

Е.И. Маткевич^{1,2}, Е.А. Ладик¹, Е.В. Бриль¹, О.С. Зимнякова¹, В.В. Брюхов³

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТРУКТУР СРЕДНЕГО МОЗГА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПРОТОКОЛА МРТ 3 Тл В ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва

³ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Научный центр неврологии, Москва

Контактное лицо: Елена Ивановна Маткевич, e-mail: ei.matkevich@gmail.com

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить результаты и значение изменения параметров протокола программы SWAN на МРТ 3 Тл при сканировании структур среднего мозга головы у пациентов для раннего выявления признаков болезни Паркинсона.

Материал и методы: Исследование проведено на 22 пациентах мужского и женского пола возрастом от 30 до 77 лет. Проанализированы протоколы обзорного МРТ-исследования головного мозга и его двух модификаций в программе SWAN с уменьшением толщины среза. Выбраны значимые параметры для визуализации структур среднего мозга, которые в последующем оценивали эксперты-рентгенологи.

Результаты: Определены параметры режима SWAN при МРТ сканировании, модификация которых приводит к повышению четкости визуализации нигросомы-1. Установлено, что при тонкослойных (толщиной среза 1,2 и 2 мм) модификациях протоколов сканирования головного мозга в 3,4–4,1 раза чаще выявляются ранние диагностически значимые для болезни Паркинсона особенности нигросомы-1, чем при использовании обзорного протокола (с толщиной среза 4 мм).

Заключение и выводы: Установлена важность выбора параметров протокола МРТ при исследованиях структур среднего мозга для повышения эффективности визуализации нигросомы-1. Использование в неврологическом стационаре в ходе рутинного исследования при болезни Паркинсона последовательности SWAN на аппарате МРТ 3 Тл с толщиной среза 2 мм и менее позволяет достигнуть лучших результатов её визуализации по сравнению с обзорной МРТ с толщиной среза 4 мм при высокой согласованности между экспертами, что соответствует европейским рекомендациям по нейровизуализации.

Ключевые слова: лучевая диагностика, МРТ 3 Тл, черная субстанция, болезнь Паркинсона, нигросома-1, межэкспертная согласованность

Для цитирования: Маткевич Е.И., Ладик Е.А., Бриль Е.В., Зимнякова О.С., Брюхов В.В. Оценка результатов визуализации структур среднего мозга при изменении протокола МРТ 3 Тл в диагностике болезни Паркинсона // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69. № 4. С. 71–76. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-4-71-76

E.I. Matkevich^{1,2}, E.A. Ladik¹, E.V. Bril¹, O.S. Zimnyakova¹, V.V. Bryukhov³

Assessment of Midbrain Structure Visualization with Modified 3 Tesla MRI Protocols for Enhanced Parkinson's Disease Diagnosis

¹ A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

³ Research Center of Neurology, Moscow, Russia

Contact person: E.I. Matkevich, e-mail: ei.matkevich@gmail.com

ABSTRACT

Purpose: To assess the outcomes and implications of modifying SWAN protocol parameters on a 3 Tesla MRI for midbrain structure imaging in patients to detect signs of Parkinson's disease.

Material and methods: The study was conducted on 22 patients of both genders, ranging in age from 30 to 77 years. Protocols for the standard MRI brain examination and its two variations in the SWAN program, which involved reducing the slice thickness, were analyzed. Key parameters for the visualization of midbrain structures were identified, and subsequently evaluated by expert radiologists.

Results: Parameters within the SWAN protocol for MRI scanning were identified, the modification of which enhances the clarity of nigrosome-1 visualization. It was established that thin-slice modifications of the brain scanning protocols (slice thicknesses of 1.2 and 2 mm) reveal early, diagnostically significant features of nigrosome-1 for Parkinson's disease 3.4 to 4.1 times more frequently than the standard survey protocol with a slice thickness of 4 mm.

Conclusion: The significance of selecting appropriate MRI protocol parameters for studying midbrain structures to enhance the visualization effectiveness of nigrosome-1 has been confirmed. Employing the SWAN sequence on a 3 Tesla MRI scanner with a slice thickness of 2 mm or less in a neurological department setting during routine Parkinson's disease examinations achieves superior imaging results compared to conventional survey MRI protocols with a 4 mm slice thickness. This approach demonstrates high inter-rater reliability and aligns with European recommendations for neuroimaging.

