

ДИНАМИЧЕСКАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА

Александр Петрович ДЕРГИЛЕВ^{1,2,3}, Павел Гаврилович СЫСОЛЯТИН^{1,2},
Анна Владимировна СУДАРКИНА^{1,3}, Игорь Анатольевич ПАНИН^{1,2}

¹ Новосибирский государственный медицинский университет Минздрава России
630091, г. Новосибирск, Красный просп., 52

² Государственная Новосибирская областная клиническая больница
630087, г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 130

³ Клиническая больница «РЖД-Медицина» г. Новосибирск
630003, г. Новосибирск, Владимировский спуск, 2а

Цель исследования – сравнение возможностей «быстрых» импульсных последовательностей для динамического сканирования с традиционными статичными изображениями в оценке биомеханики височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) и оптимизация протокола магнитно-резонансной томографии (МРТ) ВНЧС с включением в него методики динамического сканирования для улучшения диагностики внутренних нарушений. **Материал и методы.** Динамическая МРТ с использованием импульсных последовательностей HASTE и true-FISP включена в традиционный протокол МРТ ВНЧС 16 пациентам с жалобами на боли, нарушение подвижности, щелчки в ВНЧС. Исследования выполняли на сверхпроводящем МР-томографе Magnetom Espree (Siemens, ФРГ) с напряженностью поля 1,5 Тл. При сравнении статических и динамических серий изображений оценивалось наличие двигательных артефактов, артефактов магнитной восприимчивости, анализировались объем движений головки нижней челюсти и расположение суставного диска при различных ее положениях. **Результаты и их обсуждение.** Для динамической функциональной МРТ ВНЧС была выбрана импульсная последовательность HASTE, позволяющая получить лучший тканевой контраст и менее чувствительная к артефактам восприимчивости по сравнению с true-FISP. Наш первый опыт показал, что динамическая МРТ ВНЧС является непродолжительной дополнительной методикой, позволяющей детально оценивать биомеханику сустава во время активных движений нижней челюсти с высоким временным разрешением по сравнению с традиционными функциональными пробами. Однако минимальное переднее смещение диска может быть пропущено при анализе динамических серий изображений из-за плохой визуализации заднего края диска при закрытом рте. Методика требует дальнейшей оптимизации параметров и техники сканирования на примере большого количества пациентов с использованием принципов доказательной медицины, что позволит повысить качество диагностики и помочь клиницисту в выборе оптимальной тактики лечения пациентов с различной патологией ВНЧС.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав, ВНЧС, магнитно-резонансная томография, МРТ, динамическая МРТ, кино-МРТ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Автор для переписки: Дергилев А.П., a.dergilev@mail.ru

Для цитирования: Дергилев А.П., Сысолятин П.Г., Сударкина А.В., Панин И.А. Динамическая функциональная магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстного сустава. *Сибирский научный медицинский журнал.* 2020; 40 (1): 53–59. doi 10.15372/SSMJ20200107

Поступила в редакцию 05.11.19

DYNAMIC FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT

Alexandr Petrovich DERGILEV^{1,2,3}, Pavel Gavrilovich SYSOLYATIN^{1,2},
Anna Vladimirovna SUDARKINA^{1,3}, Igor Anatoljevich PANIN^{1,2}

¹Novosibirsk State Medical University of Minzdrav of Russia
630091, Novosibirsk, Krasny av., 52

²State Novosibirsk Regional Clinical Hospital
630087, Novosibirsk, Nemirovich-Danchenko str., 130

³Novosibirsk Railway Clinical Hospital
630003, Novosibirsk, Vladimirovsky ramp, 2a

