



ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПОДАВЛЕНИЯ ВОДЫ МУЛЬТИВОКСЕЛЬНОЙ ПРОТОННОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПРИ ПОМОЩИ ФАНТОМОВ

© Артур Михайлович Сергеев, Александр Владимирович Поздняков,
Ольга Федоровна Позднякова, Владимир Иванович Прошин

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2

Контактная информация: Артур Михайлович Сергеев — аспирант кафедры медицинской биофизики и физики.
E-mail: artur5ergeeff@yandex.ru ORCID ID: 0000-0002-4348-4872 SPIN: 8187-8969

Для цитирования: Сергеев А.М., Поздняков А.В., Позднякова О.Ф., Прошин В.И. Оптимизация методики подавления воды мультिवоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии при помощи фантомов // Визуализация в медицине. 2023. Т. 5. № 4. С. 3–11.

Поступила: 04.09.2023

Одобрена: 18.10.2023

Принята к печати: 07.12.2023

Резюме. Введение. Протонная магнитно-резонансная спектроскопия позволяет определить изменения метаболических процессов в тканях головного мозга при различных заболеваниях центральной нервной системы. Однако следует отметить, что диагностические возможности протонной магнитно-резонансной спектроскопии зависят от качества подавления водного сигнала. Существуют различные методы подавления водного сигнала, но не всегда тот или иной метод позволяет получить убедительные данные. **Целью исследования** была оптимизация методики подавления воды мультिवоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии. **Материалы и методы:** для оптимизации методики мультिवоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии и выбора программы подавления H_2O проведено экспериментальное исследование на фантомах с использованием различных программ и параметров используемых последовательностей. Использовались программы STEAM и PRESS мультिवоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии. Технические параметры исследования: период повторения последовательности $TR=5000$ мс, время ожидания эхо-сигнала $TE=144$ мс, количество накоплений — 256, с локализации объемной сетки вокселей, равномерно распределенной по объему фантома, матрица 180×180 , размеры вокселей составили до $10 \times 10 \times 10$ мм. Методы подавления сигнала воды: Гаусс, CHESS и MOIST. **Результаты:** по полученным нами данным при сравнении максимальных и минимальных значений высоты пиков H_2O на оси ординат спектрограмм наилучшим методом подавления воды был MOIST, при этом последовательность протонной магнитно-резонансной спектроскопии STEAM несколько уступает последовательности PRESS. **Выводы:** таким образом, опытным путем была определена лучшая методика мультिवоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии для подавления сигнала от воды — PRESS с параметрами: $TE=144$ с, $TR=5000$ мс и подавлением сигнала H_2O методом MOIST.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография; протонная магнитно-резонансная спектроскопия; STEAM; PRESS; CHESS; MOIST.

OPTIMIZATION OF MULTIVOXEL PROTON MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY WATER SUPPRESSION TECHNIQUE USING PHANTOMS

© Arthur M. Sergeev, Alexander V. Pozdnyakov, Olga F. Pozdnyakova, Vladimir I. Proshin

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. Lithuania 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 194100

Contact information: Arthur M. Sergeev — Postgraduate student of the Department of Medical Biophysics and Physics.
E-mail: artur5ergeeff@yandex.ru ORCID ID: 0000-0002-4348-4872 SPIN: 8187-8969

For citation: Sergeev AM, Pozdnyakov AV, Pozdnyakova OF, Proshin VI. Optimization of multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy water suppression technique using phantoms. Visualization in medicine (St. Petersburg). 2023;5(4):3-11.

Received: 04.09.2023

Revised: 18.10.2023

Accepted: 07.12.2023

Abstract. Introduction. Proton magnetic resonance spectroscopy makes it possible to determine changes in metabolic processes in brain tissues in various diseases of the central nervous system. However, it should be noted that the diagnostic capabilities of proton magnetic resonance spectroscopy depend on the quality of water signal suppression. There are various methods of suppressing the water signal, however, one or another method does not always provide convincing data. **The aim** of the study was to optimize the water suppression technique of multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy. **Material and methods:** To optimize the technique of multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy and the choice of an H₂O suppression program, an experimental study was conducted on phantoms using various programs and parameters of the sequences used. The STEAM and PRESS programs of multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy were used. Technical parameters of the study: TR=5000 ms, TE=144ms, the number of accumulations is 256, with the localization of the volumetric voxel grid evenly distributed over the volume of the phantom, the matrix is 180×180, the voxel sizes were up to 10×10×10 mm. Water suppression methods: Gauss, CHESS and MOIST. **Results:** according to the data obtained by us, it follows that when comparing the maximum and minimum values of the height of H₂O peaks on the ordinate axis of the spectrograms, the best method of water suppression was MOIST, while the sequence of proton magnetic resonance spectroscopy STEAM is slightly inferior to the sequence PRESS. **Conclusions:** thus, the best multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy technique for suppressing the signal from water — PRESS with parameters has been experimentally determined: TE=144 s, TR=5000 ms and H₂O suppression by MOIST method.

Key words: magnetic resonance imaging; proton magnetic resonance spectroscopy; STEAM; PRESS; CHESS; MOIST.

ВВЕДЕНИЕ

Протонная магнитно-резонансная спектроскопия позволяет определить изменения метаболических процессов в тканях головного мозга при различных заболеваниях центральной нервной системы (ЦНС). Однако следует отметить, что диагностические возможности протонной магнитно-резонансной спектроскопии зависят от качества подавления водного сигнала.

