

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ФИКСАТОРА НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ДЛЯ ОТКРЫВАНИЯ РТА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПСЕВДОДИНАМИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНЫХ СУСТАВОВ

Хомутова Е.Ю.<sup>1</sup>, Савченко Р.К.<sup>1</sup>, Хомутов А.Д.<sup>1</sup>, Бадамшин А.М.<sup>2</sup>

1 – ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России. г. Омск, Россия

2 - ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет». г. Омск, Россия

**В**исочно-нижнечелюстные суставы (ВНЧС) – наиболее сложные по своему строению и набору функций из суставов человеческого организма. Функциональные нарушения ВНЧС составляют до 80% всей суставной патологии костно-суставного аппарата человека (аномалии развития, посттравматические, воспалительные и возрастные изменения). Растет количество патологии ВНЧС у пациентов детского и молодого возраста. При магнитно-резонансной томографии (МРТ) обоих ВНЧС необходимо проведение исследований в положении окклюзии челюстей и в положении открытого рта (до положения максимальной амплитуды открытого рта), для чего должно применяться устройство фиксации нижней челюсти (фиксатор различной амплитуды открытого рта) при разнообразной, в том числе несимметричной, патологии суставов; совместимое с МРТ; простое в техническом решении; комфортное и безопасное для использования пациентом; эффективное для проведения полного цикла программ динамического и псевродинамического исследования обоих ВНЧС.

**Цель исследования.** Представить собственный опыт оптимизации проведения динамической (и псевродинамической) МРТ ВНЧС, с демонстрацией путей создания моделей и алгоритма использования нового механического фиксатора для открывания рта с разной амплитудой (в первую очередь – до положения с максимально открытым ртом).

**Результаты.** Представлено новое устройство – фиксатор нижней челюсти для открывания рта при динамической (до псевродинамической) МРТ в вариантах многоразового и одноразового использования. Определена исследовательская группа пациентов (68 чел.), в которую были включены пациенты с различными проявлениями дисфункции одного или обоих ВНЧС, в возрасте от 12 до 73 лет. Исключения составляли пациенты с тотальной контрактурой (или супертризмом) жевательных мышц, с выраженными тиками или синдромом навязчивых движений, в возбужденном состоянии и с общими противопоказаниями для проведения МРТ. После проведения МРТ ВНЧС пациентам проводилось анкетирование, в частности определяющее степень комфортности и удобства устройства. Описаны этапы создания и алгоритм использования нового механического фиксатора нижней челюсти для проведения динамической и псевродинамической МРТ, особенности использования устройства у пациентов разного возраста, с различной патологией ВНЧС. Обозначена блок-схема для удобного крепления механического фиксатора на нужную амплитуду открывания рта (даже при асимметричной дисфункции ВНЧС), для эффективного уменьшения болевого синдрома при использовании устройства (до 98-99%) и отсутствие необходимости активного сглатывания скопившейся слюны во время исследования (100%). Выбор варианта и отработанный пошаговый алгоритм использования ФНЧ позволили проводить МРТ ВНЧС в полном объеме, с получением качественных изображений – при полном наборе МР-программ в окклюзию и с открытым ртом – и с соблюдением максимальной комфортности и безопасности для пациентов с различной патологией обоих ВНЧС.

**Обсуждение.** При разработке и изготовлении представленного нами фиксатора нижней челюсти для МРТ ВНЧС в первую очередь решался вопрос исправления недостатков предшествующих технологических аналогов (позиционеров, роторасширителей), среди которых отсутствие одноразового варианта устройства – как дополнительный фактор безопасности при МРТ ВНЧС в период массовых респираторных вирусных и бактериальных инфекций и/или для пациентов с повышенным уровнем тревожности. Еще одной решенной задачей был поиск наилучшего материала для одноразового варианта устройства с абсолютной биоразлагаемостью при утилизации (с тенденцией рециклинга) и для снижения финансовых затрат (исключением

необходимости покупки антисептиков для обработки при многоразовом варианте устройства).

**Заключение.** Оптимизация проведения динамической и псеводинамической МРТ ВНЧС, в виде создания оригинального механического фиксатора нижней челюсти для максимального открывания рта (и при менее выраженной амплитуде) и при правильной методологии использования устройства, позволяет безопасно и просто проводить МРТ-исследования в полном объеме для пациентов с различной патологией обоих ВНЧС. Техническая простота и экономическая бюджетность устройства позволили не только сверх успешно провести пилотные испытания фиксатора, но и с высокой вероятностью прогнозировать скорейшее внедрение устройства в повседневную медицинскую практику.

**Ключевые слова:** височно-нижнечелюстные суставы, ВНЧС, магнитно-резонансная томография, МРТ, механический фиксатор, нижняя челюсть, полимеры.

Контактный автор: Хомутова Е.Ю., e-mail: elenahomutova68@gmail.com

*Для цитирования:* Хомутова Е.Ю., Савченко Р.К., Хомутов А.Д., Бадамшин А.М. Использование нового механического фиксатора нижней челюсти для открывания рта при проведении псеводинамической и динамической магнитно-резонансной томографии височно-нижнечелюстных суставов. REJR 2024; 14(3):131-144. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-3-131-144.