The aim of the study was to compare the potential of fast pulse sequences and traditional static images for evaluation of temporomandibular joint (TMJ) biomechanics and to optimize the magnetic resonance imaging (MRI) protocol of TMJ by inclusion of dynamic scanning to improve the diagnosis of internal derangements. **Material and methods.** Dynamic MRI with HASTE and true-FISP pulse sequences was integrated into conventional MRI examination of TMJ in 16 symptomatic patients with pain, restricted motion and clicking in the joint. MRI was performed on superconductive 1.5 T scanner Magnetom Espree (Siemens, Germany). The presence of motion and susceptibility artifacts, range of mandible head motion and intrarticular disc location in different jaw positions were analyzed when comparing static and dynamic series. **Results and discussion.** HASTE was chosen for dynamic functional MRI of TMJ because it was less prone to susceptibility artifacts and provided better tissue contrast compared to true-FISP. Our initial experience has demonstrated dynamic scanning to be a time-efficient supplementary technique providing detailed information about TMJ biomechanics during active jaw movements at a high temporal resolution compared to traditional MRI examination. However, minimal anterior disc dislocation could be missed on dynamic series due to poor visualization of the posterior disc band on full closing. The further optimization of dynamic scanning technique on a large patients group using principles of the evidence-based medicine is needed. This would allow improving the diagnosis and assisting clinicians to optimize treatment strategy in a wide range of TMJ disorders.

Key words: temporomandibular joint, TMJ, magnetic resonance imaging, MRI, dynamic MRI, cine-MRI.

Conflict of interests. Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

Correspondence author: Dergilev A.P., e-mail: a.dergilev@mail.ru

Citation: Dergilev A.P., Sysolyatin P.G., Sudarkina A.V., Panin I.A. Dynamic functional magnetic resonance imaging of temporomandibular joint. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2020; 40 (1): 53–59 [In Russian]. doi 10.15372/SSMJ20200107

Received 05.11.19

Заболевания и повреждения височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) широко распространены. По данным различных авторов, частота суставной патологии среди взрослого населения составляет от 2 до 50 %, а среди стоматологических пациентов достигает 70–95 %. Поражения сустава приносят людям большие страдания, приводят к функциональным нарушениям, вызывают эстетические неудобства. Разнообразие суставной патологии требует проведения комплексного лучевого обследования для разработки и осуществления высокотехнологичных методов лечения. Наиболее частой формой поражения сустава являются внутренние нарушения, заключающиеся в дислокации, нарушении целостности мягкотканых элементов сустава.

Среди современных диагностических методов самыми эффективными и надежными в оценке внутренних нарушений ВНЧС в настоящее время считаются магнитно-резонансная томография (МРТ) и артроскопия. При этом МРТ, являясь неинвазивной методикой, позволяет получать сопоставимые с артроскопией результаты в оценке положения и подвижности суставного диска [3]. Современные сверхпроводящие магнитно-резонансные томографы, создающие однородное магнитное поле высокой напряженности, позволяют получать изображения с высоким пространственным разрешением. Это обстоятельство сделало МРТ общепризнанным «золотым стандартом» в диагностике нетравматических поражений ВНЧС с возможностью детальной оценки мягкотканых

элементов сустава и изменений костного мозга в структуре костных элементов сустава. Непрерывное совершенствование технологии сканирования позволило добиться высокого временного разрешения, дав новые возможности для динамических и функциональных исследований в режиме реального времени.

Чаще всего под функциональной МРТ ВНЧС понимают проведение исследования с открыванием рта для определения расположения суставного диска при приведении и отведении нижней челюсти. При этом производят сбор статичных серий изображений (со средним временем сканирования от 2 до 4 мин) в положении привычной окклюзии и при максимальном отведении нижней челюсти, не позволяющих получать информацию о взаимоотношениях в суставе в промежуточных положениях и о биомеханике движений в суставе.

Первые попытки получить изображения в кинорежиме были предприняты еще в прошлом веке. Использование доступных в то время методик быстрого сбора данных позволило уменьшить отрицательное влияние артефактов от движения на качество изображений, получить дополнительную информацию о биомеханике сустава в норме и при различных видах смещения суставного диска. Но временное разрешение при таких исследованиях оставалось относительно низким, а динамическое исследование по существу являлось псеводинамическим [2, 3]. Кроме того, доступные в то время «быстрые» градиентные импульсные последовательности подвержены артефактам восприимчивости, что существенно снижало качество изображений при наличии металла в зоне исследования, а неоднородность магнитного поля на границе воздуха и ткани делала потенциальной проблемой близость наружного слухового прохода [5].