Keywords: radiation diagnostics, 3 Tesla MRI, substantia nigra, Parkinson's disease, nigrosome-1, inter-rater agreement

For citation: Matkevich EI, Ladik EA, Bril EV, Zimnyakova OS, Bryukhov VV. Assessment of Midbrain Structure Visualization with Modified 3 Tesla MRI Protocols for Enhanced Parkinson's Disease Diagnosis. Medical Radiology and Radiation Safety. 2024;69(4):71–76. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-4-71-76

Введение

Болезнь Паркинсона (БП) является вторым по распространенности возрастным нейродегенеративным заболеванием. В настоящее время в мире насчитывается около 6 млн человек, живущих с этим заболеванием, а по прогнозам к 2040 г. эта цифра удвоится и достигнет 12 млн чел. [1]. Классическая диагностика БП проводится путем клинического осмотра и основывается на наличии в неврологическом статусе нескольких основных симптомов – тремора покоя, гипокинезии и ригидности. Но примерно у 20 % пациентов с БП этот диагноз устанавливается довольно поздно [2]. Кроме того, существуют сложности с дифференциальной диагностикой БП на ранних стадиях с другими формами атипичного паркинсонизма (мультисистемная атрофия, прогрессирующий надъядерный паралич, кортико-базальная дегенерация), эссенциальным тремором и дистонией.

В настоящее время ведется активный поиск ранних биомаркеров, позволяющих поставить этот диагноз как можно раньше и точнее [3]. Одно из перспективных направлений исследований в этой области – поиск биомаркеров нейровизуализации, которые могли бы быть использованы для выявления и подтверждения БП на ранних стадиях в качестве независимых показателей прогрессирования заболевания. К таким биомаркерам можно отнести однофотонную эмиссионную компьютерную томографию переносчика дофамина (DAT-SPECT) и позитронно-эмиссионную томографию с фтордопой (F-DOPA PET), которые позволяют обнаружить нейрохимические изменения в дофаминовой системе, которые уже успешно используются в клинической практике в других странах, но пока практически недоступны в нашей стране.

В связи с этим использование усовершенствованной высокопольной магнитно-резонансной томографии (МРТ) показало многообещающие результаты в ранней диагностике БП, а также при мониторинге прогрессирования заболевания [4] и является перспективным методом для использования в качестве ранней диагностики в нашей стране в связи с достаточной доступностью МРТ.

Одной из структур головного мозга, оценка которой важна для суждения о выраженности симптомов БП, является черная субстанция. Визуально черная субстанция представляет собой гипointенсивную на SWAN (SWI) двухслойную зону с отложением железа в задних отделах ножек мозга симметрично с двух сторон (на МРТ-изображениях выглядит как парные темные образования, которые отдельными авторами именуются как «хвост ласточки» [5]). В дорсальной части черной субстанции определяется гиперинтенсивный участок – нигромоса-1 (на МРТ-изображениях визуализируется как светлый промежуток между «ножками ласточки»), что лучше всего видно на аксиальных срезах с наклоном по орбито-миотальной линии.

Известно, что с возрастом у человека визуализация нигромсомы-1 не ухудшается, а при БП – ухудшается [6], но это трудно выявляется при применяемом в рутинной практике обзорном МРТ-протоколе сканирования головы. Для этого могут использоваться МРТ-протоколы SWAN (SWI). Избыточное депонирование железа в черной субстанции [7] при БП визуализируется как сужение или полное исчезновение расстояния между «хвостом ласточки». Эти изменения рассматриваются как объективные признаки дегенерации нигромсомы-1.

Цель исследования — оценить результаты и значение изменения параметров протокола программы SWAN на МРТ 3 Тл при сканировании структур среднего мозга головы у пациентов для раннего выявления признаков болезни Паркинсона.

Материал и методы

Пациенты

Исследование было выполнено 22 пациентам, из них 11 женщин, 11 мужчин в возрасте от 30 до 77 лет. В основной группе было 8 больных с установленным по клиническим признакам диагнозом болезни Паркинсона 2 и 3 стадии. Стадии БП определяли с помощью функциональной шкалы Hoehn–Yahr. В контрольную группу вошли 14 пациентов, наблюдавшихся в отделении неврологии, которым проводили МРТ-исследование с целью исключения у них патологии структур головного мозга и у которых по МРТ-заключению такой патологии не было выявлено. Общая характеристика пациентов в сформированных группах приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика пациентов в сформированных группах исследования

Characteristics of patients in the established study groups

Показатели	Группы пациентов	
	Болезнь Паркинсона	Контроль
Количество пациентов	8	14
из них		
мужчин	5 (62,5 %)	6 (42,9 %)
женщин	3 (37,5 %)	8 (57,1 %)
Средний возраст, лет ($M \pm m$)	63 $\pm$ 2,5	57 $\pm$ 4,2

Все участники подписали добровольное информированное согласие на обследование и обработку персональных данных.

