

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖИМА T1 MP2RAGE ДЛЯ МРТ-ОЦЕНКИ ОЧАГОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГОЛОВНОМ И СПИННОМ МОЗГЕ ПРИ РАССЕЯННОМ СКЛЕРОЗЕ**

Матросова М.С., Брюхов В.В., Бельская Г.Н., Кротенкова М.В.

ФГБНУ Научный центр неврологии. г. Москва, Россия.

**Цель исследования.** Продемонстрировать возможности режима T1 MP2RAGE в МРТ-диагностике очаговых изменений в головном и спинном мозге у пациентов с рассеянным склерозом (РС).

**Материалы и методы.** Представлено несколько клинических наблюдений пациентов с рассеянным склерозом (РС), которым было выполнено МРТ-исследование головного мозга на МР-томографе Siemens Magnetom Prisma с величиной магнитной индукции 3 Тесла с использованием стандартных (T2, T2 FLAIR) и дополнительных (T1 MP2RAGE, DIR) режимов сканирования для определения очаговых изменений основной локализации по критериям McDonald 2017 года.

**Результаты.** Благодаря хорошей контрастности и высокому разрешению, режим T1 MP2RAGE позволил одновременно (с помощью одной импульсной последовательности) выявить очаги демиелинизации как в шейном отделе спинного мозга, так и в мозжечке, в стволе мозга, в сером веществе полушарий головного мозга, а также в области зрительных путей, в то время как остальные последовательности оказались менее чувствительны для данной цели, несмотря на более достоверную визуализацию очагов в белом веществе полушарий головного мозга.

**Заключение.** За счет своей контрастности режим T1 MP2RAGE позволяет отчетливо выявлять очаги как кортикальной, стволовой и спинальной локализации, так и одновременно оценивать наличие очагов в головном мозге и шейном отделе спинного мозга, что может быть использовано для сокращения времени сканирования пациентов. При этом, с помощью T1 MP2RAGE возможно определять более мелкие очаги кортикальной локализации, по сравнению с режимом DIR, и выявлять очаги в спинном мозге, стволе головного мозга и хиазме, не определяемые в стандартных режимах МРТ.

Ключевые слова: рассеянный склероз, магнитно-резонансная томография, критерии McDonald, кортикальные очаги, спинной мозг, T1 MP2RAGE.

Контактный автор: Матросова М.С., e-mail: kmari-s@yandex.ru

Для цитирования: Матросова М.С., Брюхов В.В., Бельская Г.Н., Кротенкова М.В. Применение режима T1 MP2RAGE для МРТ-оценки очаговых изменений в головном и спинном мозге при рассеянном склерозе. REJR 2023; 13(1):87-95. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-1-87-95.

Статья получена: 25.12.22

Статья принята: 24.01.23

**T1 MP2RAGE FOR BRAIN AND CERVICAL SPINE LESIONS ASSESSMENT IN MULTIPLE SCLEROSIS**

Matrosova M.S., Bryukhov V.V., Belskaya G.N., Krotenkova M.V.

Research center of neurology. Moscow, Russia.

**Purpose.** To demonstrate the potential of T1 MP2RAGE pulse sequence in lesion assessment in the brain and spinal cord in patients with multiple sclerosis (MS).

**Materials and methods.** We present several patients with Multiple Sclerosis (MS) who underwent brain MRI on a Siemens Magnetom Prisma scanner (3 Tesla) using standard (T2, T2 FLAIR) and additional (T1 MP2RAGE, DIR) pulse sequences to detect lesions of the main localization according to McDonald criteria.

**Results.** T1 MP2RAGE has good contrast and high resolution, hence it allows identify demyelination lesions both in the cervical spinal cord, cerebellum and brainstem, and in the cortical gray matter in a single sequence.

**Conclusion.** The contrast of the T1 MP2RAGE sequence allows both detection of cortical, infratentorial and spinal lesions and simultaneous assessment of lesions in the brain and cervical spinal cord in a single pulse sequence, which can be used to reduce the scanning time. At the same time, it is possible to detect smaller cortical lesions using T1 MP2RAGE compared to DIR and detect lesions in the spinal cord, brainstem and chiasma missed at standard sequences.

Keywords: multiple sclerosis, magnetic resonance imaging, McDonald criteria, cortical lesions, spinal cord, T1 MP2RAGE.

Corresponding author: Matrosova M.S., e-mail: kmari-s@yandex.ru

For citation: Matrosova M.S., Bryukhov V.V., Belskaya G.N., Krotenkova M.V. T1 MP2RAGE for brain and cervical spine lesions assessment in multiple sclerosis. REJR 2023; 13(1):87-95. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-1-87-95.

Received: 25.12.22

Accepted: 24.01.23

**М** агнитно-резонансная томография (МРТ) является основным методом диагностики рассеянного склероза (РС), позволяющим выявить очаги демиелинизации характерной локализации в центральной нервной системе (ЦНС), определив, таким образом, диссеминацию процесса в пространстве (ДВП) и во времени (ДВВ) [1].