Истинные динамические функциональные исследования стали возможными благодаря использованию многоканальных катушек, методик параллельного сканирования, радиального сбора данных и «быстрых» импульсных последовательностей, таких как true-SSFP (true-fast imaging in a steady-state precession) [6, 8], HASTE (Half-Fourier Acquired Single-Shot Turbo Spin-Echo) [7], FLASH (fast low angle shot) [4, 5, 9].

Изложенная выше информация определила цель нашей работы – сравнение информативности изображений, полученных при динамическом сканировании с использованием разных видов «быстрых» импульсных последовательностей и при функциональных пробах в статичном режиме для оптимизации протокола МРТ ВНЧС.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Динамическое сканирование ВНЧС проведено в качестве дополнения к стандартному исследованию ВНЧС 16 пациентам (5 мужчин, 11 женщин в возрасте от 22 до 45 лет), обратившимся в отделение челюстно-лицевой хирургии Государственной Новосибирской областной клинической больницы с жалобами на боли, нарушение подвижности, щелчки в ВНЧС.

Исследования выполняли на сверхпроводящем МР-томографе Magnetom Espree (Siemens, ФРГ) с напряженностью поля 1,5 Тл. Сканирование осуществляли в положении лежа на спине. Сбор данных проводили с использованием многоканальной головной катушки. Перед проведением исследования все пациенты подробно инструктировались о методике проведения исследования и действиях во время динамического сканирования.

Протокол исследования включал:

- 1) получение прицельных изображений головы в трех ортогональных плоскостях;
- 2) получение аксиальных T2-взвешенных изображений через головки нижней челюсти, используемых для планирования статических и динамических серий;
- 3) получение статических серий в кососагитальной и косокоронарной плоскостях;
- 4) проведение функциональной пробы с отведением нижней челюсти (для фиксации челюсти использовали одноразовый шприц);
- 5) проведение динамического функционального исследования.

Динамическое сканирование заключалось в многократном получении изображений кососагитального среза, проходящего через центральный отдел головки нижней челюсти перпендикулярно длинной оси головки, оптимального для оценки движения суставного диска.

Динамическое функциональное исследование включало получение динамических серий в двух режимах (HASTE и true-FISP) последовательно для каждого сустава в процессе медленного дискретного открывания рта пациентом в соответствии со звуком работающего томографа до максимального отведения нижней челюсти с последующим закрыванием рта до исходного положения. В параметры динамической последовательности закладывалось 40 томограмм, позволяющих получить изображения сустава при максимальном количестве положений нижней челюсти, соответственно возможностям каждого пациента.

Общая продолжительность исследования, включая инструктаж и подготовку пациента,

составляла не более 15–20 мин. В процессе исследования подбирались наиболее подходящие параметры импульсных последовательностей и отрабатывалась техника динамического сканирования. Для оценки результатов исследования анализировали 4 динамические серии, полученные в двух режимах для каждого сустава, с анализом изображений в серии и просмотром серии в кинорежиме. Также проводилось сравнение информации о биомеханике движений суставного диска и головки нижней челюсти, полученной из анализа функциональной пробы и динамического сканирования. При сравнении статических и динамических серий изображений оценивалось наличие двигательных артефактов, артефактов магнитной восприимчивости, анализировались объем движений головки нижней челюсти и расположение суставного диска при различных ее положениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее подходящим для визуализации суставного диска определен режим HASTE, который позволял по сравнению с режимом true-FISP добиваться лучшего мягкотканного контраста и оказался наименее чувствительным к артефактам магнитной восприимчивости. Выбранные для дальнейшего исследования параметры сканирования приведены в таблице.