Методика проведения МРТ-исследований

Исследования выполняли на аппарате GE SignaArchitect при магнитной индукции 3 Тл с использованием 19-канальной головной катушки. У каждого из 22 пациентов исследование в режиме SWAN проводили по трём вариантам – 1) обзорный МРТ-протокол, 2) модификация 1 – тонкослойный прицельный протокол с толщиной среза 1,2 мм с полем обзора только на средний мозг, 3) модификация 2 – тонкослойный обзорный протокол с 2 мм. Параметры обзорного протокола и его модификаций приведены в табл. 2.

Укладка пациента проводилась с тщательной фиксацией головы с помощью мягких вспомогательных элементов в катушке (рис. 1).

В качестве экспертов привлекались 4 врача-рентгенолога (1 врач – со стажем работы 1 год, 2 врача – со стажем работы 9 лет и 1 врач – со стажем работы 15 лет), без доступа к персональным данным пациентов, с дальнейшим изучением межэкспертной согласованности [8].

Статистическая обработка результатов

Для определения морфофункциональных характеристик нормы и патологии проводилась качественная оценка МР-изображения в режиме SWAN на уровне среднего мозга на 6–7 срезах, при этом отмечалось на-

Таблица 2

Параметры обзорного МРТ-протокола и его модификаций 1 и 2, используемые для повышения качества визуализации нигросомы-1

Parameters of the standard MRI protocol and its modifications 1 and 2 used to enhance the visualization quality of nigrosome-1

Параметры МРТ-протокола*	Варианты МРТ-протокола режим SWAN		
	Обзорный протокол	Модификация 1 – тонкослойный прицельный протокол	Модификация 2 – тонкослойный обзорный протокол
Толщина среза, мм	4	1,2	2,0
Протяженность сканирования, мм	94	28 (только средний мозг)	94
Область сканирования	Весь мозг от макушки до линии большого затылочного отверстия	Средний мозг	Весь мозг от макушки до линии большого затылочного отверстия
Расстояние между срезами, мм	1	0,3	1
Размер матрицы, мм	288×288	384×384	320×320
Echo train Length, мм	4	4	4
TR	41,5	66,2	36,6
TE	22,9	24,6	19,1
NEX	1	1	1
FLIP ANGEL	10	15	15
Тип сбора данных	3D	3D	3D
Фильтр	none	none	none
Время сканирования	2 мин 17 с	4 мин 25 с	4 мин 6 с
Размер пикселя, мм	0,8×0,8	0,6×0,6	0,7×0,7

Примечание: * – Название параметров у производителя GE

личие промежутка между ножками черной субстанции – нигросомы-1 [9].

Визуальный анализ изображений нигросомы-1 проводили с использованием следующих трех градаций: 1 балл – норма (нигросома-1 четко визуализируется с обеих сторон), 2 балла – патология (отсутствие визуализации нигросомы-1 с одной стороны), 3 балла – патология (отсутствие визуализации нигросомы-1 с двух сторон).

На рис. 2 представлены МРТ-изображения трех пациентов с разными паттернами визуализации нигросомы-1.

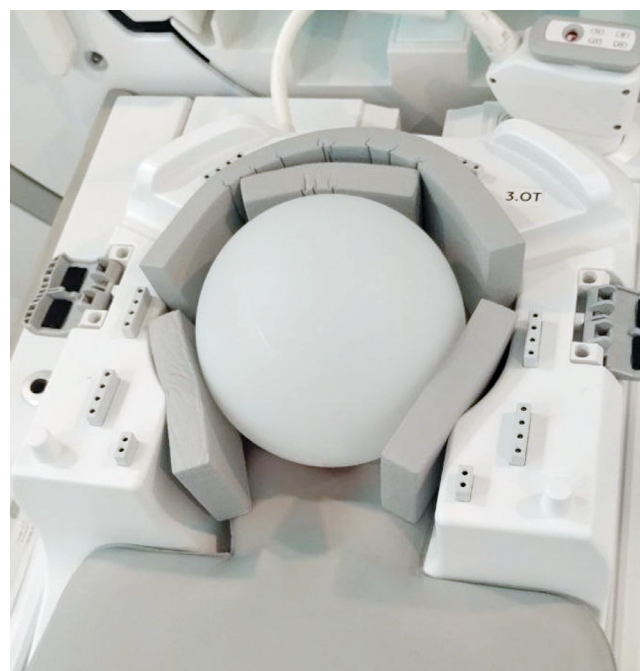


Рис. 1. Фиксация головы пациента с помощью мягких вспомогательных элементов при проведении МРТ-сканирования

Fig. 1. Stabilization of the patient's head using soft support elements during MRI

Результаты и обсуждение

При оценке МР-изображений при применяемых протоколах МРТ установлено, что уровень визуализации нигросомы-1 зависит как от протокола, так и от опыта работы врача рентгенолога. У всех 8 пациентов с БП всеми четырьмя экспертами была отмечена деградация нигросомы-1 с одной (2 балла) или с двух (3 балла) сторон (табл. 3).