Стандартными импульсными последовательностями для выявления очаговых изменений в головном мозге являются T2 и T2 FLAIR (Fluid-Attenuation Inversion-Recovery) [2]. Так, считается, что режим T2 более чувствителен к обнаружению очагов интратенториальной локализации, а T2 FLAIR лучше определяет супратенториальные очаги в белом веществе больших полушарий, в том числе – перивентрикулярно и юкстакортикально [3]. Однако T2 FLAIR недостаточно чувствителен для выявления очагов кортикальной локализации, которые, как было показано, наблюдаются в более, чем 90% случаев РС, в том числе, и на ранних его стади-

ях [4 - 6]. Для определения кортикальных очагов необходимо использовать дополнительные последовательности, демонстрирующие повышенную контрастность между серым и белым веществом [7]. Наиболее часто используемой для этой цели последовательностью является DIR (Double Inversion-Recovery), в которой помимо подавления МР-сигнала от свободной воды, как в режиме T2 FLAIR, происходит дополнительное подавление МР-сигнала от белого вещества головного мозга, что и обеспечивает необходимую контрастность [8, 9]. Кроме того, для оценки распространенности очагового поражения в спинном мозге при РС необходимо использование дополнительных последовательностей, что суммарно удлиняет время сканирования пациента.

Относительно новой последовательностью, зарекомендовавшей себя в качестве универсального инструмента для оценки изменений белого и серого вещества как головного, так и спинного мозга при РС, является T1 MP2RAGE (Magnetization Prepared 2 Rapid

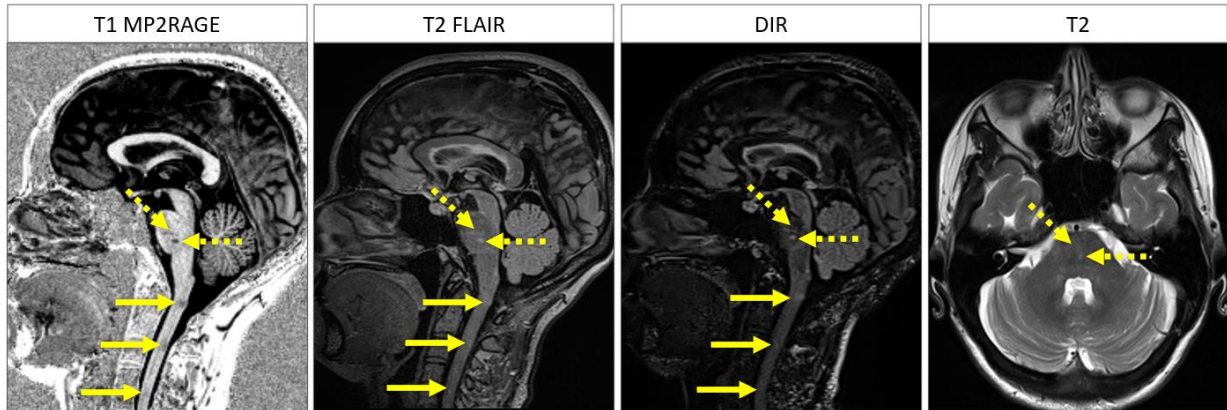


Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. МРТ.**

Одновременная МРТ-визуализация очагов демиелинизации в мосту мозга (пунктирные стрелки) и в шейном отделе спинного мозга (сплошные стрелки).

**Fig. 1. MRI.**

Simultaneous imaging of Multiple sclerosis lesions in pons (dotted arrows) and cervical spine (solid arrows).

Acquisition Gradient Echo). Данный режим изначально был разработан для преодоления пространственной неоднородности магнитного поля В1 и использует два градиентных эхо-сигнала, что обеспечивает оптимальную контрастность между серым и белым веществом головного и спинного мозга и хорошее разрешение на итоговом реконструированном изображении [10 - 12].

**Клиническое наблюдение №1.**

Пациентка, 42 лет, с ремиттирующим рассеянным склерозом (РС), стаж заболевания – 8 лет. Терапию препаратами, изменяющими течение РС (ПИТРС), не получает. Жалоб активно не предъявляет, однако при ретроспективной оценке МРТ головного мозга обращает на себя внимание активность процесса в виде появления новых Т2-гиперинтенсивных очагов в белом веществе полушарий головного мозга, накапливающего гадолиний-содержащее контрастное вещество в режиме Т1. В неврологическом статусе отмечается интенция справа при выполнении пальце-носовой пробы, балл по шкале оценки инвалидности EDSS 1,0.

При проведении МРТ головного мозга на МР-томографе Siemens Magnetom Prisma (3 Тл) по расширенному протоколу с использованием стандартных режимов Т2 в аксиальной плоскости с толщиной срезов 3 мм и 3D Т2 FLAIR с толщиной срезов 0,5 мм, а также дополнительных режимов 3D Т1 MP2RAGE (TR/TE=5000/2,98 мс, T11/T12=700/2500 мс, FA1/FA2=4°/5°, TA=8 мин 22 с) и 3D DIR (TR/TE=7500/327 мс,

T11/T12=3000/450 мс, TA=8 мин 54 с) с толщиной срезов 1 мм у данного пациента определяются следующие изменения:

- Наличие очагов в шейном отделе спинного мозга на уровне С1 позвонка, С2-С3 и С4-С5 межпозвонковых дисков, которые отчетливо визуализируются в режиме Т1 MP2RAGE (как гипоинтенсивные участки) и не визуализируются в остальных режимах, за исключением наиболее краниально расположенного очага (рис. 1.1, сплошные стрелки).

- На том же срезе определяются очаги в мосту мозга, которые также имеют хорошую контрастность в режиме Т1 MP2RAGE, визуализируются в режимах Т2 FLAIR и DIR, однако слабо различимы на Т2-взвешенных изображениях, являющихся стандартом для оценки инфратенториальных очагов (рис. 1, пунктирные стрелки).