Статья получена: 25.04.24

Статья принята: 11.09.24

## USE OF A NEW MECHANICAL FIXATION OF THE MANDIBLE FOR OPENING THE MOUTH WHEN CARRYING OUT DYNAMIC MAGNETIC RESONANCE IMAGAPHY OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINTS

Khomutova E.Yu.<sup>1</sup>, Savchenko R.K.<sup>1</sup>, Khomutov A.D.<sup>1</sup>, Badamshin A.M.<sup>2</sup>

1 - Federal state budgetary educational institution of higher professional education "Omsk state medical University" Ministry of healthcare of the Russian Federation. Omsk, Russia.

2 - Federal state autonomous educational institution of higher education "Omsk state technical university". Omsk, Russia.

**T**he temporomandibular joints (TMJ) are the most complex in their structure and set of functions among the joints of the human body. Functional disorders of the TMJ account for up to 80% of all articular pathology of the human osteoarticular apparatus (developmental anomalies, post-traumatic, inflammatory and age-related changes). The number of TMJ pathologies in children and young patients is growing. Magnetic resonance imaging (MRI) of both TMJs requires research in the position of occlusion of the jaws and in the position of the open mouth (up to maximum amplitude), for which a device for fixing the lower jaw (a clamp of various amplitudes of the open mouth) should be used for various, including asymmetrical, pathologies of the joints, compatible with MRI; comfortable and safe for use by the patient; effective for conducting a full cycle of programs for dynamic and pseudodynamic research of both TMJs.

**Purpose.** Present your own experience in optimizing dynamic (and pseudodynamic) MRI of the TMJ, demonstrating ways to create models and an algorithm for using a new mechanical clamp for opening the mouth with different amplitudes (primarily with the mouth as open as possible).

**Results.** The presented new device is a mandibular fixator for opening the mouth during dynamic (pseudodynamic) MRI in reusable and disposable versions. A study group of patients (68 people) was determined, which included patients with various manifestations of dysfunction of one or both TMJs, aged from 12 to 73 years. Exceptions were patients with total contracture (or supertrismus) of the masticatory muscles, with severe tics or obsessive movement's syndrome, in an excited state, and with general contraindications for MRI. After MRI of both TMJs, patients were given a questionnaire, in particular determining the degree of comfort and convenience of the device.

The stages of creation and the algorithm for using a new mechanical fixator of the lower jaw for dynamic and pseudodynamic MRI are described, as well as the features of using the device in patients of different ages, with different pathologies of the TMJ. A block diagram is indicated for conveniently attaching a mechanical clamp to the desired amplitude of mouth opening (even with

asymmetric TMJ dysfunction), to effectively reduce pain when using the device (up to 98-99%) and the absence of the need for active swallowing of accumulated saliva during the study (100%). The choice of option and the proven step-by-step algorithm for using a low-pass filter made it possible to perform MRI of the TMJ in full, obtaining high-quality images - with a full set of MR programs in occlusion and with an open mouth - and with maximum comfort and safety for patients with various pathologies of both TMJs.

**Discussion.** When developing and manufacturing the presented lower jaw fixator for MRI of the TMJ, the issue of correcting the shortcomings of previous technological analogues (positioners, mouth gags) was primarily addressed, including the lack of a disposable version of the device - as an additional safety factor for MRI of the TMJ during mass respiratory viral and bacterial infections and/or for patients with an increased level of anxiety. Another solved problem was finding the best material for a disposable version of the device with absolute biodegradability during disposal (with a tendency to recycling) and to reduce financial costs (eliminating the need to purchase antiseptics for processing with a reusable version of the device).

**Conclusion.** Optimization of dynamic and pseudodynamic MRI of the TMJ, in the form of the creation of an original mechanical fixation of the lower jaw for maximum mouth opening (and with a less pronounced amplitude) and with the correct methodology for using the device, allows you to safely and easily conduct full MRI studies for patients with various pathologies both TMJs. The technical simplicity and cost-effectiveness of the device made it possible not only to successfully conduct pilot tests of the fixator, but also with a high probability to predict the speedy introduction of the device into everyday medical practice. The stages of creation and the algorithm for using a new mechanical fixator of the lower jaw for dynamic and pseudodynamic MRI are described, as well as the features of using the device in patients of different ages, with different pathologies of the TMJ. Convenient fastening of the mechanical clamp to the desired amplitude of mouth opening (even with asymmetric TMJ dysfunction), effective reduction of pain when using the device and the absence of the need for active swallowing of accumulated saliva during the study made it possible to perform MRI of the TMJ in full, with high-quality images.

Keywords: temporomandibular joints, TMJ, magnetic resonance imaging, MRI, mechanical fixation, lower jaw, polymers.

Corresponding author: Khomutova E.Yu., e-mail: elenahomutova68@gmail.com

*For citation: Khomutova E.Yu., Savchenko R.K., Khomutov A.D., Badamshin A.M. Use of a new mechanical fixation of the mandible for opening the mouth when carrying out dynamic magnetic resonance imaging of the temporomandibular joints. REJR 2024; 14(3):131-144. DOI: 10.21569/2222-7415-2024-14-3-131-144.*

Received: 25.04.24

Accepted: 11.09.24

**В**исочно-нижнечелюстные суставы (ВНЧС) – наиболее сложные по своему строению и набору функций из суставов человеческого организма. Являясь компонентом орофасциальной системы, оба ВНЧС включены в выполнение функций при приемах пищи, дыхании, артикуляции (для извлечения звуков) при разговоре и проявлении эмоций [1, 2, 3, 4]. Согласно мнению врачей-остеопатов ВНЧС являются главными суставами костно-суставного аппарата (КСА) [5, 6, 7]. ВНЧС относятся к группе мышечно-синовиальных диартрозов и выполняют широкий спектр движений в трех плоскостях [8]. При повреждении ВНЧС происходит нарушение выполнения одной или несколь-

ких функций орофасциальной системы и в последующем костно-суставного аппарата в целом [2, 5, 7, 9].