При динамическом сканировании у всех пациентов получена детальная информация о функции ВНЧС, включая подвижность суставного диска и головки нижней челюсти, взаиморасположение и траекторию движения головки и суставного диска в процессе дискретного перемещения при отведении и приведении нижней челюсти. Просмотр полученных изображений в кинорежиме

позволил более полноценно понять биомеханику движений костных и мягкотканых суставных элементов.

Анализ динамических и статических серий показал преимущества динамического исследования в оценке максимального объема движений нижней челюсти, индивидуального для каждого пациента. При использовании функциональных проб оцениваемый объем движения определялся используемым в качестве фиксатора положения нижней челюсти шприцем. При динамическом исследовании максимальный объем движения определялся пациентом самостоятельно. Кроме того, динамическое сканирование позволяло оценивать взаимоотношения внутрисуставных структур в каждой точке траектории движения, в то время как функциональная проба представляла информацию только о двух конечных положениях (рис. 1, 2). Проведение динамического исследования не требовало использования дополнительных приспособлений для создания фиксированного положения челюсти при ее отведении, оказалось легко выполнимым и непродолжительным, существенно не влияя на общую продолжительность исследования.

По результатам нашей работы недостатком динамического сканирования оказалась невозможность отчетливой визуализации заднего края суставного диска в положении функциональной окклюзии за счет одинаково низкого сигнала от диска и расположенных рядом структур височной кости, состоящих из компактной костной ткани и воздухоносных ячеек. Недостаточная визуализация заднего края суставного диска может не позволить выявить минимальное переднее смещение диска, отчетливо определяемое на статических томограммах при функциональных пробах.

Таблица. Протоколы динамической МРТ ВНЧС

Table. Protocols for dynamic MRI of TMJ

Показатель	S. Krohn et al. [5]		Y. Shimazaki et al. [6]	Y. Wang et al. [7]	P. Yen et al. [8]	S. Zhang et al. [9]	Представленное исследование
Напряженность поля магнита, Тл	3		1,5	1,5	3	3	1,5
Вид катушки	Головная		Поверхностная	Головная	Поверхностная	Поверхностная	Головная
Вид импульсной последовательности	Spoiled FLASH (T1)	Refocused FLASH (T2/T1)	True-FISP	HASTE	True-FISP	Refocused FLASH	HASTE
Поле обзора, см	19,2 × 19,2	19,2 × 19,2	15 × 15	13 × 13	15 × 15	19,2 × 19,2	14 × 14
Матрица, см	256 × 256	256 × 256	128 × 128	128 × 128	128 × 128	256 × 256	192 × 192
Толщина среза, мм	3	3	3	7	6	5	7
TR/TE, мс	2,3/1,3	3,92/2,15	3,63/1,82	1180/65	3,6/1,8	4,3/2,2	1100/72