- Также при оценке инфратенториальных структур определяются очаги в обоих полушариях мозжечка, которые лучше всего визуализируются в режимах Т1 MP2RAGE и Т2 FLAIR, менее четко прослеживаются в режиме DIR и не определяются в режиме Т2 (рис. 2, сплошные окружности), являющемся стандартом для оценки инфратенториальных очагов.

- На том же уровне в режиме Т1 MP2RAGE визуализируется очаг в правых отделах продолговатого мозга, который также слабо определяется в режиме Т2 FLAIR, практически не визуализируется в режиме DIR и не попадает в срез в режиме Т2 за счет толщины срезов 3 мм (рис. 2, пунктирные

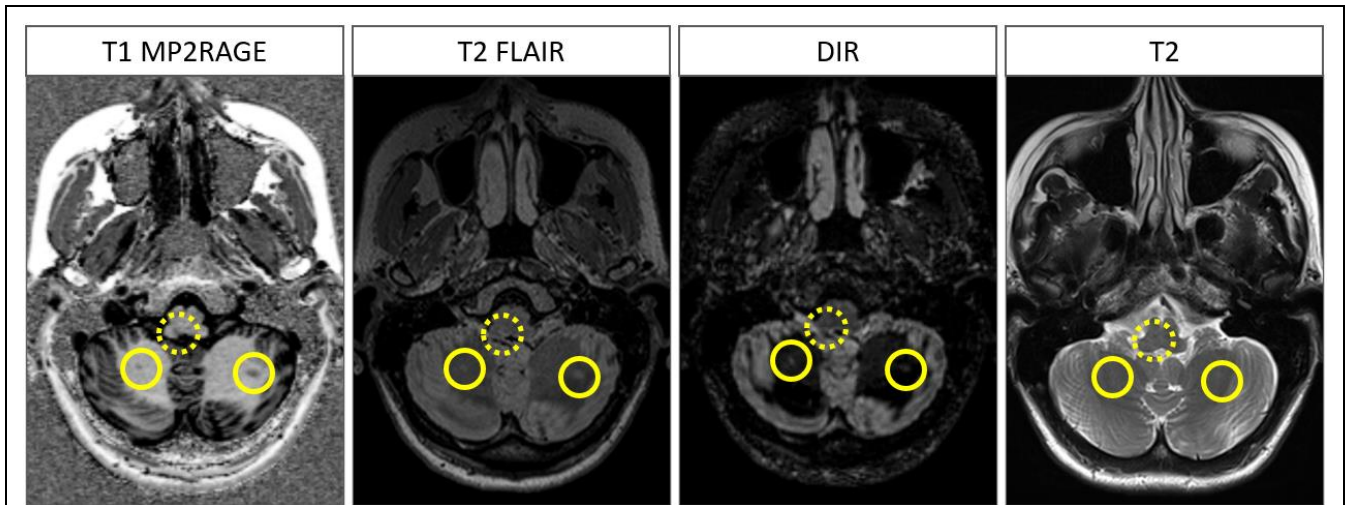


Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2. МРТ.**

МРТ-визуализация инфратенториальных очагов в полушариях мозжечка (сплошные окружности) и в продолговатом мозге (пунктирные окружности).

**Fig. 2. MRI.**

Infratentorial lesions in cerebellum (solid circles) and in medulla (dotted circles).

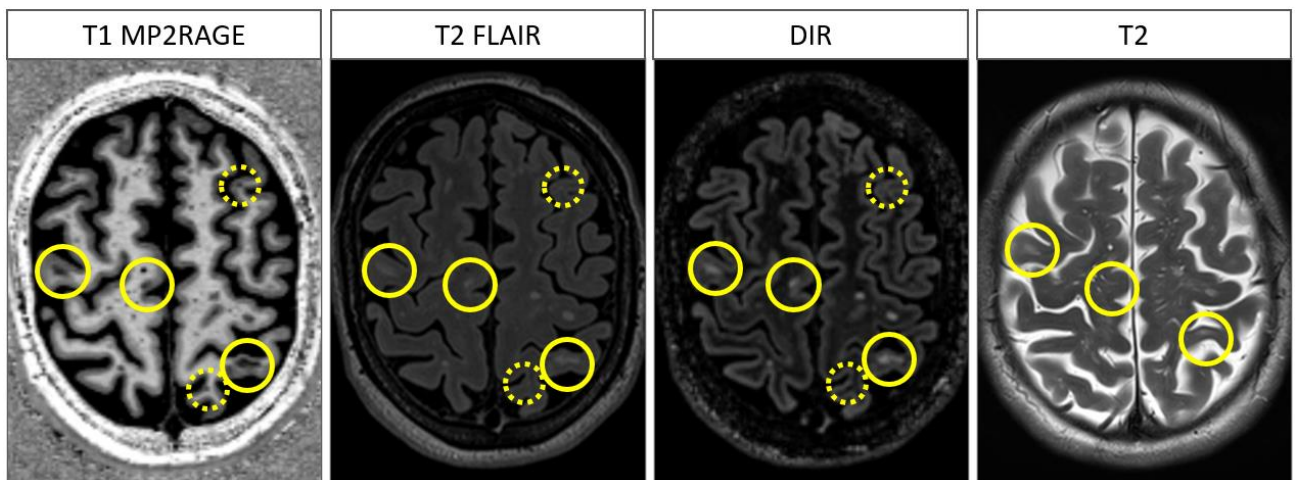


Рис. 3 (Fig. 3)

**Рис. 3. МРТ.**

МРТ-визуализация крупных (сплошные окружности) и точечных (пунктирные окружности) очагов кортикальной/юкстакортикальной локализации.