Функциональные нарушения ВНЧС составляют до 80% всей суставной патологии костно-суставного аппарата человека, среди которых аномалии развития, посттравматические, воспалительные и возрастные изменения [3, 4, 9]. Растет количество патологии ВНЧС у пациентов детского и молодого возраста, что, в частности, связывают с дисплазией соединительной ткани и установкой различных ортодонтических конструкций, в первую очередь брекетов (по лечебным и эстетическим показаниям) [5, 8, 10]. Психосоциальные факторы также могут быть причиной развития дисфункций ВНЧС, особенно в

период массовых заболеваний (например, что прослеживалось в период пандемии Covid-19) [11-14].

По оценкам ряда авторов распространенность дисфункции ВНЧС составляет до 12-15 % в общей популяции; составляют вторую по частоте из локализаций скелетно-мышечных болей (после поясничных болей) [1, 7, 10, 14]. По анализу Valesan с соавторами (2021 г) в США распространенность поражений ВНЧС составила до 31% среди взрослых пациентов и до 11 % среди пациентов детского возраста (до 18 лет). Внутренние нарушения у ВНЧС определяются у более чем 65% взрослых пациентов с клиническими проявлениями [15].

Согласно открытой статистике, в РФ от 27 до 76 % больных у стоматологов разных специальностей предъявляют жалобы: на нарушение функции ВНЧС (невозможность полноценно открывать рот, реже – полностью закрывать рот; жевать твердую или средней твердости пищу; щелчки; боли в области лица, мучающие длительное время и постоянно); на нарушение речи (до дизартрии); на асимметрию лица [1, 3, 16, 17]. До 70% пациентов на приеме у челюстно-лицевых хирургов выражают жалобы на боль в области одного или обоих ВНЧС [7, 16, 18, 19]. У всех больных проблема дисфункций ВНЧС снижает качество жизни (в том числе трудоспособность, настроение) и меняет внешний вид человека [11-13, 20, 21]. Своевременное и достоверное определение патологии ВНЧС, дифференциальная диагностика с неврологической, онкологической патологией, системными (ревматологическими, гематологическими) заболеваниями [21, 22, 23], планирование полноценного и успешного лечения, а также контроль за ним на всех этапах, возможны только с использованием самых достоверных методов лучевой диагностики – в первую очередь, магнитно-резонансной томографии (МРТ), являющейся золотым стандартом диагностики дисфункций ВНЧС [24-27].

На сегодняшний день сохраняется актуальной проблема проведения полноценной и комфортной диагностики патологии ВНЧС, несмотря на постоянно технологическое усовершенствование и возрастающую доступность МРТ ВНЧС [16, 25, 28, 29, 30]. При этом должна производиться оценка функциональных возможностей этих суставов у пациентов различных возрастов – псеводинамическая (только с максимально открытым ртом) и динамическая (с открыванием рта в разной амплитуде, для последующей записи кинопетлей) [26, 27, 28]. На сегодняшний

день количество динамических МРТ (дМРТ) исследований ВНЧС не соответствует востребованности [27, 28, 29]. МРТ-исследования с оценкой функции (дМРТ и пдМРТ) проводятся с вариативностью методологии, отсутствует стандартный протокол, что может привести к искажению результатов МРТ, проведению исследования в неполном объеме (только в положении привычной окклюзии) или к необходимости его повторного проведения. Таким образом, у пациентов формируется стойкая боязнь или предубежденность к проведению МРТ ВНЧС не только повторно, но и в первый раз. Немногочисленные публикации для оптимизации проведения МРТ ВНЧС не способствуют увеличению профессиональных знаний для отработки алгоритма проведения дМРТ ВНЧС. Поскольку увеличивается число различных патологий ВНЧС, остается необходимость в проведении МРТ ВНЧС с обязательной оценкой функции на всех этапах лечения, поэтому объективной необходимостью является улучшение условий для проведения дМРТ и пдМРТ, с целью повышения комфортности исследования и увеличения их количества.

Для проведения диагностики патологии ВНЧС необходимо соблюдение норм комфортности (в том числе при гарантировании безопасности) пациента при длительном проведении МРТ, включая этап проведения функциональных проб. При этом возникает необходимость в разработке различных форм и размеров устройства для осуществления исследования функционального этапа при МРТ ВНЧС, поиска различных материалов для его создания (для вариантов и многократного и однократного применения).

Представленные в открытых информационных источниках (в том числе в электронных базах данных PubMed, Web of Science, Elsevier, eLibrary) данные по этой тематике немногочисленны и достаточно противоречивы, что указывает на необходимость поиска технологического и методологического решений.

Исходя из этого, необходимым аспектом является создание алгоритма оптимизации процесса МРТ ВНЧС, что связано с созданием и прикладным усовершенствованием устройства – фиксатора нижней челюсти в положении максимально открытого рта, который должен обладать такими свойствами и облегчать проведение МРТ в полном объеме (с этапом оценки функции, в положении максимально открытого рта, в течение не менее 35-40 минут, с необходимостью лежать неподвижно, на спине, на фоне выра-

женного технического шума аппарата, при невозможности активного сглатывания скопившейся слюны). Все эти и другие особенности проведения пдМРТ ВНЧС и дМРТ ВНЧС должны быть полноценно изучены и решены; не должны снижать качество изображений (в частности из-за динамических артефактов), уменьшать потоки пациентов на необходимое исследование из-за страха боли, других неприятных ощущений – до категорического отказа пациентами проводить МРТ ВНЧС в полном объеме.