Существуют различные методики подавления водного сигнала, такие как Гаусс, Chemical-shift-selective saturation (CHESS), Water suppression Enhanced through T1 effects (WET), Multiple Optimizations Insensitive Suppression Train (MOIST), Suppression of Water with Adiabatic-Modulated Pulses (SWAMP), Variable Power radiofrequency pulses with Optimized Relaxation delays (VAPOR). Все они отличаются друг от друга количественными и качественными изменениями импульсов, направленных на подавление H₂O, и не всегда тот или иной метод позволяет получить убедительные данные.

Таким образом, повышение эффективности метода мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии является актуальной научной задачей.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования была оптимизация методики подавления воды мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оптимизации методики мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии и выбора программы подавления H₂O проведено экс-

периментальное исследование на фантомах с использованием различных программ и параметров используемых последовательностей.

Для отработки методики подавления воды был выбран фантом фирмы Philips под названием Phantom Bottle с особым раствором Phantom Liquid 13 для настройки программ магнитно-резонансного томографа. Данный фантом представлял собой емкость размером 350×150×150 мм объемом 5000 мл (рис. 1).

Нами использовались программы STEAM и PRESS мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии. Технические параметры исследования: период повторения последовательности TR=5000 мс, время ожидания эхо-сигнала TE=144 мс, количество накоплений — 256



Рис. 1. Внешний вид фантома Phantom Bottle с раствором Phantom Liquid 13

Fig. 1. Appearance of the Phantom Bottle with Phantom Liquid 13 solution

с локализацией объемной сетки вокселей, равномерно распределенной по объему фантома, матрица 180×180 , размеры вокселей составили до $10 \times 10 \times 10$ мм. Методы подавления сигнала воды: Гаусс, CHESS и MOIST. Было проведено накопление сигнала в среднем около 8 минут (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе исследования было установлено, что вне зависимости от последовательности STEAM или PRESS с $TE = 144$ мс пик от сигнала H_2O большей своей частью всегда располагается выше базовой линии и локализуется на оси абсцисс в области 4,4–5,0 parts per million (ppm) (рис. 3, 4).

При этом подавление сигнала воды в вокселях на периферии сетки матрицы мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии было значительно хуже, чем в центральных вокселях. Соотношение сигнал/шум во всех полученных спектрограммах было в пределах удовлетворительных значений, поэтому оценка осуществлялась по амплитуде пика H_2O на оси ординат спектрограмм. На рисунке 5 представлены примеры спектрограмм, полученных при последовательности STEAM с TE 144 мс и методом подавления воды MOIST.

На спектрограммах, представленных на рисунке 5, а–г, определяются пики от сигнала H_2O .

Они располагаются на оси абсцисс в области 4,4–5,0 ppm, когда их высота (амплитуда) на оси ординат варьирует от 550 до 750 (рис. 5, а, б) в вокселях на периферии и от 500 до 550 (рис. 5, в, г) в вокселях в центре, что указывает на лучшее подавление сигнала от воды в центральном отделе матрицы протонной магнитно-резонансной спектроскопии.

Аналогичные результаты были получены при использовании последовательности PRESS и всеми доступными нам методами подавления воды (Гаусс, PRESS и MOIST). Для сравнения представлены спектрограммы PRESS с TE 144 мс и подавлением воды методом Гаусса на рисунке 6, методом CHESS — на рисунке 7, и MOIST — на рисунке 8.

На спектрограммах, представленных на рисунке 8, а–г, определяются пики от сигнала H_2O . Они располагаются на оси абсцисс в области 4,4–5,0 ppm, их амплитуда на оси ординат варьирует от 170 до 190 (рис. 8, а, б) в вокселях на периферии и от 130 до 160 (рис. 8, в, г) в вокселях в центре, что указывает на лучшее подавление сигнала от воды в центральном отделе матрицы протонной магнитно-резонансной спектроскопии при методе PRESS.

При дальнейшем анализе полученных данных было проведено сравнение эффективности подавления H_2O методами Гаусс, CHESS и MOIST. Данные представлены в виде таблицы 1.