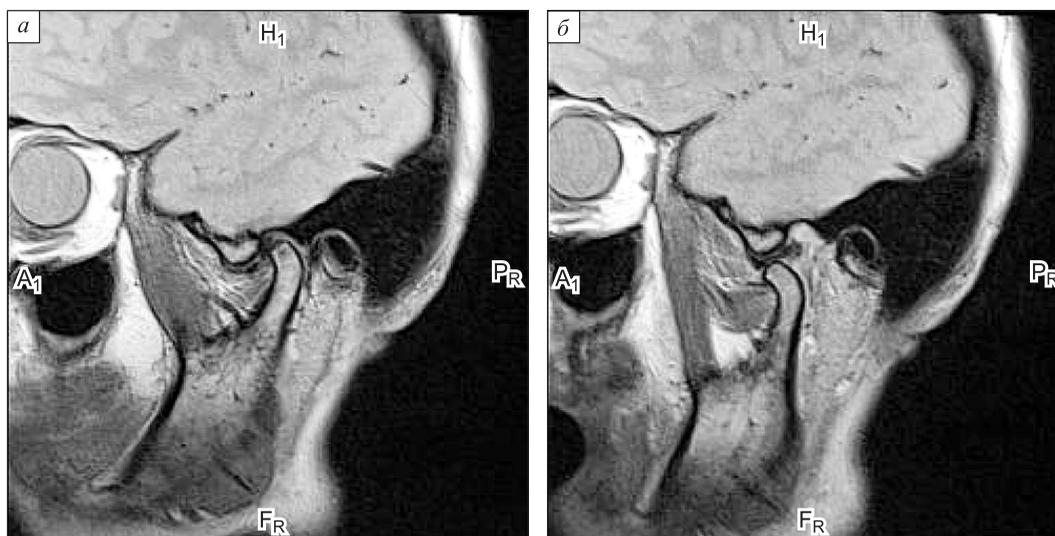


Рис. 1. МР-томограммы правого ВНЧС с закрытым (а) и открытым (б) ртом. На статических томограммах показаны взаимоотношения головки нижней челюсти и суставного диска в конечных положениях полного диапазона движений. При закрытом рте отчетливо визуализируется переднее смещение суставного диска

Fig. 1. MR images of the right TMJ in the closed- (a) and open-mouthed positions (b). Static images reflect mandible head and intraarticular disk relationships at the endpoints of the total range of movements. Minimal anterior disk displacement is clearly identified in the closed-mouthed position

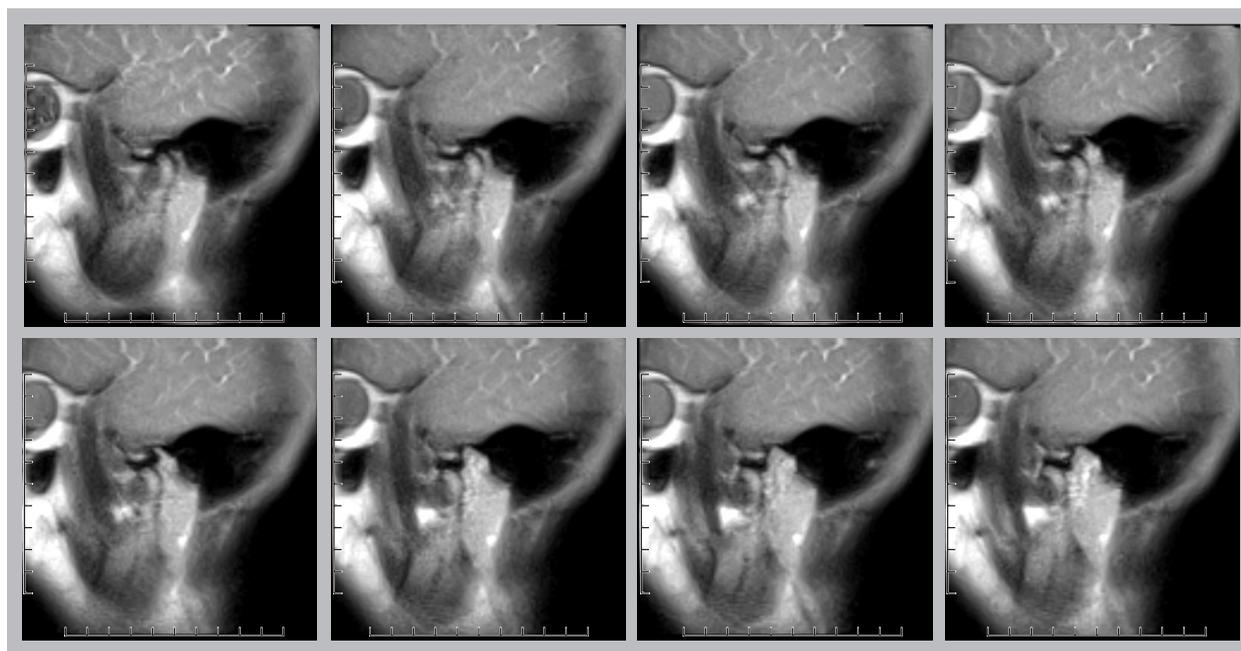


Рис. 2. МР-томограммы правого ВНЧС той же пациентки в различные фазы отведения нижней челюсти. При динамическом исследовании отражены все фазы движения головки нижней челюсти и суставного диска. Минимальное переднее смещение суставного диска при закрытом рте не определяется вследствие плохой дифференцировки заднего края диска