Как видно из табл. 3, при обзорном протоколе нигросомы-1 с одной стороны удается визуализировать только в 12,5 % случаев, а в 87,5 % случаев она совершенно не видна, что заставляет экспертов расценивать это как двухстороннюю деградацию нигросомы-1. Протоколы с тонкими срезами 2 мм и меньше у пациентов с БП позволяют в 43–52,1 % случаев или в 3,4–4,1 раза чаще, чем при обзорном протоколе 4 мм выявлять признаки БП при односторонней деградации нигросомы-1. На основании данных результатов можно полагать, что протоколы с тонкими срезами позволяют на более ранних

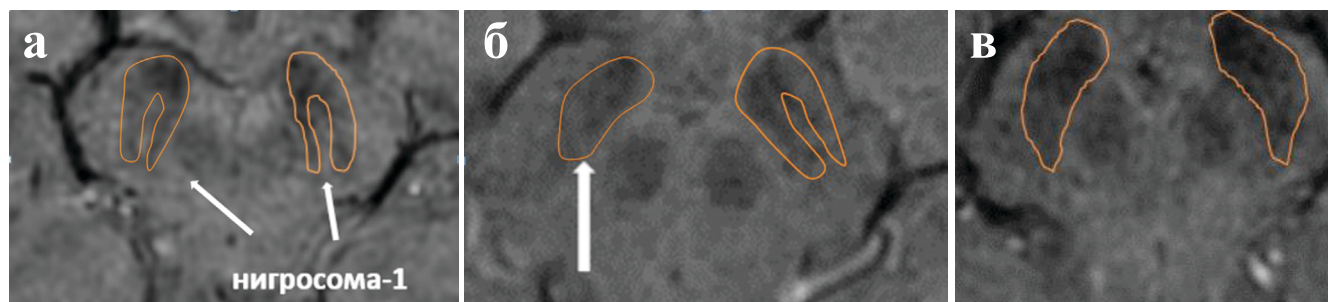


Рис. 2. Оценка деградации нигросомы-1 с использованием трехчленной порядковой шкалы; (а) 1 балл – норма, нигросома-1 четко визуализируется с обеих сторон; (б) 2 балла – отсутствие визуализации нигросомы-1 с одной стороны – белая стрелка; (в) 3 балла – отсутствие визуализации нигросомы-1 с двух сторон

Fig. 2. Evaluation of nigrosome-1 degradation using a three-point ordinal scale; (a) 1 point – normal, Nigrosome-1 is clearly visualized on both sides; (б) 2 points - absence of visualization of Nigrosome-1 on the one side – white arrow; (в) 3 points – absence of visualization of Nigrosome-1 on both sides

Таблица 3

Частота выявления экспертами степени деградации нигросомы-1 на МР-изображениях у пациентов с БП

Frequency of expert detection of nigrosome-1 degradation on MRI images in patients with PD

Эксперты (стаж работы)	Градации нигросомы-1 у пациентов с БП, установленные разными экспертами, %								
	Обзорный протокол, 4 мм			Тонкослойный прицельный протокол, 1,2 мм			Тонкослой- ный обзор- ный прото- кол, 2 мм		
	Частота выявления по степеням деградация нигросомы-1 *								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 эксперт (1 год)	0	25	75	0	62,5	37,5	0	62,5	37,5
2 эксперта (9 лет)**	0	0	100	0	43,8	50	0	33,3	50
1 эксперт (15 лет)	0	12,5	87,5	0	50	50	0	33,3	66,7
Средняя частота выявления 4 экспертами, %	0	12,5	87,5	0	52,1	45,8	0	43	40

Примечание:

* – согласно методике исследования 1 – норма, то есть полная визуализации нигросомы-1; 2 – односторонняя потеря дифференцировки нигросомы-1; 3 – двухсторонняя потеря дифференцировки нигросомы-1;

** – приведены средние значения оценок двумя экспертами со стажем работы 9 лет.

стадиях выявлять структурные изменения нигросомы-1, характерные для БП, что согласуется с Европейскими рекомендациями по нейровизуализации [10].

У 14 пациентов контрольной группы частоты выявления четырьмя экспертами признаков деградации нигросомы-1 при 1, 2 и 3-м протоколах МРТ-сканирования близки (табл. 4). Отмечается достаточно высокий уровень гипердиагностики деградации: 40,5 % – при стандартном МРТ-протоколе 4 мм, 54,3 % – при протоколе 1,2 мм, 58,3 % – при протоколе 2 мм, причем частота гипердиагностики имеет тенденцию возрастать при увеличении стажа работы врача-рентгенолога.