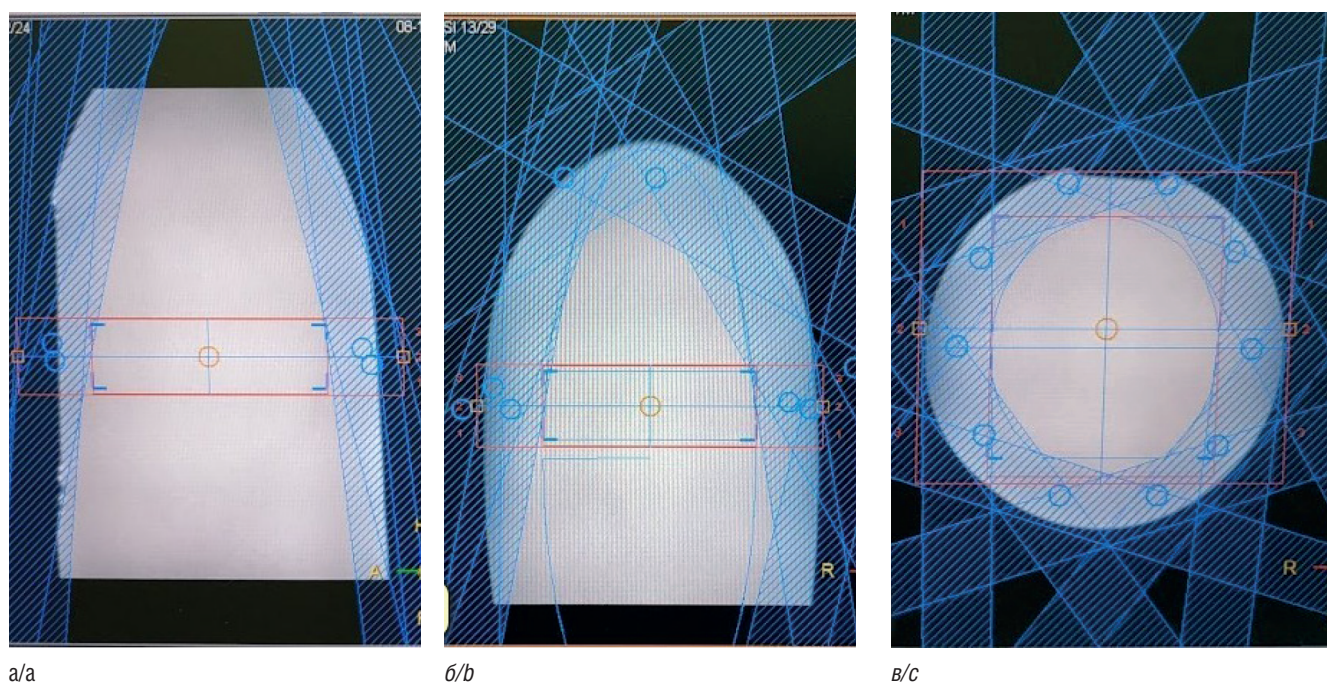


Рис. 2. Позиционирование сетки мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии по объему фантома Phantom Bottle с раствором Phantom Liquid 13 (а–в)

Fig. 2. Positioning of the multivoxel proton magnetic resonance spectroscopy grid over the volume of the Phantom Bottle phantom with Phantom Liquid 13 solution (a–c)

Рис. 3. Спектрограмма подавления воды при последовательности STEAM с TE 144 мс. Пик H_2O располагается выше базовой линии. Подавление H_2O программой MOIST

Fig. 3. Spectrogram of water suppression during a STEAM sequence with TE 144 ms. The H_2O peak is located above the baseline. H_2O suppression with MOIST program

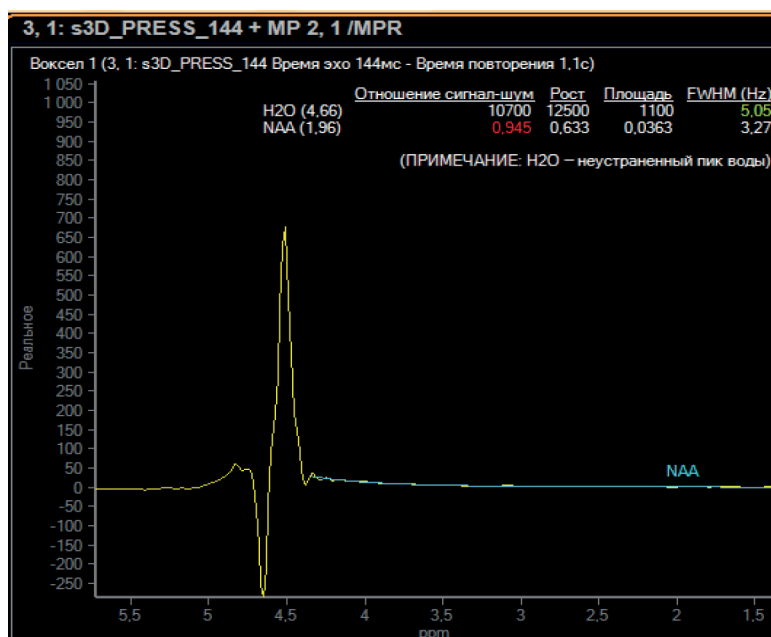
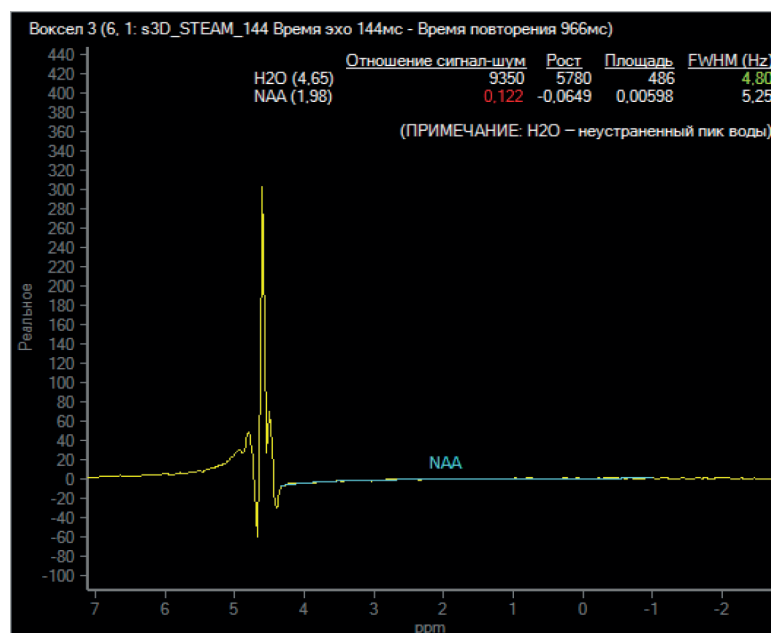