**Fig. 3. MRI.**

Imaging of punctiform (dotted circles) and bigger in size (solid circles) cortical/juxtacortical lesions.

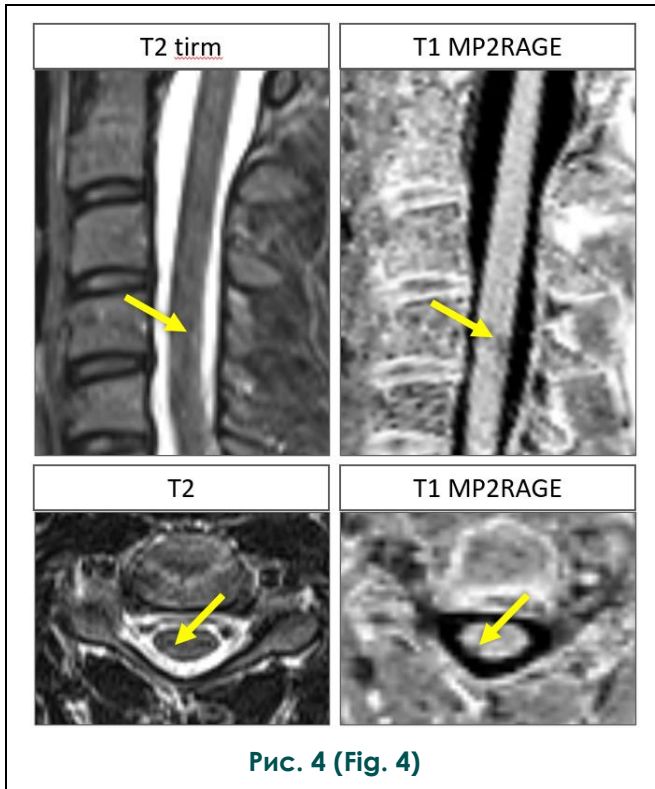


Рис. 4 (Fig. 4)

**Рис. 4. МРТ.**

Визуализация очага демиелинизации (стрелки) в шейном отделе спинного мозга на уровне С4 позвонка в стандартных режимах T2 и T2 tirm на МР-томографе Siemens Magnetom Verio, 3Тл, в 2020 году (слева) и в режиме T1 MP2RAGE на МР-томографе Siemens Magnetom Prisma, 3 Тл, в 2022 году (справа).

**Fig. 4. MRI.**

Multiple sclerosis lesion (arrows) in cervical spine (C4) on T2 and T2 tirm sequences on Siemens Magnetom Verio scanner, 3 Tesla, 2020 (on the left) and on T1 MP2RAGE sequence on Siemens Magnetom Prisma scanner, 3 Tesla, 2022 (on the right).

окружности).

• При оценке полушарий головного мозга режимы T1 MP2RAGE и DIR позволяют более достоверно оценить наличие вовлечения серого вещества в очагах кортикальной/юкстакортикальной локализации (рис. 3, сплошные окружности), при этом T1 MP2RAGE за счет лучшего разрешения позволяет также выявить более мелкие очаги данной локализации, не визуализируемые в других режимах (рис. 3, пунктирные окружности).

**Клиническое наблюдение №2.**

Пациентка, 31 год, с диагнозом РС, стаж заболевания – 6 лет, EDSS 2,0 балла.

Заболевание дебютировало в 2016 году в виде атаксии. В настоящее время активных жалоб не предъявляет. При ежегодном проведении МРТ головного мозга выявлялось 6 очагов демиелинизации без динамики, соответствующих критериям McDonald 2017 года (3 очага – перивентрикулярно, 1 – юкстакортикально и 2 – в мозолистом теле). При проведении МРТ спинного мозга на МР-томографе Siemens Magnetom Verio (3 Тл) в 2020 году в стандартных режимах (T2, T2 tirm) очагов демиелинизации описано в заключении не было. При очередном проведении МРТ головного мозга в динамике в 2022 году на МР-томографе Siemens Magnetom Prisma (3 Тл) с применением МРТ-протокола, используемого в первом случае (см. выше), в режиме T1 MP2RAGE в задних правых отделах спинного мозга на уровне С4 позвонка был выявлен очаг, имеющий гипоинтенсивный МР-сигнал. При повторной прицельной оценке предыдущего МРТ шейного отдела спинного мозга от 2020 года данный очаг был обнаружен (рис. 4). Помимо этого, был выявлен гипоинтенсивный очаг в ножке среднего мозга слева, который не визуализировался в режиме T2, слабо определялся в режиме T2 FLAIR и более отчетливо наблюдался в режиме DIR (рис. 5).

**Клиническое наблюдение №3.**

Пациент, 36 лет с РС, со стажем заболевания 13 лет и баллом по шкале EDSS 1,0. При МРТ головного мозга, помимо очагов в перивентрикулярном, глубоком и юкстакортикальном белом веществе полушарий головного мозга, а также инфратенториально в средней мозжечковой ножке справа, обращает на себя внимание наличие в режиме T1 MP2RAGE мелкого гипоинтенсивного очага в правых отделах хиазмы, который недостаточно четко визуализировался в режимах DIR и T2 FLAIR (рис. 6). В режиме T2 данный очаг не определялся из-за большой толщины срезов (рис. 6).