Таблица 4

Частота выявления экспертами степени деградации нигросомы-1 на МРТ-изображениях у пациентов контрольной группы

Frequency of expert detection of nigrosome-1 degradation levels on MRI images in control group patients

Эксперты (стаж работы)	Градации нигросомы-1, у пациентов из контрольной группы, установленными разными экспертами, %								
	Обзорный протокол, 4 мм			Тонкослойный прицельный протокол, 1,2 мм			Тонкослойный обзорный протокол, 2 мм		
	Частота выявления по степеням деградации нигросомы-1 *								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 эксперт (1 год)	64,3	28,6	7,1	64,3	21,4	14,3	62,5	37,5	0
2 эксперта (9 лет) **	35,6	21,4	7,1	39,3	35,7	25	50	50	0
1 эксперт (15 лет)	42,8	28,6	28,6	14,3	21,4	64,3	12,5	25	62,5
Средняя частота выявления 4-мя экспертами. %	47,5	26,2	14,3	39,3	19,8	34,5	41,7	37,5	20,8

Примечание:

* – согласно методике исследования, 1 – норма, то есть полная визуализации нигросомы-1; 2 – односторонняя потеря дифференцировки нигросомы-1, 3 – двухсторонняя потеря дифференцировки нигросомы-1;

** – приведены средние значения оценок двумя экспертами со стажем работы 9 лет.

При анализе межэкспертной согласованности (табл. 5) протокол с толщиной среза 4 мм у пациентов контрольной группы показал наибольшие различия в оценках экспертов. Однако высокое значение коэффициента согласованности (ICC) демонстрирует, что разные специалисты приходят к схожим мнениям при оценке одного и того же медицинского случая при разных параметрах, что повышает доверие к диагностическому методу и снижает вероятность ошибочных заключений.

Таблица 5

Межэкспертная согласованность оценок признаков деградации нигросомы-1
Inter-rater reliability of the assessment of nigrosome-1 degradation features

Варианты МРТ-протокола режим SWAN	Внутригрупповая изменчивость SSW	Межгрупповая изменчивость SSB	Коэффициент согласованности ICC
Пациенты с БП			
Обзорный протокол, 4 мм	0,06	0,6	0,91
Тонкослойный прицельный протокол, 1,2 мм	0,4	0,92	0,93
Тонкослойный обзорный протокол, 2 мм	0,07	0,94	0,93
Контрольная группа			
Обзорный протокол, 4 мм	0,93	13	0,93
Тонкослойный прицельный протокол, 1,2 мм	0,31	4,33	0,93
Тонкослойный обзорный протокол, 2 мм	0,76	10,65	0,93

Основной задачей программ SWAN/SWI является диагностика острых и перенесенных кровоизлияний и сосудистых аномалий головного мозга, и это входит в общепринятый стандарт при выполнении МРТ головного мозга [11].

Как видно из данных экспертной оценки, самые лучшие показатели визуализации нигросомы-1 были у тонкослойного прицельного протокола 1,2 мм, однако она включала в себя только средний мозг и ее продолжительность составляла более 4 мин (табл. 2).

При использовании тонкослойного прицельного протокола приходилось проводить дополнительное МРТ-исследование с обзорным протоколом и захватом всех структур мозга для исключения очагов геморрагического пропитывания. То есть общее время сканирования составляло около 7 мин, что практически неприемлемо в условиях проведения МРТ в режиме 30 мин на пациента при стандартном приеме в условиях стационара.

Но при проведении только обычной обзорной МРТ головного мозга с толщиной среза 4 мм невозможно визуализировать ранние изменения черной субстанции и нигросомы-1, которые важны для выявления ранних стадий болезни Паркинсона.

Тонкослойный обзорный протокол программы SWAN с использованием толщины среза 2 мм показал, по мнению экспертов, хорошие возможности визуализации (табл. 3, рис. 3), при этом он длится 4 минуты и с его помощью можно оценить как состояние нигросомы-1, так и основные функции обзорного протокола – наличие или отсутствие сосудистых аномалий или кровоизлияний.

Согласно современным представлениям, для БП характерен длительный продромальный период (около 5–10 лет) с неспецифическими немоторными симптомами [12]: аносмия, запоры, депрессия, расстройство поведения в фазе сна с быстрыми движениями глаз, хроническая усталость, синдром беспокойных ног. Можно полагать, что исследованная модификация 2 (протокол

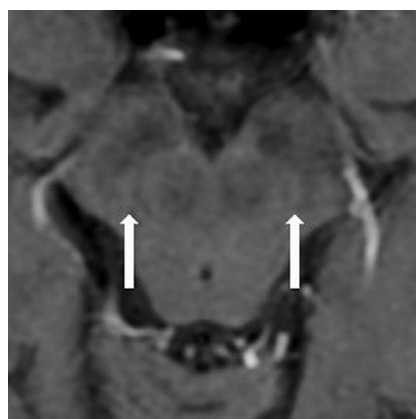


Рис. 3. Результаты МРТ структур среднего мозга с использованием тонкослойного обзорного протокола 2 мм, визуализация нигросомы-1 с обеих сторон (указано белыми стрелками)