Рис. 4. Спектрограмма подавления воды при последовательности PRESS с TE 144 мс. Пик H_2O располагается выше базовой линии. Подавление H_2O программой MOIST

Fig. 4. Spectrogram of water suppression during a PRESS sequence with a TE of 144 ms. The H_2O peak is located above the baseline. H_2O suppression with MOIST program



По данным таблицы 1 следует, что при сравнении максимальных и минимальных значений высоты пиков H_2O на оси ординат спектрограмм, наилучшим методом подавления воды является MOIST, при этом последовательность STEAM несколько уступает PRESS.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Получение спектрограмм исследуемых тканей с помощью последовательностей STEAM и PRESS было бы невозможно без подавления сигнала воды

[2]. Так, в паренхиме головного мозга концентрация воды в 5 раз превосходит концентрации исследуемых метаболитов. Для решения данной проблемы можно использовать алгоритм Гаусса для приближения *in vivo* данных к *in vitro* модели за счет обработки полученных спектров гауссианой [1].

Однако недостатком данной методики является то, что воздействие гауссианы может происходить не только на сигнал H_2O , но и на соседние с ним пики концентрации метаболитов, тем самым искажая полученные данные. Именно поэтому для исключения данного нежелательного эффекта в последние годы

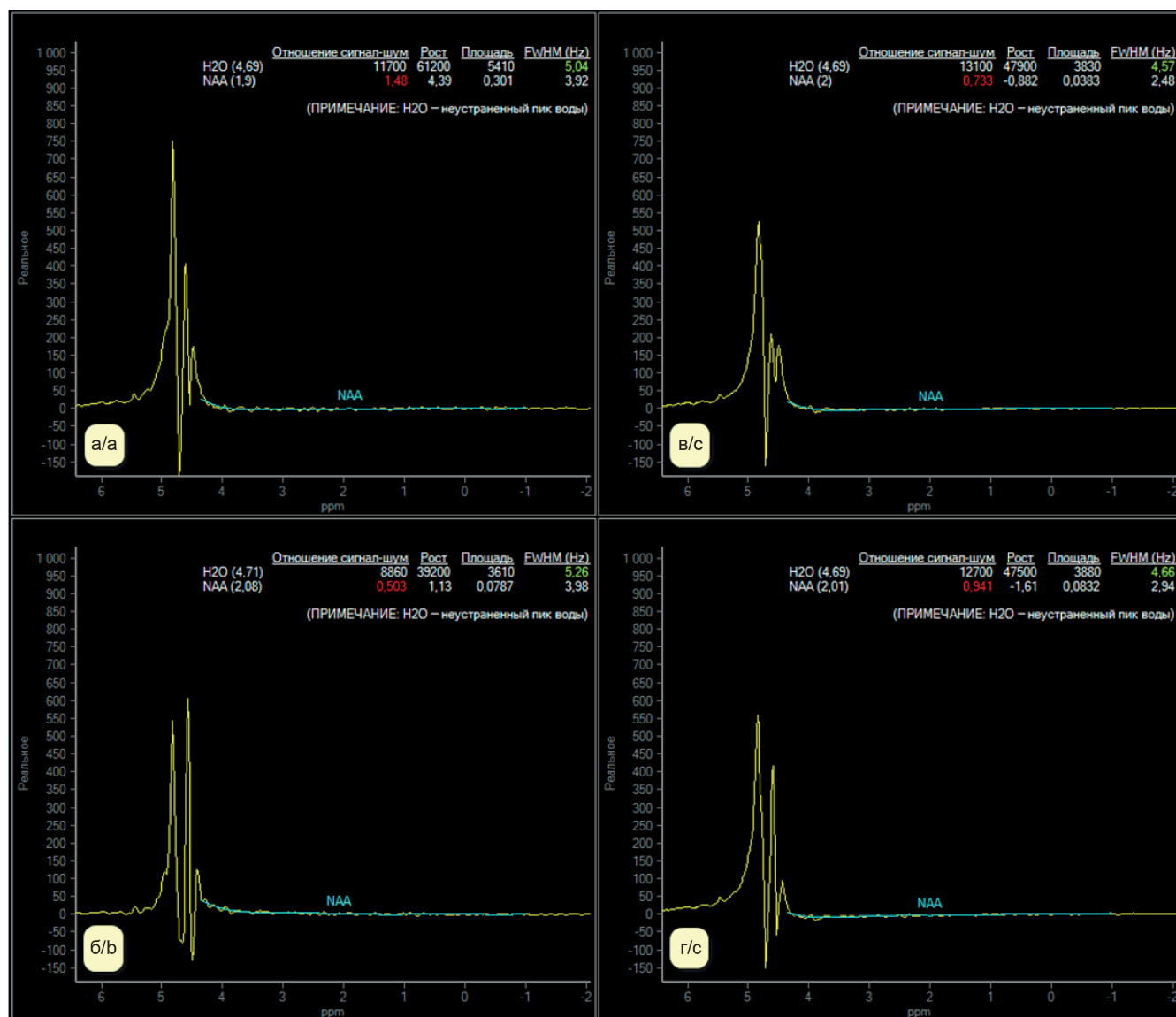


Рис. 5. На спектрограммах представлены пики H₂O с локализацией в вокселях на периферии (а, б) и в центре (в, г) исследуемого объема фантома. Последовательность STEAM с TE 144 мс и подавлением воды методом MOIST

Fig. 5. The spectrograms show H₂O peaks localized in voxels at the periphery (a, b) and in the center (c, d) of the studied phantom volume. STEAM sequence with 144 ms TE and MOIST water suppression

используется методика CHES с последующим расфазированием сигнала воды в поперечной плоскости с помощью расфазировочных градиентов [5].