**Обсуждение.**

Режим T1 MP2RAGE представляет собой последовательность градиентного эхо, в которой используются два инвертирующих импульса и, соответственно, получаются две серии изображений, из которых в дальнейшем математически рассчитывается результирующая серия, что позволяет избежать влияния неоднородностей поля B1 и повышает отношение сигнал-шум [10]. В отдельных работах была показана эффективность данного режима для оценки очаговых изменений в спинном мозге при РС [13].

На сегодняшний день МРТ-диагностика РС основывается на МРТ-критериях

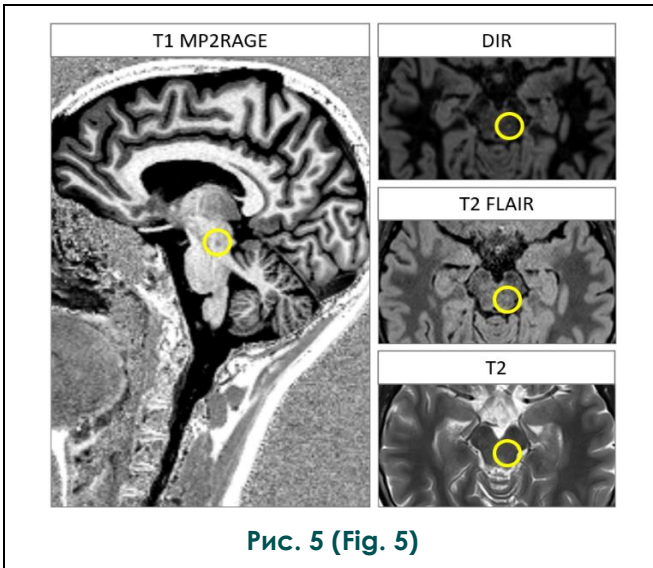


Рис. 5 (Fig. 5)

**Рис. 5. МРТ.**

МРТ-визуализация мелкого очага демиелинизации в левых отделах среднего мозга в режиме T1 MP2RAGE (слева) и режимах DIR, T2 FLAIR, T2 (справа, сверху вниз).

**Fig. 5. MRI.**

Small demyelination lesion in the midbrain on T1 MP2RAGE sequence (on the left) and DIR, T2 FLAIR, T2 (on the right).

McDonald 2017 года, согласно которым для подтверждения ДВП необходимо наличие очаговых изменений, как минимум, в двух из четырех областей ЦНС: кортикально/юкстакортикально, перивентрикулярно, инфратенториально, а также в спинном мозге [1, 14]. Группой MAGNIMS (Magnetic Resonance Imaging in Multiple Sclerosis) в 2016 году было также предложено включить в ДВП локализацию очагов в зрительных путях (в зрительных нервах, хиазме и зрительных трактах), однако в последнем пересмотре критериев McDonald в 2017 году это сделано не было [1, 15, 16]. Тем не менее, данная локализация имеет важное клиническое значение в диагностике РС, поэтому её оценка на предмет наличия очагов демиелинизации так же проводится при подозрении на демиелинизирующий процесс и при наличии соответствующей клинической симптоматики, что требует использования дополнительных последовательностей, поскольку в стандартном МРТ-протоколе оценка затруднительна, в связи с относительно большой толщиной срезов и плоскостью наклона, не совпадающей с ходом зрительных нервов.

Для определения корковых очагов необходимо использовать последовательности, демонстрирующие повышенную кон-

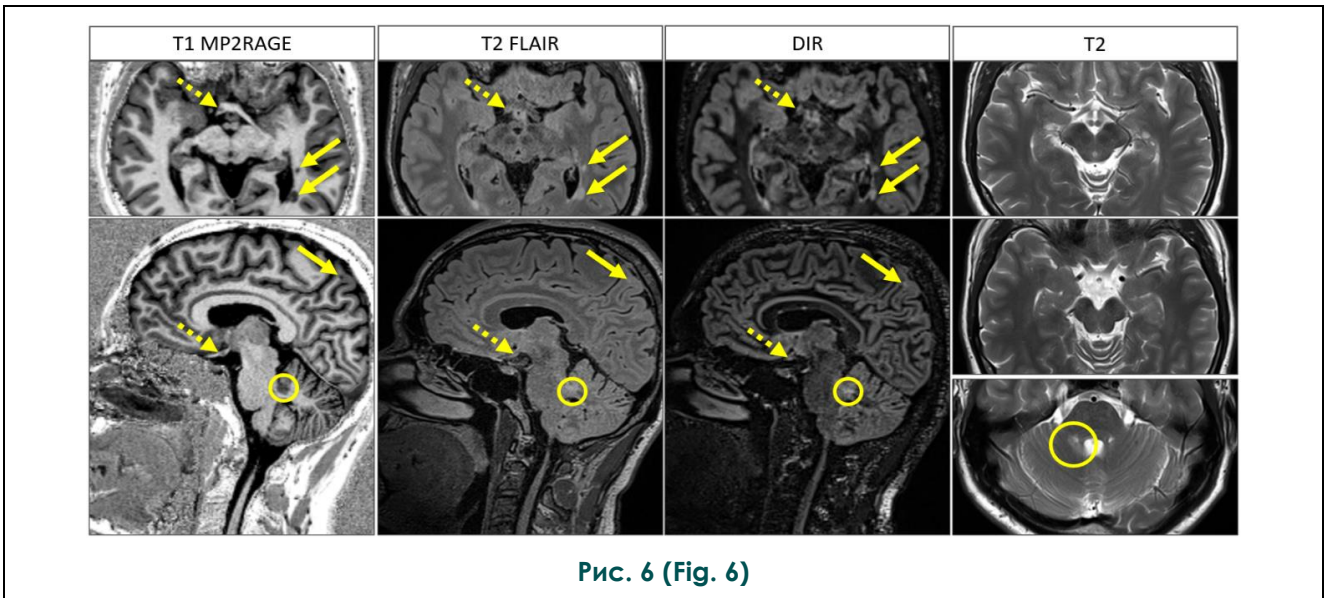


Рис. 6 (Fig. 6)

**Рис. 6. МРТ.**

МРТ-визуализация очага демиелинизации в хиазме справа (пунктирные стрелки) в режимах T1 MP2RAGE, T2 FLAIR и DIR и отсутствие его визуализации в режиме T2 на двух следующих друг за другом срезах. Другие очаги супратенториальной локализации показаны сплошными стрелками, инфратенториальной – окружностями.