Fig. 2. MR images of the right TMJ of the same patient in different phases of the jaw abduction. Dynamic study reflects all phases of mandible head and intraarticular disk motion. Minimal anterior displacement of the articular disk is missed in the closed-mouthed position due to poor delineation of the posterior disk band

ОБСУЖДЕНИЕ

В литературе приведены результаты исследования возможностей динамической МРТ ВНЧС на томографах с напряженностью поля 1, 1,5 и 3 Тл. Основные параметры импульсных последовательностей, использованных авторами для сканирования в динамическом режиме, приведены в таблице. В работе отечественных авторов отмечено, что при динамическом сканировании синтезировалось по 20 томограмм на полный цикл движений нижней челюсти [1]. По нашим данным, более полную картину позволяет получить использование 40 томограмм. В исследовании Y. Shimazaki et al. [6], как и в нашей работе, показано, что использованная методика динамического сканирования на основе true-SSFP уступает статичным Pd-взвешенным изображениям в визуализации суставного диска и требует дальнейшей доработки. Кроме того, авторы подчеркнули, что сочетанное использование true-SSFP с методикой спектрального жироподавления вызывает нечеткость границ костных структур, затрудняя оценку деформации.

Y. Wang et al. [7] обнаружили большую информативность динамического сканирования на основе HASTE в сочетании с техникой параллельного сбора данных по сравнению со статичными Pd-взвешенными изображениями в оценке объема движений в суставе и положения суставного диска. Кроме того, авторы отмечают меньшую чувствительность использованной ими методики к двигательным артефактам по сравнению со статичными изображениями. Общеизвестно, что в силу физических особенностей режима HASTE он менее восприимчив к двигательным артефактам. Результаты нашей работы позволили сделать вывод, что не менее значимым фактором уменьшения двигательных артефактов является тщательный инструктаж пациентов и сокращение времени сканирования за счет оптимизации протокола.

В исследовании S. Krohn et al. [5] на томографе с напряженностью поля 3 Тл с использованием 64-канальной головной катушки и последовательности FLASH (в сочетании с радиальным сбором данных и специально разработанным для МРТ в режиме реального времени алгоритмом реконструкции) достигли временного разрешения 66,7 мс на срез (15 изображений в секунду) при пространственном разрешении $0,75 \times 0,75 \times 5$ мм.

По результатам нашей работы недостатком динамического сканирования оказалась невозможность отчетливой визуализации заднего края суставного диска в положении функциональной

окклюзии за счет одинаково низкого сигнала от диска и расположенных рядом структур височной кости, состоящих из компактной костной ткани и воздухоносных ячеек. Аналогичные данные представлены Y. Wang et al. [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен собственный опыт применения динамической функциональной МРТ ВНЧС. Результаты проделанной работы, анализ опыта отечественных и зарубежных коллег доказывают высокий потенциал динамической функциональной МРТ ВНЧС, позволяющей более детально оценивать биомеханику движений в суставе по сравнению с традиционно выполняемыми функциональными пробами.