**Цель исследования.**

Представить собственный опыт оптимизации проведения псеводинамической (и динамической) МРТ ВНЧС (пдМРТ, дМРТ), с демонстрацией путей создания моделей и алгоритма использования нового механического фиксатора для открывания рта с разной амплитудой (в первую очередь – с максимально открытым ртом).

**Материалы и методы.**

В исследование были окончательно включены 68 пациентов в возрасте 12-73 лет (средний возраст – 39 лет), с разной патологией и с различной степенью дисфункции ВНЧС, по направлению от врачей – челюстно-лицевых хирургов, стоматологов-ортопедов, стоматологов-хирургов, ортодонтов, остеопатов [30]. Среди жалоб, кроме нарушения открывания рта в разной степени, в одном или обоих ВНЧС, пациенты отмечали боль, щелчки, покалывание в области суставов. Исключения составляли пациенты с тотальной контрактурой (или супертризмом) жевательных мышц, с выраженными тиками или синдромом навязчивых движений, после недавней травмы головы и лица, пациенты в возбужденном состоянии и с общими противопоказаниями для проведения МРТ. Пациенты, которые категорически отказались проводить псеводинамическую МРТ в полном объеме, также были исключены из выборки. Из выявленной патологии: повышенная подвижность суставной головки встречалась у 38 чел (55,9%), переднее вправляемое смещение суставного диска – у 28 чел (40,7%), непостоянное переднее невправляемое смещение суставного диска – у 10 чел (14,7%), постоянное переднее невправляемое смещение диска – у 4 чел (5,9%), постоянное переднее вправляемое смещение суставного диска с явлениями вторичного артроза – у 12 чел (17,6%), постоянное переднее невправляемое смещение суставного диска с явлениями вторичного артроза – у 4 чел (5,9%), заднее смещение суставного диска – у 2 чел (2,9). Из общего количества пациентов преобладали случаи

двухстороннего поражения ВНЧС – у 59 человек (86,8%). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в программе исследования. Пациентам был разъяснен пошаговый алгоритм программы, проведена беседа об использовании устройства при проведении пдМРТ (и дМРТ), с примеркой и оценкой положения устройства во рту (в зависимости от выраженности дисфункции в суставе (-ах)). После проведения МРТ ВНЧС пациентам проводилось анкетирование по нескольким разделам, в частности включающее вопросы о степени комфортности и безопасности устройства.

Всем пациентам была проведена МРТ ВНЧС на аппаратах 1,5 Т разных производителей оборудования, со стандартным протоколом для визуализации ВНЧС (в частности, с МР-программами последовательностей протонной плотности, 3D\_mFFE, FS\_TSE, а также FISP и trueFISP) [24, 26-28]. Использовались головная или поверхностная катушка для получения изображений структурных элементов обоих ВНЧС в аксиальной, коронарной и парасагиттальных проекциях. Разметка кососагиттальных изображений проводилась по аксиальным срезам на уровне суставных головок двумя блоками срезов, перпендикулярно длинной поперечной оси суставной головки и корректировалась по коронарным срезам параллельно ветвям нижней челюсти (Рис.1). При разметке кососагиттальных срезов поле обзора (FOV), как правило, не превышало 185 мм. При проведении всем пациентам МРТ ВНЧС в привычной окклюзию челюстей дополнительных фиксирующих устройств не требовалось, пациентов предупреждали об исключении активных движений.

При проведении всем пациентам пдМРТ ВНЧС с исследованием функции использовалась модель фиксатора нижней челюсти, на которую были получены патенты (патент РФ № 215760 U1, патент РФ 216813 U1), которые адекватно стабилизировали положение нижней челюсти пациента при открывании рта в пяти возможных последовательных амплитудах увеличения, в том числе на максимальную амплитуду открытия рта [31, 32]. Внешний вид фиксатора представлен на Рис. 2. Чертеж модели фиксатора представлен на Рис. 3.

Магнитный фиксатор нижней челюсти пациента (при вариантах многоцветного и одноцветного использования одинаковый) имеет форму несимметричной пятиступенчатой пирамиды, с четкими краевыми насечками на каждой ступени для закусывания, что позволяет фиксировать открывание

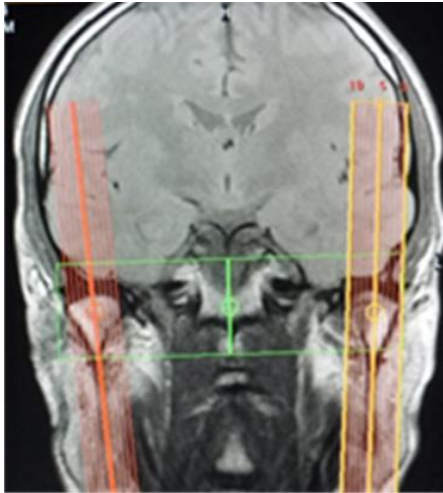


Рис. 1 а (Fig. 1 a)

