAA и увеличение пика Cho, что является характерным паттерном для когнитивной эпилептиформной дезинтеграции

Fig. 1. H^+ MRS of the brain of a patient with cognitive epileptiform disintegration, the area of examination is the temporal lobes on both sides. There is a decrease in the NAA peak and an increase in the Cho peak, which is a characteristic pattern for cognitive epileptiform disintegration

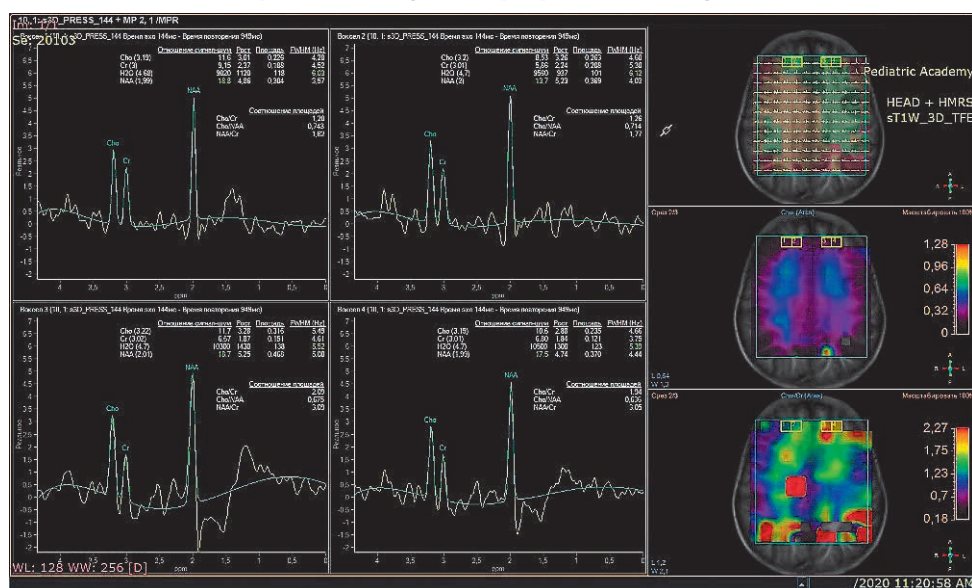


Рис. 2. H^+ МРС головного мозга пациента с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией, область исследования — префронтальная кора с обеих сторон. Отмечается увеличение пика Cho, что является характерным паттерном для когнитивной эпилептиформной дезинтеграции

Fig. 2. H^+ MRS of the brain of a patient with cognitive epileptiform disintegration, the area of study is the prefrontal cortex on both sides. There is an increase in the Cho peak, which is a characteristic pattern for cognitive epileptiform disintegration

В случае с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией присутствует постоянная эпилептиформная активность, приводящая к частичному или полному разрыву нейрональных связей в корковых центрах праксиса, гнозиса и речи, за счет, вероятно, истощения и дисбаланса нейромедиаторных систем [1, с. 7]. К тому же одним из звеньев эпилептиформной активности является функциональная разобщенность отдельных элементов гиппокампа, которые отвечают за упреждающее торможение и тор-

можение по типу обратной связи [4, с. 487]. По этой причине некоторые авторы [3, с. 35] отмечают, что в связи с тем, что в большинстве случаев у пациентов с эпилептиформной активностью, которым проводилась H^+ МРС головного мозга, отмечалась латеризация показателей со снижением соотношения концентрации NAA/Cr. В группе пациентов с КЭД также была отмечена латеризация показателей с уменьшением соотношения концентрации NAA/Cr в височных долях, но только у одного паци-

ента. В остальных случаях у пациентов с КЭД снижение соотношения концентрации NAA/Cr в височных долях имели двухсторонний характер.

Помимо снижения концентрации N-ацетиласпартата у обследованных пациентов с КЭД также было зафиксировано изменение соотношения концентрации Cho/Cr в префронтальной коре, области постцентральных извилин с обеих сторон, в височной доле справа и области внутренней капсулы слева, за счет увеличения концентрации холина. Метаболическая группа представлена не только холином, но также включает в себя ацетилхолин. Он, в свою очередь, является главным нейротрансмиттером, отвечающим за лимбическую и окололимбическую системы [6, с. 147]. Так как у пациентов с КЭД наблюдаются нарушения высших психических функций, возможно, это объясняет изменения соотношения

Cho/Cr в префронтальной коре и постцентральных извилинах с обеих сторон. Эти области участвуют в построении комплексных когнитивных схем, включающих всевозможные действия, выбор, контроль и регуляцию социального поведения и взаимодействия с другими единицами общества [7, с. 931].