Однако методика требует дальнейшей оптимизации параметров и техники сканирования, более глубокого изучения новых аспектов биомеханики сустава при непрерывном динамическом сканировании на примере большого количества пациентов с целью разработки критериев смещения суставного диска при применении данной методики с использованием методов доказательной медицины, что позволит существенно повысить качество диагностики и помочь клиницисту в выборе оптимальной тактики лечения пациентов с различной патологией ВНЧС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2673992 РФ. Способ оценки дисфункции височно-нижнечелюстных суставов с помощью магнитно-резонансной томографии в режиме реального времени / Ю.А. Васильев, Д.В. Душкова, Д.А. Лежнев, Д.В. Давыдов, Ю.Н. Васильева, М.О. Дутова. Опубл. 03.12.2018.
2. Patent 2673992 RF. Method for estimating dysfunction of temporomandibular joints by means of magnetic resonance imaging in real-time / Yu.A. Vasilev, D.V. Dushkova, D.A. Lezhnev, D.V. Davydov, Yu.N. Vasileva, M.O. Dutova. Publ. 03.12.2018. [In Russian].
3. Eberhard D., Bantleon H.P., Steger W. Functional magnetic resonance imaging of temporomandibular joint disorders. *Eur. J. Orthod.* 2000; 22 (5): 489–497. doi: 10.1093/ejo/22.5.489
4. Farghally Amin M., Hassan M.A., Barakat K.I. The accuracy of dynamic Magnetic Resonance Imaging in evaluation of internal derangement of the temporomandibular joint; comparison with arthroscopic findings. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2012; 43 (3): 429–436. doi: 10.1016/j.ejrnm.2012.05.007
5. Hopfgartner A.J., Tymofiyeva O., Ehses P., Rottner K., Boldt J., Richter E.-J., Jakob P.M. Dynamic MRI of the TMJ under physical load. *Dentomaxil-*

lofac. Radiol. 2013; 42 (9): 20120436. doi:10.1259/dmfr.20120436

5. Krohn S., Gersdorff N., Wassmann T., Merboldt K.D., Joseph A.A., Buegers R., Frahm J. Real-time MRI of the temporomandibular joint at 15 frames per second – A feasibility study. *Eur. J. Radiol.* 2016; 85 (12): 2225–2230. doi 10.1016/j.ejrad.2016.10.020

6. Shimazaki Y., Saito K., Matsukawa S., Onizawa R., Kotake F., Nishio R., Abe K. Image quality using dynamic MR imaging of the temporomandibular joint with true-FISP sequence. *Magn. Reson. Med. Sci.* 2007; 6 (1): 15–20. doi: 10.2463/mrms.6.15

7. Wang Y., Mulholland T.P., Pramanik B.K., Nusbaum A.O., Babb J., Pavone A.G., Fleisher K.E. Dy-

namic sagittal half-fourier acquired single-shot turbo spin-echo MR imaging of the temporomandibular joint: initial experience and comparison with sagittal oblique proton-attenuation images. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (6): 1126–1132. doi: 10.3174/ajnr.A0487

8. Yen. P., Katzberg R.W., Buonocore M.H., Sonico J. Dynamic MR imaging of the temporomandibular joint using a balanced steady-state free precession sequence at 3 T. *Am. J. Neuroradiol.* 2013; 34: E24–E26. doi: 10.3174/ajnr.A2734

9. Zhang S., Gersdorff N., Frahm J. Real-time magnetic resonance imaging of temporomandibular joint dynamics. *The Open Medical Imaging Journal.* 2011; 5: 1–7. doi: 10.2174/1874347101105010001

Сведения об авторах:

Дергилев А.П., д.м.н., проф., ORCID: 0000-0002-8637-4083, e-mail: a.dergilev@mail.ru

Сысолятин П.Г., д.м.н., проф., ORCID: 0000-0002-4045-2664, e-mail: sysolyatinpg@mail.ru

Сударкина А.В., ORCID: 0000-0003-0810-4720, e-mail: a.sudarkina@mail.ru

Панин И.А., к.м.н., ORCID: 0000-0002-3938-1846, e-mail: Mfs@oblmed.nsk.ru

Information about authors:

Dergilev A.P., doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0002-8637-4083, e-mail: a.dergilev@mail.ru

Sysolyatin P.G., doctor of medical sciences, professor, ORCID: 0000-0002-4045-2664, e-mail: sysolyatinpg@mail.ru

Sudarkina A.V., ORCID: 0000-0003-0810-4720, e-mail: a.sudarkina@mail.ru

Panin I.A., candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-3938-1846, e-mail: Mfs@oblmed.nsk.ru