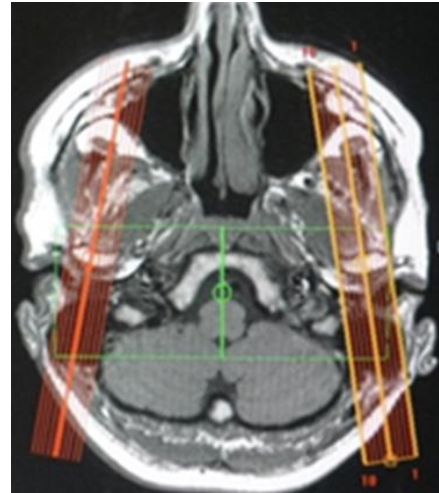


Рис. 1 б (Fig. 1 b)

**Рис. 1. МРТ.**

Разметка на коронарном и аксиальном срезах для получения кососагиттальных изображений на уровне суставных головок двумя блоками срезов, перпендикулярно длинной поперечной оси суставной головки, с корректировкой по коронарным срезам параллельно ветвям нижней челюсти, с контролем сагиттальных срезов поле обзора (FOV) до 185 мм.

**Fig. 1. MRI.**

Marking on coronal and axial sections to obtain oblique sagittal images at the level of the articular heads with two blocks of sections, perpendicular to the long transverse axis of the articular head, with correction for coronal sections parallel to the branches of the lower jaw, with control of sagittal sections, field of view (FOV) up to 185 mm.



Рис. 2 (Fig. 2)

**Рис. 2. Фотография.**

Внешний вид авторского фиксатора нижней челюсти (вид несимметричной пятиступенчатой пирамиды, с четкими краевыми насечками на каждой ступени для закусывания, с открыванием рта в диапазоне от 15 до 65 мм, с возможностью максимальным открытием рта без дискомфорта при асимметрии ВНЧС).

**Fig. 2. Photo.**

The appearance of the author's lower jaw retainer (a view of an asymmetrical five-step pyramid, with clear marginal notches on each step for biting, with mouth opening in the range from 15 to 65 mm, with the possibility of maximum mouth opening without discomfort with TMJ asymmetry).

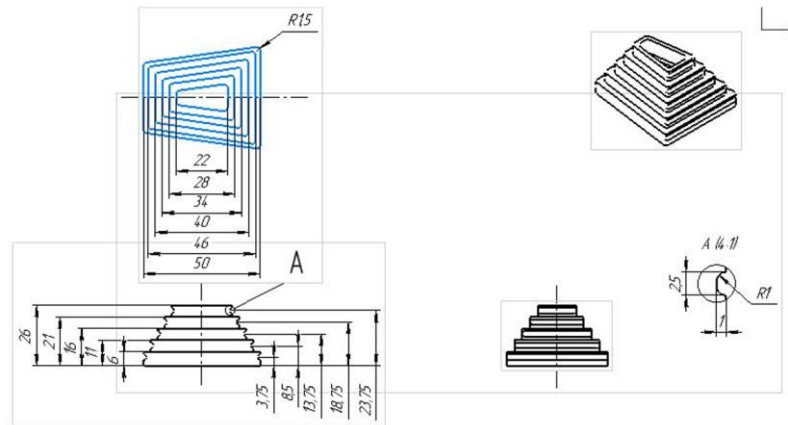


Рис. 3 (Fig. 3)

**Рис. 3. Схема-чертеж.**

Устройство – фиксатор нижней челюсти со всех сторон (размеры указаны в мм).

**Fig. 3. Scheme-drawing.**

Device - the fixator of the lower jaw from all sides (dimensions are indicated in mm).



Рис. 4 а (Fig. 4 а)



Рис. 4 б (Fig. 4 б)



Рис. 4 в (Fig. 4 с)



Рис. 4 г (Fig. 4 д)

**Рис. 4. Фотографии.**

Примерка устройства во рту перед укладкой пациента в аппарате МРТ. а, б) рука пациента размещает устройство во рту; в) фиксатор во рту пациента при асимметричном размещении, для более щадящего открывания рта с больной стороны; г) фиксатор во рту пациента при отсутствии болей и проблем с открыванием рта.

**Fig. 4. Photos.**

Trying on the device in the mouth before placing the patient in the MRI. a, b) the patient's hand places the device in the mouth; c) a retainer in the patient's mouth with asymmetrical placement, for more gentle opening of the mouth on the affected side; d) a retainer in the patient's mouth in the absence of pain and problems with opening the mouth.

рта в диапазоне от 15 до 65 мм. Высота ступеней подобрана таким образом, чтобы пациент мог максимально широко открывать рот без дискомфорта (даже до размещения фиксатора во рту, с разворотом - в горизонтальное положение минимального диаметра внутренней сквозной полости).

При выраженных дисфункциях ВНЧС амплитуда открывания рта может уменьшаться (до почти незначительного открывания), причем уменьшение может быть разным с обеих сторон ВНЧС, поэтому несимметричная форма фиксатора и его ступеней способны зафиксировать максимальное открывание рта и в этом случае (пациент закусывает фиксатор на определенном уровне конкретной секции) для исключения или минимизации дискомфорта (болевых ощущений, тремора, стягивания).