**Fig. 6. MRI.**

Demyelination lesion in the optic chiasm (dotted arrows) on T1 MP2RAGE, T2 FLAIR, DIR sequences and the absence of its imaging on T2. Other lesions are highlighted with arrows (supratentorial lesions – solid arrows, infratentorial lesions – dotted arrows).

трастность между серым и белым веществом [7]. Наиболее часто используемой для данной цели последовательностью является двойная инверсия-восстановления (double inversion-recovery – DIR), в которой, помимо подавления МР-сигнала от свободной воды, происходит дополнительное подавление МР-сигнала от белого вещества головного мозга, что обеспечивает необходимую контрастность [8, 9]. Однако в описанных нами выше случаях режим T1 MP2RAGE смог предоставить более полную информацию о наличии очагов критически важной для постановки диагноза РС локализации: в спинном мозге, в мозжечке, в стволе мозга, в зрительном перекресте, а также в сером веществе полушарий головного мозга.

В оценке инфратенториальных очагов T1 MP2RAGE также показал высокую контрастность. Несмотря на то, что «золотым стандартом» оценки инфратенториальных структур, спинного мозга и зрительных нервов на наличие очаговых изменений является режим T2, в наших случаях он оказался малоинформативен за счет большой толщины срезов (3 мм) относительно небольших очагов демиелинизации [2]. В связи с этим, вероятно, целесообразно использовать режим T2 с меньшей толщиной срезов, чтобы повысить его чувствительность.

Помимо прочего, недавно было показано, что последовательность T1 MP2RAGE может быть настроена и для одновременного расчета T1 карт, R2\* карт и карт количественного картирования восприимчивости (QSM), что может использоваться, в том числе, в научных целях [12].

Ограничением режима T1 MP2RAGE является T1-взвешенность, что делает визуализацию очагов демиелинизации в виде гипointенсивных очагов непривычной для взгляда рентгенологов. Также страдает специфичность данного метода для оценки очаговых изменений в белом веществе головного мозга, поскольку в данной локализации они становятся неотличимы от периваскулярных пространств. Третье ограничение связано с техническими характеристиками оборудования, которое позволяло бы настроить режим, поскольку многие томографы предыдущих поколений такой возможности не имеют.

#### Заключение.

Таким образом, на примере клинических случаев нами были продемонстрированы преимущества режима T1 MP2RAGE для одновременной оценки очаговых изменений в головном и спинном мозге при РС, что потенциально может помочь в диагностике и уменьшить время сканирования пациентов. Несмотря на это, стандартные режимы также полезны для подтверждения наличия очаговых изменений в белом веществе. В связи с вышесказанным, безусловно, необходимо проведение дальнейших исследований на больших выборках пациентов для достоверной оценки чувствительности и специфичности режима T1 MP2RAGE.

#### Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

#### Список литературы:

1. Thompson A.J., Banwell B.L., Barkhof F., Carroll W.M., Coetzee T., Comi G., Correale J., Fazekas F., Filippi M., Freedman M.S., Fujihara K., Galetta S.L., Hartung H.P., Kappos L., Lublin F.D., Marrie R.A., Miller A.E., Miller D.H., Montalban X., Mowry E.M., Sorensen P.S., Tintoré M., Traboulsee A.L., Trojano M., Uitdehaag B.M.J., Vukusic S., Waubant E., Weinshenker B.G., Reingold S.C., Cohen J.A. Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria. *Lancet Neurol.* 2018; 17 (2): 162-173. DOI: 10.1016/S1474-4422(17)30470-2
2. Брюхов В.В., Куликова С.Н., Кротенкова М.В., Переседова А.В., Завалишин И.А. Современные методы визуализации в патогенезе рассеянного склероза. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2013; 7 (3): 47-54. DOI: 10.17816/psaic226
3. Gaune-Cain M.L., O'Riordan J.I., Thompson A.J., Moseley I.F., Miller D.H. Multiple sclerosis lesion detection in the brain: a comparison of fast fluid-attenuated inversion recovery and conventional T2-weighted dual spin echo. *Neurology.* 1997; 49 (2): 364-70. DOI: 10.1212/wnl.49.2.364
4. Calabrese M., Atzori M., Bernardi V., Morra A., Romualdi C., Rinaldi L., McAuliffe M. J. M., Barachino L., Perini P., Fischl B., Battistin L., Gall P. Cortical atrophy is relevant in multiple sclerosis at clinical onset. *J. Neurol.* 2007; 254 (9): 1212-1220. DOI:10.1007/s00415-006-0503-6
5. Calabrese M., Battaglini M., Giorgio A., Atzori M., Bernardi V., Mattisi I., Gallo P., De Stefano N. Imaging distribution and frequency of cortical lesions in patients with multiple sclerosis. *Neurology.* 2010; 75 (14): 1234-40. DOI:10.1212/WNL.0b013e3181f5d4da
6. Mike A., Glanz B.I., Hildenbrand P., Meier D., Bolden K., Liguori M., Dell'Oglio E., Healy B.C., Bakshi R., Guttmann C.R. Identification and clinical impact of multiple sclerosis cortical lesions as assessed by routine 3T MR imaging. *AJNR*