Fig. 3. MRI results of midbrain structures using a 2 mm thin-slice survey protocol, with visualization of nigrosome-1 on both sides (white arrows)

2 мм) режима SWAN позволила бы при рутинном МРТ обследовании решать не только первоочередную задачу – выявлять наличие кровоизлияний и сосудистых аномалий, но и оценить структуру нигросомы-1, что является несомненным достоинством этой модификации. Но как показатель скрининга паркинсонизма деградация нигросомы-1 у здоровых людей не является на данный момент общепринятым, несмотря на высокую чувствительность 94,6 % и специфичность 94,4 % [13]. Это связано с неоднозначностью интерпретации значения структурных особенностей нигросомы-1, особенно на ранних стадиях болезни Паркинсона – отсутствуют убедительные доказательства того, что уровень дегенерации нигросомы-1 на МРТ позволяет точно утверждать о наличии паркинсонизма у здоровых людей.

Врачи-диагносты сталкиваются с трудностями при визуализации нигросомы-1 на МРТ и, в том числе, с гипердиагностикой деградации нигросомы-1 у здоровых лиц, как показало наше исследование. В исследованиях других авторов также подчеркивается сложность данной проблемы, что связано с несколькими причинами. Во-первых [14], с большим разнообразием вариантов строения нигросомы-1 в норме (рис. 4).

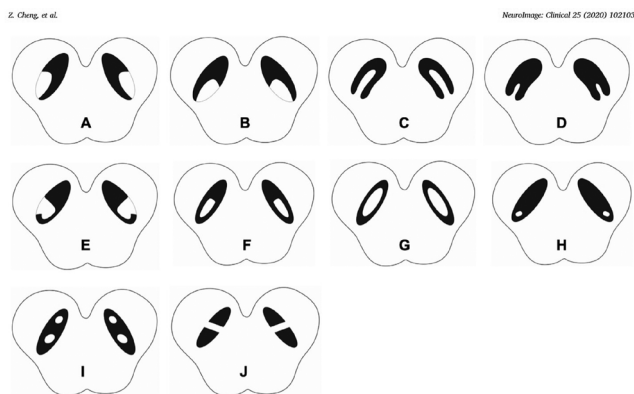


Рис. 4. Разнообразные варианты строения нигросомы-1 в норме [13]

Fig. 4. Variations in the normal structure of nigrosome-1 [13]

Во-вторых [10], с существующими разными критериями оценки степени деградации нигросомы-1. И, в-третьих, с отсутствием до настоящего времени стандартизации протоколов МРТ-сканирования. Имеются европейские рекомендации о необходимости сканирова-

ния в режиме SWAN для визуализации нигросомы-1 с толщиной среза 2 мм и меньше, однако на каждом отдельном томографе нужно индивидуально подбирать более детальные параметры, причем основным лимитом часто является продолжительность сканирования. В связи с этим, по нашему мнению, при использовании данного метода (SWAN) для ранней визуализации морфологических субстратов, характерных для БП, представляется важным строго придерживаться следующих рекомендаций:

1. Стандартизировать протоколы сканирования, с оптимизацией по времени сканирования.
2. Строго соблюдать правила укладки пациентов.
3. Стандартизировать протоколы описания – разработать единые критерии оценки степени деградации нигросомы-1 с целью уменьшения степени субъективности в интерпретации данных.
4. Обучать врачей единой методологии оценки морфологических изменений, а также поддерживать регулярный обмен мнениями, что поможет улучшить согласованность.
5. Взаимодействовать врачам-рентгенологам с врачами неврологами для сопоставления рентгенологических и клинических данных.

На наш взгляд, МРТ-сканирование с визуализацией нигросомы-1 целесообразно проводить следующим группам пациентов:

1. Пациентам с неопределенными или необычными симптомами: нетипичный тремор или ригидность без четкого происхождения, эссенциальный тремор, дистония.
2. Пациентам с ранними стадиями болезни Паркинсона или молодым пациентам для выявления потери нейронов в черной субстанции на ранних стадиях, когда другие методы могут быть неэффективны.
3. Пациентам с «синдромом паркинсонизма» без ясной этиологии – например, в результате приема определенных медикаментов, когда визуализация может помочь исключить диагноз болезни Паркинсона.
4. Пациентам с установленным диагнозом БП для мониторинга её прогрессирования.