Фиксатор имеет тонкие стенки (толщиной в 2 мм), удобно и плотно размещается основной частью во рту пациента, что позволило включить в группу двоих пациентов, с адентией клыков и боковых резцов. Центральная часть фиксатора выполнена в виде сквозной полости с широким диаметром, что обеспечивает пациенту возможность свободно дышать во время исследования (подсушивая ротовую полость), не давая возможности скапливаться во рту слюне, с необходимостью ее постоянно сглатывать, и не вызывает признаков дискомфорта (кашель, раздражение, тревогу).

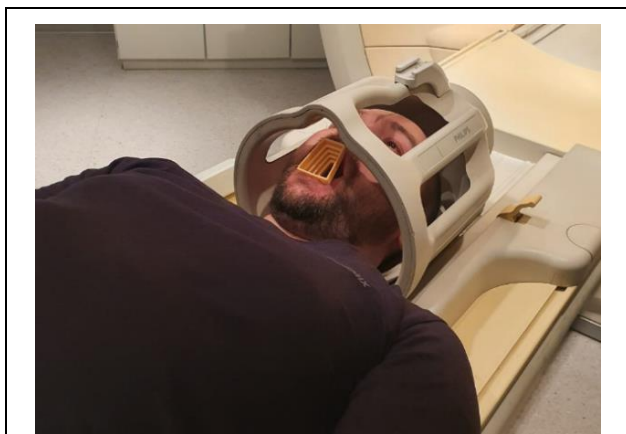


Рис. 5 (Fig. 5)

**Рис. 5. Фотография.**

Этап примерки устройства при нахождении пациента в МРТ.

**Fig. 5. Photo.**

The stage of trying on the device while the patient is in the MRI.

**Результаты.**

Для прикладной отработки методологии нами был разработан алгоритм использования фиксатора нижней челюсти, который включал разъяснительную беседу с пациентом и «примерку» устройства пациентом до начала исследования. Затраченное время для осуществления этого этапа составило в среднем 3-5 минут.

Фиксатор одноразового использования в индивидуальной упаковке или фиксатор многократного использования после обработки передавался в перчатках врачом-рентгенологом или рентгенолаборантом пациенту для «примерки», до размещения его на столе аппарата МРТ (Рис. 4, а,б).

Перед «примеркой» уточнялись жалобы пациента на боль во время открывания рта, при наличии стороны с более выраженным проявлением боли – соответственно для асимметричного размещения фиксатора во рту пациента, для более щадящего открывания рта с больной стороны (Рис. 4, в). При отсутствии болевых ощущений и проблем с открыванием рта, для максимальной оценки функции, пациенту предлагалось разместить фиксатор во рту в вертикальном положении максимального внутреннего размера (Рис. 4, г).

Следующим этапом «примерка» осуществлялась в положении пациента лежа на спине, на столе МРТ-аппарата, желательно после установки (подключения) РЧ-катушки. Положение пациента во время процедуры соответствовало стандартам проведения магнитно-резонансной томографии. Перед пробным введением фиксатора следует попросить пациента: 1 - сделать несколько равномерных вдохов-выдохов; 2 - потом открыть максимально рот; 3 - помочь установить фиксатор нижней челюсти пациенту в рот, чтобы зафиксировать максимальное открывание с обеих сторон насколько возможно (даже при асимметрии открывания рта) – с использованием поступательно всех имеющихся ступеней для увеличения высоты открывания рта, закрепив между зубами верхних и нижней челюстей (в основном фронтальными группами, резцы и клыки); 4 - попросить спокойно придышаться с фиксатором во рту в течение 5-7 секунд (Рис. 5); 5 - затем попросить пациента вынуть фиксатор изо рта нерабочей рукой, ориентируясь наощупь на наружные поверхности основания фиксатора; 6 - оставить фиксатор в нерабочей руке пациента (для правой – левой) на время проведения МРТ в период окклюзии рта (в положении привычно сомкнутых зубов).



Среднее время выполнения 2 шага алгоритма правильной методологии использования устройства в среднем составляло 2-3 минуты.

*Анкетирование.*

После проведения МРТ ВНЧС пациенты заполняли анкету, по результатам которой были определены основные показатели удовлетворенности использования устройства: минимальный дискомфорт отмечался только у пациентов младшей группы, связанный с общетехническими раздражителями при МРТ (выраженный технический шум аппарата, необходимость лежать неподвижно в замкнутой, узкой системе томографа и др.); почти полное отсутствие болевых ощущений и 100% согласие на повторное проведение пдМРТ и дМРТ ВНЧС в динамике, в соответствии с тактикой лечения или по другим медицинским показаниям. По результатам которой была составлена табл. 1 (включает ряд вопросов анкеты).

тель для МРТ ВНЧС, используемый нами в практической и научной работе ранее и как усовершенствованный прототип для создания актуального фиксатора нижней челюсти. Таблица №2 представляет наличие артефактов при использовании предыдущей и новой моделей устройств для пдМРТ ВНЧС.