Заключение. Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что изменение нейрометаболизма в холинергической системе у детей с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией возможно вызваны повреждением нейрональных связей преимущественно в гиппокампе и височных долях. Выявленные при помощи протонной магнитно-резонансной спектроскопии метаболические изменения у пациентов с когнитивной эпилептиформной дезинтеграцией могут быть использованы для дифференциальной диагностики от других форм эпилептической энцефалопатии.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Мухин К.Ю. Когнитивная эпилептиформная дезинтеграция: дефиниция, диагностика, терапия // *Русский журнал детской неврологии*. 2012. Т. 7, № 1. С. 3–20. [Mukhin K.Yu. Cognitive epileptiform disintegration: definition, diagnosis, therapy. *Russian Journal of Child Neurology*, 2012. Vol. 7, No. 1, pp. 3–20 (In Russ.).]
2. Parker A., Ferrie C., Keevil S., Newbold M., Cox T., Maisey M., Robinson R. Neuroimaging and spectroscopy in children with epileptic encephalopathies // *Archives of Disease in Childhood*. 1998. Vol. 79, No. 1. P. 39–43. doi: 10.1136/adc.79.1.39.
3. Cendes F., Knowlton R., Novotny E., Min L., Antel S., Sawrie S., Laxer K., Arnold D. Magnetic Resonance Spectroscopy in Epilepsy: Clinical Issues // *Epilepsia*. 2002. Vol. 43, P. 32–39. doi: 10.1046/j.1528-1157.2002.043s1032.x.
4. Cavazos J.E., Cross D.J. The role of synaptic reorganization in mesial temporal lobe epilepsy // *Epilepsy Behavior*. 2006. Vol. 8, No. 3. P. 483–493. doi: 10.1016/j.yebeh.2006.01.011.
5. Oz G., Alger J.R., Barker P.B., Bartha R., Bizzi A., Boesch C., Bolan P.J., Brindle K.M., Cudalbu C., Dinçer A., Dydak U., Emir U.E., Frahm J., González R.G., Gruber S., Gruetter R., Gupta R.K., Heerschap A., Henning A., Hetherington H.P., Howe F.A., Hüppi P.S., Hurd R.E., Kantarci K., Klomp D.W., Kreis R., Kruiskamp M.J., Leach M.O., Lin A.P., Luijten P.R., Marjańska M., Maudsley A.A., Meyerhoff D.J., Mountford C.E., Nelson S.J., Pamir M.N., Pan J.W., Peet A.C., Poptani H., Posse S., Pouwels P.J., Ratai E.M., Ross B.D., Scheenen T.W., Schuster C., Smith I.C., Soher B.J., Tkáč I., Vigneron D.B., Kauppinen R.A. MRS Consensus Group. Clinical proton MR spectroscopy in central nervous system disorders // *Radiology*. 2014. Vol. 270, No. 3. P. 658–679. doi: 10.1148/radiol.13130531.
6. Morgane P.J., Galler J.R., Mokler D.J. A review of systems and networks of the limbic forebrain/limbic midbrain // *Progress in Neurobiology*. 2005. Vol. 75, No. 2. P. 143–160. doi: 10.1016/j.pneurobio.2005.01.001.
7. Critchley H.D., Simmons A., Daly E.M., Russell A., van Amelsvoort T., Robertson D.M., Glover A., Murphy D.G. Prefrontal and medial temporal correlates of repetitive violence to self and others // *Biological Psychiatry*. 2000. Vol. 47, No. 10. P. 928–934; doi: 10.1016/s0006-3223(00)00231-6.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 15.06.2021 г.

Вклад авторов:

Вклад в концепцию и план исследования: А.М.Сергеев, А.В.Поздняков, С.В.Гречаный. Вклад в сбор данных: А.М.Сергеев, А.В.Поздняков, О.Ф.Позднякова, Э.Э.Атаманова, Д.А.Малеков, С.В.Гречаный. Вклад в анализ данных и выводы: А.М.Сергеев, А.В.Поздняков, С.В.Гречаный. Вклад в подготовку рукописи: А.М.Сергеев, А.В.Поздняков, С.В.Гречаный.

Сведения об авторах:

Сергеев Артур Михайлович — аспирант кафедры медицинской биофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: artur5ergeeff@yandex.ru; SPIN: 8187–8969; ORCID: 0000–0002–4348–4872;

Поздняков Александр Владимирович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением лучевой диагностики, заведующий кафедрой медицинской биофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; профессор кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; руководитель лаборатории нейровизуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М.Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: pozdnyakovalex@yandex.ru; SPIN: 1000–6408; ORCID ID 0000–0003–2817–0987;

Позднякова Ольга Федоровна — кандидат медицинских наук, доцент кафедры медицинской биофизики, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41; научный сотрудник лаборатории нейровизуализации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М.Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, Ленинградская ул., д. 70; e-mail: radiology@mail.ru; SPIN: 6186–4626; ORCID: 0000–0001–6977–757X;

Атаманова Элина Эльбековна — кандидат медицинских наук, врач-невролог, вертебролог медицинского центра «Доктрина», Санкт-Петербург, Россия; e-mail: ate-lel@mail.ru; SPIN: 4807–0441; ORCID: 0000–0002–2253–4105;

Малеков Дамир Асиятович — ассистент кафедры медицинской биофизики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: radiology@mail.ru; SPIN: 8804–4630; ORCID: 0000–0002–1358–4725;

Гречаный Северин Вячеславович — доктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой психиатрии и наркологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 194100, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2; e-mail: svgrechany@mail.ru; SPIN: 2836–8820; ORCID: 0000–0001–5967–4315.