Представляется важным продолжить данное исследование с увеличением числа наблюдений, количества экспертов и с включением пациентов с разными стадиями болезни Паркинсона. В плане дальнейшего развития подходов к оценке морфофункциональных особенностей нигросомы-1 одним из направлений может стать использование программ искусственного интеллекта для сегментации структур, анализа и категорирования полученных данных. При использовании этих программ важно следить за качеством выполнения МРТ-исследований и предоставленных МРТ-изображений, а также интерпретировать эти результаты с участием опытного врача-рентгенолога.

Заключение

Установлена важность выбора параметров протокола МРТ при исследованиях структур среднего мозга для повышения эффективности визуализации нигросомы-1. Использование в неврологическом стационаре в ходе рутинного исследования при болезни Паркинсона последовательности SWAN на аппарате МРТ 3 Тл с толщиной среза 2 мм и менее позволяет достигнуть лучших результатов её визуализации по сравнению с обзорной МРТ с толщиной среза 4 мм при высокой согласованности между экспертами, что соответствует европейским рекомендациям по нейровизуализации.

Благодарность

Авторы выражают благодарность экспертам врачам-рентгенологам к.м.н. Смолеву Дмитрию Михайловичу, Тарабанову Александру Владимировичу, а также к.м.н.

Юсуповой Милыше Мунировиче, заведующей отделением неврологии, врачу-неврологу Прониной Анастасии Константиновне.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. GBD 2016 Neurology Collaborators. Global, Regional, and National Burden of Neurological Disorders, 1990-2016: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 // *Lancet Neurol.* 2019. V.18, No. 5. P. 459-480. doi: 10.1016/S1474-4422(18)30499-X.
2. Khan A.Z., Lavu D., Neal R.D. Parkinson's Disease: a Scoping Review of the Quantitative and Qualitative Evidence of Its Diagnostic Accuracy in Primary Care // *Br J Gen Pract.* 2024. V.72, No. 74. P. e227-e232. doi: 10.3399/BJGP.2023.0409.
3. Li T., Le W. Biomarkers for Parkinson's Disease: How Good Are They? // *Neurosci Bull.* 2020. V.36, No. 2. P. 183-194. doi: 10.1007/s12264-019-00433-1.
4. Aludin S., Schmill L.A. MRI Signs of Parkinson's Disease and Atypical Parkinsonism // *Fortschr Röntgenstr.* 2021. No. 193. P. 1403-1410.
5. Diagnostic Imaging: Brain. Ed. Anne G., Osborn, Karen L., Salzman Miral D. Jhaveri. Elsevier Editor, 2016. ISBN: 978-0-323-37754-6.
6. Gramsch C., Reuter I., Kraff O., Nigrosome 1 Visibility at Susceptibility Weighted 7T MRI – a Dependable Diagnostic Marker for Parkinson's Disease or Merely an Inconsistent Age-Dependent Imaging Finding? // *Plos One.* 2017. No. 12. P. e0185489. doi: 10.1371/journal.pone.0185489.
7. Литвиненко И.В., Красаков И.В., Труфанов А.Г. Церебральные нарушения обмена железа как основа развития и прогрессирования нейродегенеративных заболеваний // *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2018. № 3. С. 68-78.
8. Андропова П.Л., Гаврилов П.В., Казанцева И.П., Кочанова Н.И., Наркевич А.Н., Трофимова Т.Н. Оценка межэкспертной согласованности при использовании ASPECTS врачами urgentной нейрорадиологии с различным стажем // *Радиология – практика.* 2022. № 5. С. 10-25. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-5-10-25>.
9. Москаленко, А. Н., Филатов, А. С., Федотова, Е. Ю., Коновалов, Р. Н., Иллариошкин, С. Н. Визуальный анализ нигросомы-1 в дифференциальной диагностике болезни Паркинсона и эссенциального тремора // *Вестник РГМУ.* 2022. № 1. С. 50-55. doi: 10.24075/vrgmu.2022.002.
10. Barkhof F., Jäger H.R., Thurnher M.M., Rovira Àlex // *Clinical Neuroradiology (The ESNR Textbook).* 2019. doi: 10.1007/978-3-319-68536-6.
11. Haller S., Haacke E.M., Thurnher M.M., Barkhof F. Susceptibility-Weighted Imaging: Technical Essentials and Clinical Neurologic Applications // *Radiology.* 2021. V.299, No. 1: P. 3-26. doi: 10.1148/radiol.2021203071.
12. Arnaldi D., Morbelli S., Picco A., Ferrara M., Buschiazzi A., Famà F., De Carli F., Nobili F. Functional Imaging in Pre-Motor Parkinson's Disease. *Q J Nucl Med Mol Imaging* // 2014. V.58, No. 4. P. 366-375. PMID: 25366709.
13. Kim E.Y., Sung Y.H., Lee J. Nigrosome 1 Imaging: Technical Considerations and Clinical Applications // *Br J Radiol.* 2019. V. 92, No. 1101. P. 20180842. doi: 10.1259/bjr.20180842.
14. Cheng Z., He N., Huang P., Li Y., Tang R., Sethi S.K., Ghassaban K., Yerramsetty K.K., Palutla V.K., Chen S., Yan F., Haacke E.M. Imaging the Nigrosome 1 in the Substantia Nigra Using Susceptibility Weighted Imaging and Quantitative Susceptibility Mapping: An Application to Parkinson's Disease // *Neuroimage Clin.* 2020. No. 25. P. 102103. doi: 10.1016/j.nicl.2019.102103.