По нашим данным, метод подавления воды программой CHES оказался намного эффективнее метода Гаусса при сравнении максимальных и минимальных значений высоты пиков H₂O на оси ординат полученных на фантоме спектрограмм.

Однако, по мнению исследователей [4, 5, 10], обычно одного CHES импульса недостаточно для полного подавления H₂O, поэтому используются как минимум три CHES-импульса или различные ва-

риации CHES-программ, такие как WET, MOIST, SWAMP и VAPOR. Все они отличаются друг от друга количественными и качественными изменениями импульсов, направленных на подавление H₂O, такими как длина импульса, его продолжительность, угол поворота и расстояние межимпульсного интервала. Производители магнитно-резонансных томографов предлагают один или несколько из данных методик подавления воды на своих станциях.

В нашем случае высокопольный магнитно-резонансный томограф Ingenia (Philips, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1,5 Тл имел только

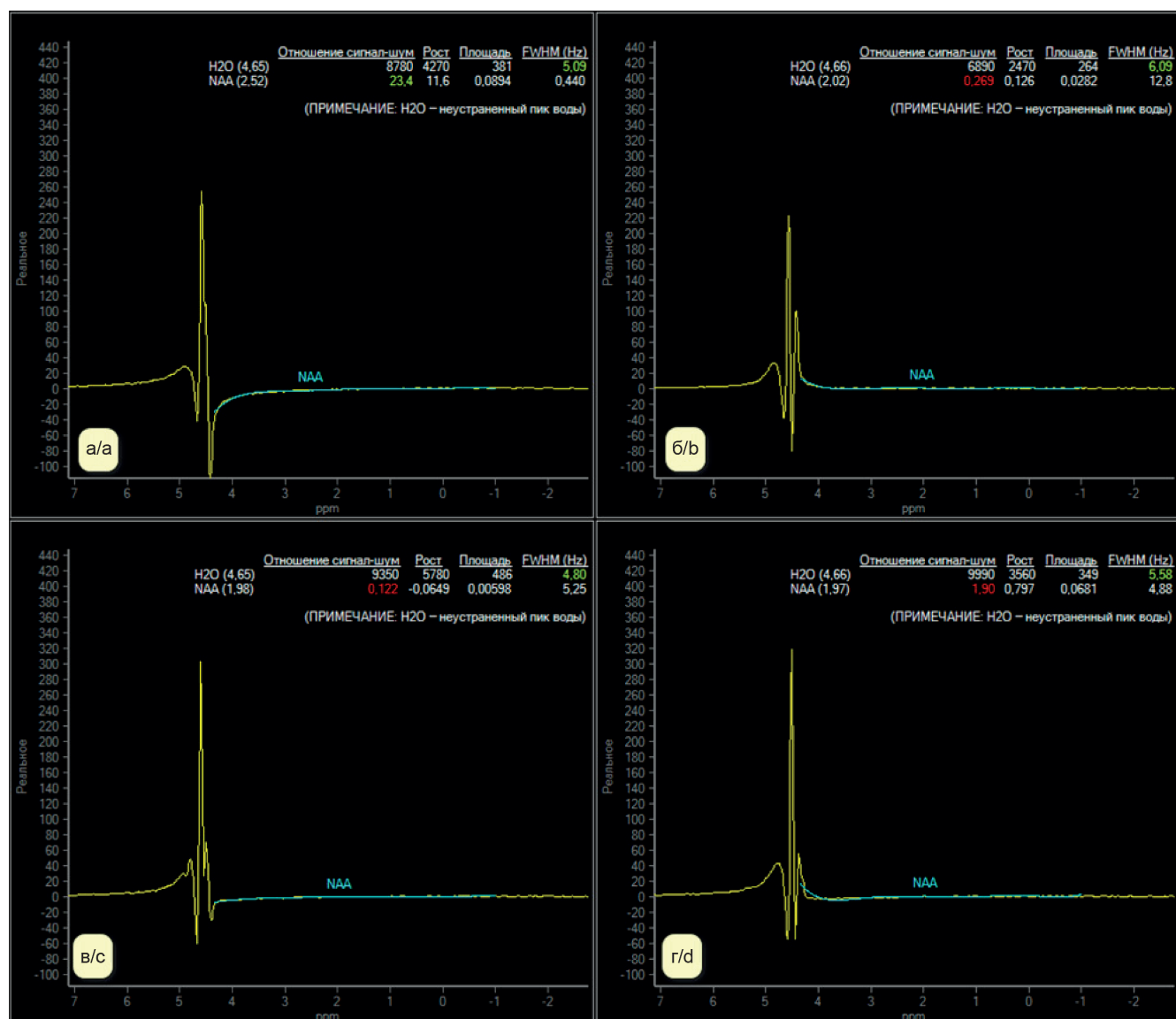


Рис. 6. На спектрограммах представлены пики H_2O с локализацией в вокселях на периферии (а, б) и в центре (в, г) исследуемого объема фантома. Последовательность PRESS с TE 144 мс и подавлением воды методом Гаусса

Fig. 6. The spectrograms show H_2O peaks localized in voxels at the periphery (a, b) and in the center (c, d) of the studied phantom volume. PRESS sequence with 144 ms TE and Gaussian water suppression

программы CHES и MOIST для подавления H_2O , поэтому в ходе оптимизации методики и использованием этих двух программ было установлено, что методика MOIST превосходит CHES по максимальным и минимальным значениям высоты пиков H_2O на оси ординат спектрограмм, полученных при исследовании на фантоме.