*Am J Neuroradiol.* 2011; 32 (3): 515-21. DOI: 10.3174/ajnr.A2340

7. Favaretto A., Poggiali D., Lazzarotto A., Rolma G., Causin F., et al. The Parallel Analysis of Phase Sensitive Inversion Recovery (PSIR) and Double Inversion Recovery (DIR) Images Significantly Improves the Detection of Cortical Lesions in Multiple Sclerosis (MS) since Clinical Onset. *PLOS ONE.* 2015; 10 (5): e0127805. DOI: 10.1371/journal.pone.0127805

8. Geurts J.J., Rosendaal S.D., Calabrese M., Ciccarelli O., Agosta F., Chard D.T., Gass A., Huerga E., Moraal B., Pareto D., Rocca M.A., Wattjes M.P., Yousry T.A., Uitdehaag B.M., Barkhof F.; MAGNIMS Study Group. Consensus recommendations for MS cortical lesion scoring using double inversion recovery MRI. *Neurology.* 2011; 76 (5): 418-24. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31820a0cc4

9. Simon B., Schmidt S., Lukas C., Gieseke J., Träber F., Knol D.L., Willinek W.A., Geurts J.J., Schild H.H., Barkhof F., Wattjes M.P. Improved in vivo detection of cortical lesions in multiple sclerosis using double inversion recovery MR imaging at 3 Tesla. *Eur Radiol.* 2010; 20 (7): 1675-83. DOI: 10.1007/s00330-009-1705-y

10. Marques J.P., Gruetter R. New developments and applications of the MP2RAGE sequence—focusing the contrast and high spatial resolution R1 mapping. *PLoS One.* 2013; 8 (7): e69294. DOI: 10.1371/journal.pone.0069294

11. Okubo G., Okada T., Yamamoto A., Kanagaki M., Fushimi Y., Okada T., Murata K., Togashi K. MP2RAGE for deep gray matter measurement of the brain: A comparative study with MPRAGE. *J Magn Reson Imaging.* 2016; 43 (1): 55-62. DOI: 10.1002/jmri.24960

**References:**

1. Thompson A.J., Banwell B.L., Barkhof F., Carroll W.M., Coetzee T., Comi G., Correale J., Fazekas F., Filippi M., Freedman M.S., Fujihara K., Galetta S.L., Hartung H.P., Kappos L., Lublin F.D., Marrie R.A., Miller A.E., Miller D.H., Montalban X., Mowry E.M., Sorensen P.S., Tintoré M., Traboulsee A.L., Trojano M., Uitdehaag B.M.J., Vukusic S., Waubant E., Weinshenker B.G., Reingold S.C., Cohen J.A. Diagnosis of multiple sclerosis: 2017 revisions of the McDonald criteria. *Lancet Neurol.* 2018; 17 (2): 162-173. DOI: 10.1016/S1474-4422(17)30470-2

2. Bryukhov V.V., Kulikova S.N., Krotenkova M.V., Peresedova A.V., Zavalishin I.A. State-of-the-art neuroimaging techniques in pathogenesis of multiple sclerosis. *Annals of Clinical and Experimental Neurology.* 2013; 7(3): 47-54. DOI: 10.17816/psaic226 (in Russian).

3. Gaune-Cain M.L., O’Riordan J.I., Thompson A.J., Moseley I.F., Miller D.H. Multiple sclerosis lesion detection in the brain: a comparison of fast fluid-attenuated inversion recovery and conventional T2-weighted dual spin echo. *Neurology.* 1997; 49 (2): 364-70. DOI: 10.1212/wnl.49.2.364

4. Calabrese M., Atzori M., Bernardi V., Morra A., Romualdi C., Rinaldi L., McAuliffe M. J. M., Barachino L., Perini P., Fischl B., Battistin L., Gall P. Cortical atrophy is relevant in multiple sclerosis at clinical onset. *J. Neurol.* 2007; 254 (9): 1212-1220. DOI:10.1007/s00415-006-0503-6

5. Calabrese M., Battaglini M., Giorgio A., Atzori M., Bernardi V., Mattisi I., Gallo P., De Stefano N. Imaging distribution and

12. Sun H., Cleary J.O., Glarin R., Kolbe S.C., Ordidge R.J., Moffat B.A., Pike G.B. Extracting more for less: multi-echo MP2RAGE for simultaneous T1 -weighted imaging, T1 mapping, R2\* mapping, SWI, and QSM from a single acquisition. *Magn Reson Med.* 2020; 83 (4): 1178-1191. DOI: 10.1002/mrm.27975

13. Demortière S., Lehmann P., Pelletier J., Audoin B., Callot V. Improved Cervical Cord Lesion Detection with 3D-MP2RAGE Sequence in Patients with Multiple Sclerosis. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2020; 41 (6): 1131-1134. DOI: 10.3174/ajnr.A6567

14. Hemond C.C., Bakshi R. Magnetic Resonance Imaging in Multiple Sclerosis. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 2018; 8 (5): a028969. DOI: 10.1101/cshperspect.a028969