**Обсуждение.**

При разработке и изготовлении представленного нами фиксатора нижней челюсти для пдМРТ и дМРТ ВНЧС в первую очередь решался вопрос исправления недостатков предшествующих технологических аналогов (позиционеров, роторасширителей), самым близким, из которых по технической сущности и достигаемому эффекту к предлагаемой полезной модели, является роторасширитель (патент RU 18623) [24]. Несмотря на основные, объединяющие признаки с нашей моделью (выполнение из МР-биосовместимого, биоинертного материала, различные возможности для многократной

**Таблица №1. Результаты анкетирования пациентов разных возрастных групп после проведения дМРТ ВНЧС.**

Возраст пациентов	Комфортность исследования	Простота использования	Болевые ощущения	Общая удовлетворенность	Согласие на повторную МРТ ВНЧС
12-18 (12 чел, 17,6%)	++	+++	отсутствовали	+++	+++
19-45 (31 чел, 45,6%)	+++	+++	отсутствовали	+++	+++
46-73 (25 чел, 36,8%)	+++	+++	отсутствовали	+++	+++

*Артефакты.*

Основные артефакты МР-изображений при использовании фиксатора нижней челюсти при пдМРТ ВНЧС отсутствовали. Среди основных МР-артефактов выделялись – отношение сигнал/шум (включались краевые артефакты, артефакты наложения спектра, артефакты потока); артефакты «намагниченности» (связанные со свойством материи намагничиваться в магнитном поле); артефакты от интенсивности сигнала; артефакты от однородности сигнала. Первый тип артефактов включает пациентозависимый и аппаратозависимые варианты возникновения; второй-четвертый типы – являются только аппаратозависимыми. Оценка качества полученных МР-томограмм после применения представленного устройства осуществлялась с помощью принципа бинарной классификации: «приемлемо»/ «не приемлемо». В качестве сравнения был выбран роторасшири-

санитарной обработки), недостатками этого прототипа и других устройств были, в частности, представление устройств для фиксации открытого рта только в одном варианте – для многократного использования, без учета необходимого дополнительного фактора безопасности в виде одноразового варианта устройства для проведения пдМРТ и дМРТ в период массовых респираторных вирусных и бактериальных инфекций и/или для пациентов с повышенным уровнем тревожности (в том числе, со слабой выраженностью клаустрофобии, др. невыраженными ментальными расстройствами) [24, 29]. Нельзя забывать, что психосоциальные факторы могут быть этиологическим фактором развития дисфункций ВНЧС. Доказана прямая связь между качеством жизни, интенсивностью боли и стойким ограничением работоспособности, особенно в период пандемии Covid-19, когда развитию ДВНЧС у многих пациентов

**Таблица №2. Артефакты МР-изображения при использовании разных моделей устройств для пдМРТ ВНЧС.**

Типы артефактов	Использование модели	Использование модели фиксатора
	роторасширителя	НЧ
отношение сигнал/шум	1-3*	0
артефакты «намагниченности»	1-3*	0
артефакты от интенсивности сигнала	1-3*	0
артефакты от однородности сигнала	1-3*	0

\*оценка по баллам включает: 0-4 балла – приемлемое МР-изображение, с наличием артефактов; 5-8 баллов – неприемлемое МР-изображение для интерпретации.

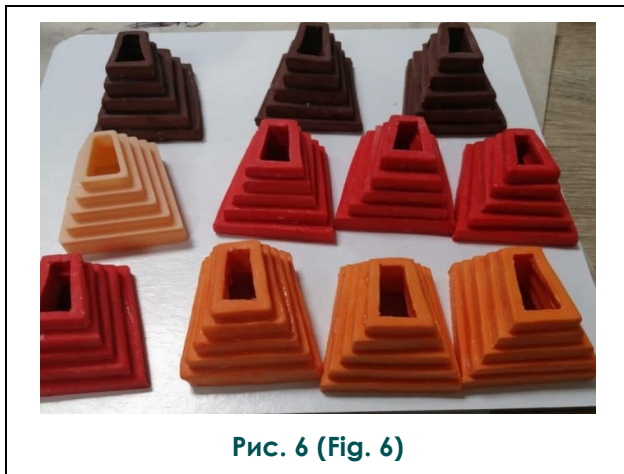


Рис. 6 (Fig. 6)

**Рис. 6. Фотография.**  
 Внешний вид устройства, выполненного из пищевых материалов.  
**Fig. 6. Photo.**  
 Appearance of the device made of food materials.

способствовало длительное состояние неопределенности, стресса – вследствие чего развивались мышечная гиперактивность и происходило усугубление бруксизма [13, 14].

Фиксатор нижней челюсти пациента для многократного использования несложен в изготовлении и гигиеничен: подвергается несложной гигиенической обработке различными физическими способами и простой утилизации. Большинство из необходимых свойств обладали ряд полимеров, большинство из которых достаточно давно используется для создания медицинской техники и расходных материалов (в первую очередь, биополимеры PLA, с использованием вариантов 3d-печати – SLA и MJM) [33-36]. Обязательным требованием к этим материалам была возможность их использования при 3d-печати [33, 34].

Фиксатор для одноразового (индивидуального) использования, выполненный из би-

оразлагаемого полимера (полилактида) на 100 % исключает риск вирусных и бактериальных инфекций (в первую очередь от COVID-19), имеет абсолютную биоразлагаемость при утилизации (с тенденцией рециклинга) и потенциально значительно снижает финансовые затраты (исключается необходимость покупки антисептиков для обработки) [34-37].

Впервые нами оценивался вариант использования пищевых материалов (шоколадная, овощная паста, рисовая пасты) при 3d-печати для фиксатора НЧ для однократного использования при пдМРТ ВНЧС (Рис.6), но на этапе разработки, помимо естественного аспекта 100%-го биоразложения (полной утилизации), были подтверждены не только очевидные плюсы использования таких материалов (атоксичность, амагнитность, товарная и вкусовая привлекательность), но и значительные минусы в создании и использовании. Ими были - низкая механическая прочность фиксаторов и плохая точность печати образцов, повышенное слюноотделение у пациентов при проведении пдМРТ ВНЧС и высокая вероятность индивидуальных аллергических реакций. Данные факторы не позволили проводить дальнейшие этапы исследований в апробации варианта фиксаторов на основе пищевого сырья.