Также на всех полученных нами спектрограммах лучшее подавление сигнала от воды отмечалось в центральном отделе матрицы протонной магнитно-резонансной спектроскопии, чем на периферии, вне зависимости от выбранных параметров последовательностей.

Наиболее вероятно, это связано с особенностями шиммирования области исследования и потерей сигнала на периферии матрицы мультивоксельной протонной магнитно-резонансной спектроскопии с последующими нарушениями в протоколе метода автоматического подавления пика от сигнала H_2O [2]. Таким образом, воксели располагающиеся ближе к центру матрицы спектроскопии, дают лучший сигнал и, следовательно, имеют на выходе обработки более сильное подавление сигнала H_2O .

В большинстве работ, посвященных использованию протонной магнитно-резонансной спектроско-

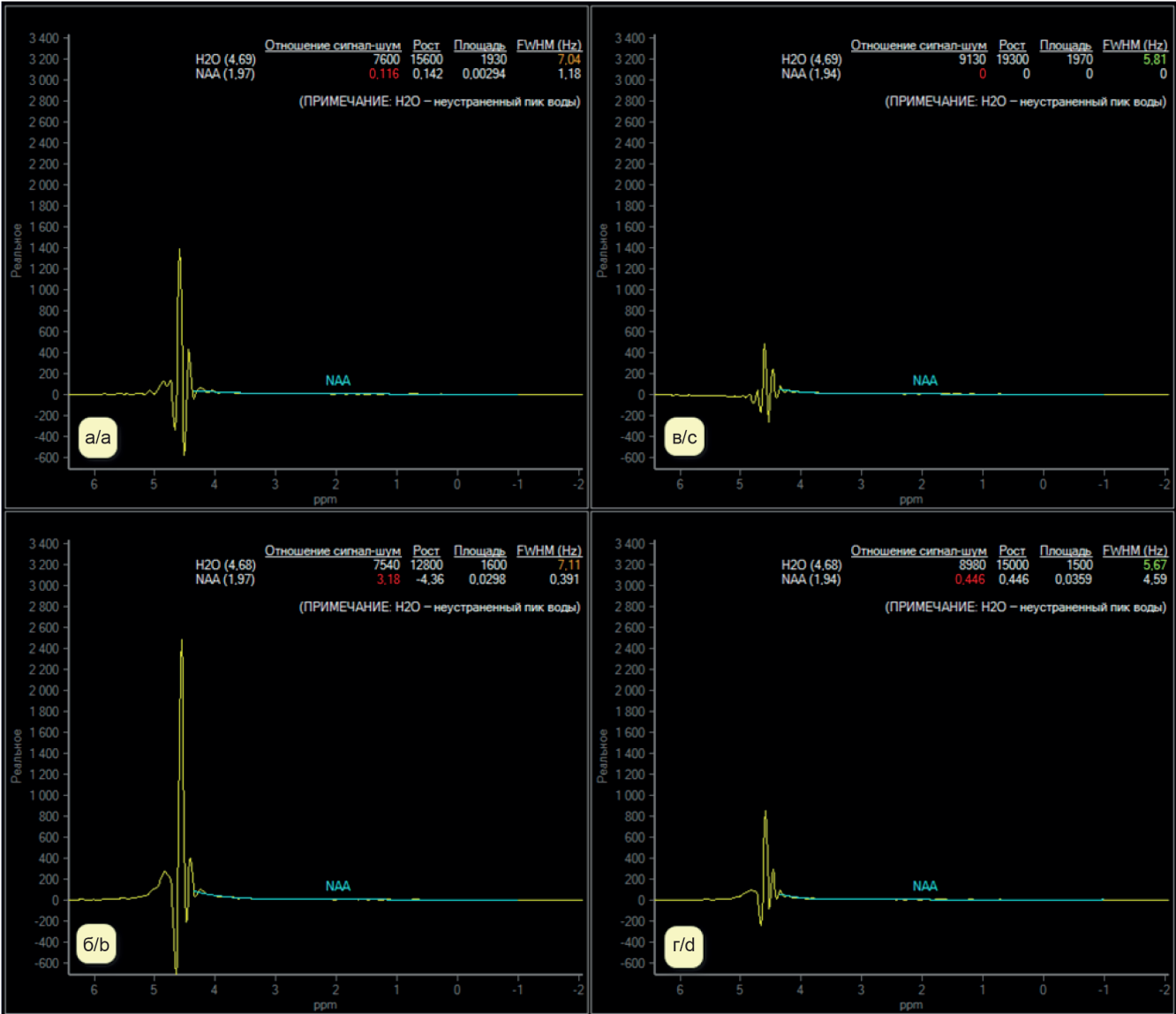


Рис. 7. На спектрограммах представлены пики H₂O с локализацией в вокселях на периферии (а, б) и в центре (в, г) исследуемого объема фантома. Последовательность PRESS с TE 144 мс и подавлением воды методом CHES

Fig. 7. The spectrograms show H₂O peaks localized in voxels at the periphery (a, b) and in the center (c, d) of the studied phantom volume. PRESS sequence with 144 ms TE and CHES water suppression

пии в диагностике различных патологий [3, 6–9], не делается акцента на выбор последовательности протонной магнитно-резонансной спектроскопии.