REFERENCES

1. GBD 2016. Neurology Collaborators. Global, Regional, and National Burden of Neurological Disorders, 1990-2016: a Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet Neurol.* 2019;18;5:459-480. doi: 10.1016/S1474-4422(18)30499-X.
2. Khan A.Z., Lavu D., Neal R.D. Parkinson's Disease: a Scoping Review of the Quantitative and Qualitative Evidence of Its Diagnostic Accuracy in Primary Care. *Br J Gen Pract.* 2024;27;74:741:e227-e232. doi: 10.3399/BJGP.2023.0409.
3. Li T., Le W. Biomarkers for Parkinson's Disease: How Good Are They? *Neurosci Bull.* 2020;36;2:183-194. doi: 10.1007/s12264-019-00433-1.
4. Aludin S., Schmill L.A. MRI Signs of Parkinson's Disease and Atypical Parkinsonism. *Fortschr Röntgenstr* 2021;193: 1403-1410.
5. Diagnostic Imaging: Brain. Ed. Anne G. Osborn, Karen L. Salzman, Miral D. Jhaveri. Third Publisher: Elsevier. 2016. ISBN 978-0-323-37754-6.
6. Gramsch C., Reuter I., Kraff O. Nigrosome 1 Visibility at Susceptibility Weighted 7T MRI – a Dependable Diagnostic Marker for Parkinson's Disease or Merely an Inconsistent Age-Dependent Imaging Finding? *Plos One* 2017;12:e0185489. doi: 10.1371/journal.pone.0185489.
7. Litvinenko I.V., Krasakov I.V., Trufanov A.G. Cerebral Disorders of Iron Metabolism as the Basis of the Development and Progression of Neurodegenerative Diseases. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii* = Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2018;20;3S:68-78 (In Russ.).
8. Andropova P.L., Gavrilov P.V., Kazantseva I.P., Kochanova N.I., Narkevich A.N., Trofimova T.N. Interexpert Agreement Between Emergency Neuroradiologists with Different Levels of Experience in the Rating of ASPECTS. *Radiologiya – Praktika* = Radiology – Practice. 2022;5:10-25. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-5-10-25>. (In Russ.).
9. Moskalenko A.N., Filatov A.S., Fedotova E.Y., Kononov R.N., Illarioshkin S.N. Visual Analysis of Nigrosome-1 in the Differential Diagnosis of Parkinson's Disease and essential Tremor. *Bulletin of RSMU.* 2022;1:47-52. doi: 10.24075/brsmu.2022.002. (In Russ.).
10. Barkhof F., Jäger H.R., Thurnher M.M., Rovira Àlex. Clinical Neuroradiology (The ESNR Textbook). 2019. doi: 10.1007/978-3-319-68536-6.
11. Haller S., Haacke E.M., Thurnher M.M., Barkhof F. Susceptibility-Weighted Imaging: Technical Essentials and Clinical Neurologic Applications. *Radiology.* 2021;299;1:3-26. doi: 10.1148/radiol.2021203071.
12. Arnaldi D., Morbelli S., Picco A., Ferrara M., Buschiazzi A., Famà F., De Carli F., Nobili F. Functional Imaging in Pre-Motor Parkinson's Disease. *Q J Nucl Med Mol Imaging.* 2014;58;4:366-375.
13. Kim E.Y., Sung Y.H., Lee J. Nigrosome 1 Imaging: Technical Considerations and Clinical Applications. *Br J Radiol.* 2019;92;1101:20180842. doi: 10.1259/bjr.20180842.
14. Cheng Z., He N., Huang P., Li Y., Tang R., Sethi S.K., Ghassaban K., Yerramsetty K.K., Palutla V.K., Chen S., Yan F., Haacke E.M. Imaging the Nigrosome 1 in the Substantia Nigra Using Susceptibility Weighted Imaging and Quantitative Susceptibility Mapping: An Application to Parkinson's Disease. *Neuroimage Clin.* 2020;25:102103. doi: 10.1016/j.nicl.2019.102103.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.03.2024. **Принята к публикации:** 25.04.2024.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.03.2024. **Accepted for publication:** 25.04.2024.