15. Traboulsee A., Simon J.H., Stone L., Fisher E., Jones D.E., Malhotra A., Newsome S.D., Oh J., Reich D.S., Richert N., Rammohan K., Khan O., Radue E.W., Ford C., Halper J., Li D. Revised Recommendations of the Consortium of MS Centers Task Force for a Standardized MRI Protocol and Clinical Guidelines for the Diagnosis and Follow-Up of Multiple Sclerosis. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2016; 37 (3): 394-401. DOI: 10.3174/ajnr.A4539

16. Filippi M., Rocca M.A., Ciccarelli O., De Stefano N., Evangelou N., Kappos L., Rovira A., Sastre-Garriga J., Tintoré M., Frederiksen J.L., Gasperini C., Palace J., Reich D.S., Banwell B., Montalban X., Barkhof F.; MAGNIMS Study Group. MRI criteria for the diagnosis of multiple sclerosis: MAGNIMS consensus guidelines. *Lancet Neurol.* 2016; 15 (3): 292-303. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00393-2

frequency of cortical lesions in patients with multiple sclerosis. *Neurology.* 2010; 75 (14): 1234-40. DOI:10.1212/WNL.0b013e3181f5d4da

6. Mike A., Glanz B.I., Hildenbrand P., Meier D., Bolden K., Liguori M., Dell’Oglio E., Healy B.C., Bakshi R., Guttmann C.R. Identification and clinical impact of multiple sclerosis cortical lesions as assessed by routine 3T MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2011; 32 (3): 515-21. DOI: 10.3174/ajnr.A2340

7. Favaretto A., Poggiali D., Lazzarotto A., Rolma G., Causin F., et al. The Parallel Analysis of Phase Sensitive Inversion Recovery (PSIR) and Double Inversion Recovery (DIR) Images Significantly Improves the Detection of Cortical Lesions in Multiple Sclerosis (MS) since Clinical Onset. *PLOS ONE.* 2015; 10 (5): e0127805. DOI: 10.1371/journal.pone.0127805

8. Geurts J.J., Rosendaal S.D., Calabrese M., Ciccarelli O., Agosta F., Chard D.T., Gass A., Huerga E., Moraal B., Pareto D., Rocca M.A., Wattjes M.P., Yousry T.A., Uitdehaag B.M., Barkhof F.; MAGNIMS Study Group. Consensus recommendations for MS cortical lesion scoring using double inversion recovery MRI. *Neurology.* 2011; 76 (5): 418-24. DOI: 10.1212/WNL.0b013e31820a0cc4

9. Simon B., Schmidt S., Lukas C., Gieseke J., Träber F., Knol D.L., Willinek W.A., Geurts J.J., Schild H.H., Barkhof F., Wattjes M.P. Improved in vivo detection of cortical lesions in multiple sclerosis using double inversion recovery MR imaging at 3 Tesla. *Eur Radiol.* 2010; 20 (7): 1675-83. DOI:



10.1007/s00330-009-1705-y

10. Marques J.P., Gruetter R. New developments and applications of the MP2RAGE sequence—focusing the contrast and high spatial resolution R1 mapping. *PLoS One*. 2013; 8 (7): e69294. DOI: 10.1371/journal.pone.0069294

11. Okubo G., Okada T., Yamamoto A., Kanagaki M., Fushimi Y., Okada T., Murata K., Togashi K. MP2RAGE for deep gray matter measurement of the brain: A comparative study with MP2RAGE. *J Magn Reson Imaging*. 2016; 43 (1): 55-62. DOI: 10.1002/jmri.24960

12. Sun H., Cleary J.O., Glarin R., Kolbe S.C., Ordidge R.J., Moffat B.A., Pike G.B. Extracting more for less: multi-echo MP2RAGE for simultaneous T1 -weighted imaging, T1 mapping, R2\* mapping, SWI, and QSM from a single acquisition. *Magn Reson Med*. 2020; 83 (4): 1178-1191. DOI: 10.1002/mrm.27975

13. Demortière S., Lehmann P., Pelletier J., Audoin B., Callot V. Improved Cervical Cord Lesion Detection with 3D-MP2RAGE Sequence in Patients with Multiple Sclerosis. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2020; 41 (6): 1131-1134. DOI:

10.3174/ajnr.A6567

14. Hemond C.C., Bakshi R. Magnetic Resonance Imaging in Multiple Sclerosis. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018; 8 (5): a028969. DOI: 10.1101/cshperspect.a028969

15. Traboulsee A., Simon J.H., Stone L., Fisher E., Jones D.E., Malhotra A., Newsome S.D., Oh J., Reich D.S., Richert N., Rammohan K., Khan O., Radue E.W., Ford C., Halper J., Li D. Revised Recommendations of the Consortium of MS Centers Task Force for a Standardized MRI Protocol and Clinical Guidelines for the Diagnosis and Follow-Up of Multiple Sclerosis. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2016; 37 (3): 394-401. DOI: 10.3174/ajnr.A4539

16. Filippi M., Rocca M.A., Ciccarelli O., De Stefano N., Evangelou N., Kappos L., Rovira A., Sastre-Garriga J., Tintorè M., Frederiksen J.L., Gasperini C., Palace J., Reich D.S., Banwell B., Montalban X., Barkhof F.; MAGNIMS Study Group. MRI criteria for the diagnosis of multiple sclerosis: MAGNIMS consensus guidelines. *Lancet Neurol*. 2016; 15 (3): 292-303. DOI: 10.1016/S1474-4422(15)00393-2.