По нашим данным, при сравнении максимальных и минимальных значений высоты пиков H₂O на оси ординат спектрограмм, полученных при использовании последовательностей STEAM и PRESS, получилось, что методика STEAM несколько уступает PRESS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, опытным путем была определена лучшая методика мультивоксельной протонной маг-

нитно-резонансной спектроскопии для подавления сигнала от воды — PRESS с параметрами: TE = 144 с, TR = 5000 мс, и подавлением H₂O методом MOIST.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

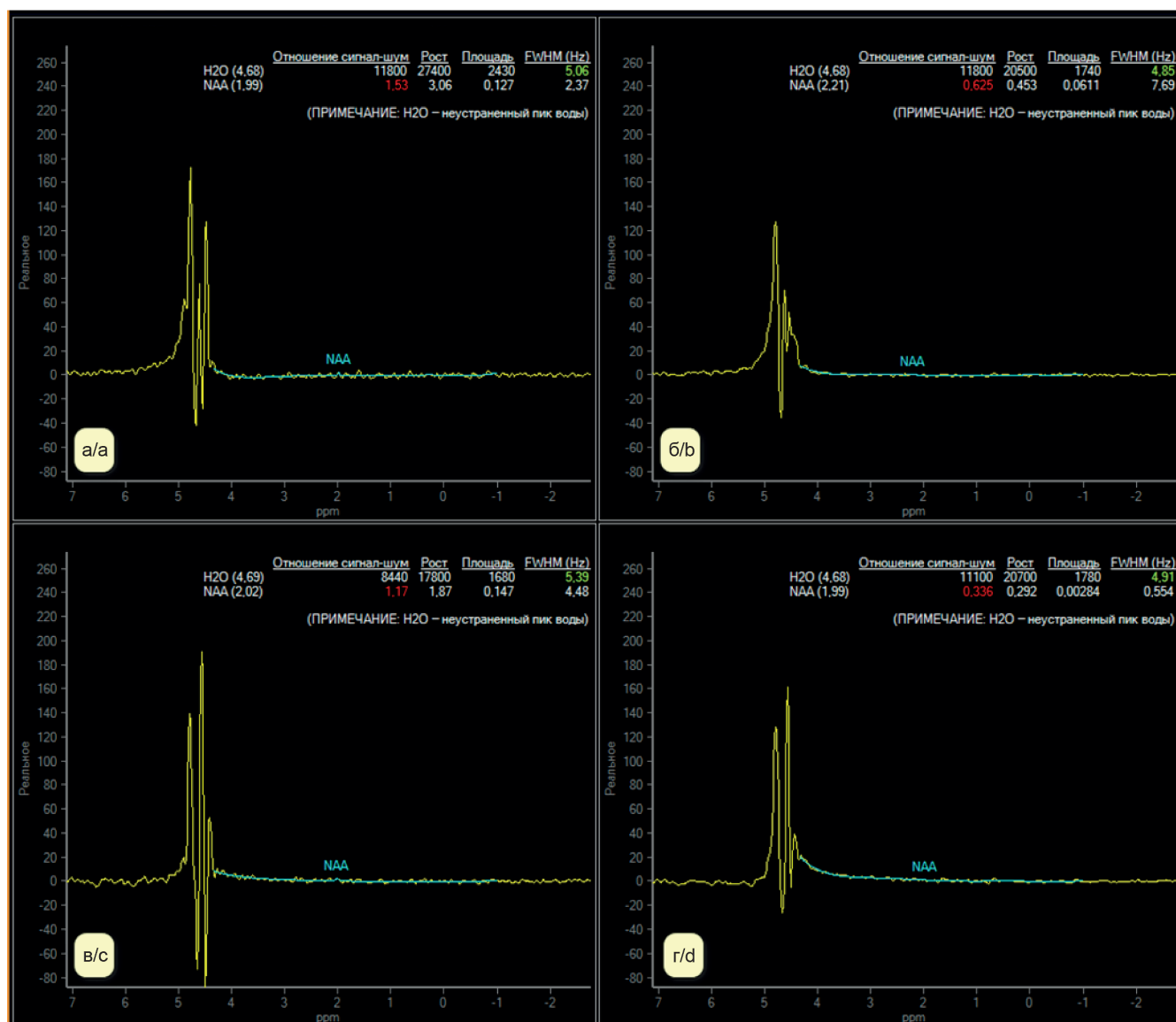


Рис. 8. На спектрограммах представлены пики H₂O с локализацией в вокселях на периферии (а, б) и в центре (в, г) исследуемого объема фантома. Последовательность PRESS с TE 144 мс и подавлением воды методом MOIST

Fig. 8. The spectrograms show H₂O peaks localized in voxels at the periphery (a, b) and in the center (c, d) of the studied phantom volume. PRESS sequence with 144 ms TE and MOIST water suppression

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. Под ред. проф. В. П. Дьяконова. М.: СОЛОН-Пресс; 2009.
2. Магнитно-резонансная спектроскопия. Под редакцией Труфанова Г.Е., Тютин Л.А. СПб.: ЭЛБИ-СПб.; 2008.

Таблица 1

Максимальные и минимальные значения высоты пиков H₂O на оси ординат спектрограмм, полученных при использовании различных методик подавления воды

Table 1

The maximum and minimum values of the height of the H₂O peaks on the ordinate axis of the spectrograms obtained using various water suppression techniques

Последовательность / Sequence	Метод подавления H ₂ O / Water suppression method	Максимальная амплитуда пика H ₂ O на периферии / The maximum amplitude of the H ₂ O peak at the periphery	Максимальная амплитуда пика H ₂ O в центральной области / The maximum amplitude of the H ₂ O peak in the central region
STEAM	CHES	750	550
	MOIST	680	310
PRESS	Гайсс / Gauss	2500	850
	CHES	700	280
	MOIST	320	190

- Azab S.F., Sherief L.M., Saleh S.H. et al. Childhood temporal lobe epilepsy: correlation between electroencephalography and magnetic resonance spectroscopy: a case-control study. *Ital J Pediatr.* 2015; 41: 32. DOI: 10.1186/s13052-015-0138-2.
- Barker P.B., Bizzi A., De Stefano N. et al. *Spectroscopy: Techniques and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2009. DOI:10.1017/CBO9780511770647.
- Haase A., Frahm J., Hanicke W., Matthae D. 1H NMR Chemical Shift Selective Imaging, *Phys. Med. Biol.* 1985; 30: 341–4. DOI: 10.1088/0031-9155/30/4/008. PMID: 4001160.
- Hardan A.Y., Fung L.K., Frazier T. et al. A proton spectroscopy study of white matter in children with autism. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2016; 66: 48–53. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2015.11.005.
- Ito H., Mori K., Harada M. et al. A Proton Magnetic Resonance Spectroscopic Study in Autism Spectrum Disorder Using a 3-Tesla Clinical Magnetic Resonance Imaging (MRI) System: The Anterior Cingulate Cortex and the Left Cerebellum. *Journal of Child Neurology.* 2017; 32: 731–9. DOI: 10.1177/0883073817702981. Epub 2017 Apr 19. PMID: 28420309.
- Kubas B., Kułak W., Sobaniec W. et al. Metabolite alterations in autistic children: a 1H MR spectroscopy study. *Adv Med Sci.* 2012; 57(1): 152–6. DOI: 10.2478/v10039-012-0014-x.
- Liserre R., Pinelli L., Gasparotti R. MR spectroscopy in pediatric neuroradiology. *Translational pediatrics.* 2021; 10(4): 1169–1200. DOI: 10.21037/tp-20-445. PMID: 34012861; PMCID: PMC8107850.
- Robin A. de Graaf, Nicolay K. Adiabatic water suppression using frequency selective excitation. *Magn Reson Med.* 1998; 40: 690–6. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910400508>.
- Pod red. prof. V. P. D'yakonova. Moskva: SOLON-Press Publ.; 2009. (in Russian).
- Magnitno-rezonansnaya spektroskopiya. [Magnetic resonance spectroscopy]. Pod redaksiyey Trufanova G.Ye., Tyutina L.A. Sankt-Peterburg: ELBI-SPb. Publ.; 2008. (in Russian).
- Azab S.F., Sherief L.M., Saleh S.H. et al. Childhood temporal lobe epilepsy: correlation between electroencephalography and magnetic resonance spectroscopy: a case-control study. *Ital J Pediatr.* 2015; 41: 32. DOI: 10.1186/s13052-015-0138-2.
- Barker P.B., Bizzi A., De Stefano N. et al. *Spectroscopy: Techniques and Applications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2009. DOI:10.1017/CBO9780511770647
- Haase A., Frahm J., Hanicke W., Matthae D. 1H NMR Chemical Shift Selective Imaging, *Phys. Med. Biol.* 1985; 30: 341–4. DOI: 10.1088/0031-9155/30/4/008. PMID: 4001160.
- Hardan A.Y., Fung L.K., Frazier T. et al. A proton spectroscopy study of white matter in children with autism. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry.* 2016; 66: 48–53. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2015.11.005.
- Ito H., Mori K., Harada M. et al. A Proton Magnetic Resonance Spectroscopic Study in Autism Spectrum Disorder Using a 3-Tesla Clinical Magnetic Resonance Imaging (MRI) System: The Anterior Cingulate Cortex and the Left Cerebellum. *Journal of Child Neurology.* 2017; 32: 731–9. DOI: 10.1177/0883073817702981. Epub 2017 Apr 19. PMID: 28420309.
- Kubas B., Kułak W., Sobaniec W. et al. Metabolite alterations in autistic children: a 1H MR spectroscopy study. *Adv Med Sci.* 2012; 57(1): 152–6. DOI: 10.2478/v10039-012-0014-x.
- Liserre R., Pinelli L., Gasparotti R. MR spectroscopy in pediatric neuroradiology. *Translational pediatrics.* 2021; 10(4): 1169–1200. DOI: 10.21037/tp-20-445. PMID: 34012861; PMCID: PMC8107850.
- Robin A. de Graaf, Nicolay K. Adiabatic water suppression using frequency selective excitation. *Magn Reson Med.* 1998; 40: 690–6. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910400508>.

REFERENCES

- Afonskiy A.A., D'yakonov V.P. Tsifrovyye analizatory spektra, signalov i logiki. [Digital spectrum, signal and logic analyzers].