Для обоих вариантов разработанной модели фиксатора НЧ была определена адаптированная форма при асимметричной амплитуде поражения ВНЧС и, следовательно, появилась возможность проводить пдМРТ при разной амплитуде открытого рта с двух сторон, без усиления болевого синдрома. При использовании фиксатора нижней челюсти (обоих вариантов устройства), с центральной полый частью и тонкими стенками, пациент получает возможность длительное время дышать ртом, без накопления во рту слюны и активного ее сглатывания, что гарантирует получение качественных МРТ-изображений с

четкой контрастностью, без двигательных и глотательных артефактов, что очень важно для четкой визуализации даже самых мелких структур суставов у пациентов с различной патологией ВНЧС и разного возраста. Отработка набора программных стандартов проведения всех этапов МРТ ВНЧС послужит материалом для более подробного изложения опыта в следующих научных статьях.

**Заключение.**

Оптимизация проведения МРТ ВНЧС (с этапом оценки функциональных проб) в виде создания оригинального механического фиксатора нижней челюсти для максимального открывания рта (и при менее выраженной амплитуде) позволило безопасно и просто проводить МРТ-исследования в полном объеме (с необходимым полным набором МР-программ, в течение довольно длительного времени исследования, даже при диском-

фортных технических условиях пребывания пациента в аппарате МРТ); повысило достоверность результатов (устранив до минимума артефакты изображения) для пациентов разных возрастов и при различной патологии ВНЧС. Техническая простота и экономическая бюджетность устройства позволили не только сверх успешно провести пилотные испытания фиксатора, но и с высокой вероятностью прогнозирования обеспечат скорейшее внедрение в повседневную медицинскую практику.

**Источник финансирования и конфликт интересов.**

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

**Список литературы:**

1. Альжуаифари, О. А. Особенности клинического течения и эпидемиологии синдрома болевой дисфункции ВНЧС / О. А. Альжуаифари // *Scientist (Russia)*. – 2022. – № 4(22). – С. 54.
2. Schimmel M., Aarab G., Baad-Hansen L. et al. A conceptual model of oro-facial health with an emphasis on function. *J. Oral Rehabil.* 2021, 48, 1283-1294. DOI: 10.1111/joor.13250.
3. Iturriaga V., Bornhardt T., Velasquez N. Temporomandibular Joint: Review of Anatomy and Clinical Implications. *Dent. Clin. N. Am.* 2023, 67, 199-209. DOI: 10.1016/j.cden.2022.11.003
4. Wilkie G., Al-Ani Z. Temporomandibular joint anatomy, function and clinical relevance. *Br. Dent. J.* 2022, 233, 539-546. DOI:10.1038/s41415-022-5082-0
5. Морфологические особенности строения ВНЧС при различных аномалиях прикуса, формирующих патологическую асимметрию положения нижней челюсти / А. М. Потрясова, Х. А. Кабиева, А. А. Еловская, А. Б. Гюева // *Медико-фармацевтический журнал Пульс*. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 73-81. – DOI 10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-4-73-81.
6. Walczynska-Dragon K., Baron S., Nitecka-Buchta A., Tkacz E. Correlation between TMD and cervical spine pain and mobility: Is the whole-body balance TMJ related? *Biomed. Res. Int.* 2014, 2014, 582414. DOI: 10.1155/2014/582414.
7. Definition, aetiology, and epidemiology of temporomandibular disorders. In *Temporomandibular Disorders: Manual Therapy, Exercise and Needling Therapies*, 7th ed.; Fernandez-de-las-Peñas C., Mesa J., Leon C., Eds.; Handspring Publishing: Edinburgh, Scotland, 2018; pp. 243-255.
8. Bordoni B., Varacallo M. Anatomy, Head and Neck, Temporomandibular Joint. In *StatPearls Internet*; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2023. Jul 17. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 30860721. Publishing; 2019 Jan-. Available from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538486/> PubMed PMID: 30860721.
9. Hoppenfeld S. *Physical Examination of the Cervical Spine and Temporomandibular Joint, Physical Examination of the Spine and Extremities*, 2nd ed.; Appleton and Lange: Norwalk, CT, USA, 1976; pp. 105-132.
10. Семенов Р.Р., Карпов С.М. Качество жизни при синдроме болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава. *Российский журнал боли*. 2017;(1):85-86. DOI:10.26779/2522-1396.2018.05.51
11. Bitiniene Dovile, Zamaliauskiene Roberta, Kubilius Ricardas, Leketas Marijus et al. Quality of life in patients with temporomandibular disorders. A systematic review. *Stomatologija*. 2018. 20 (1): 3-9. PMID: 29806652.
12. Pigozzi L.B., Progiante P.S., Pattussi M.P., Pellizzer E.P., Grossi P.K., Grossi M.L. General health quality of life in patients with temporomandibular disorders in an adult population-based cross-sectional study in Southern-Brazil. *Int. J. Prosthodont.* 2019, 32, 237-240. DOI:10.11607/ijp.6072.
13. Ahuja V., Ranjan V., Passi D., Jaiswal R. Study of stress-induced temporomandibular disorders among dental students: An institutional study. *Natl. J. Maxillofac. Surg.* 2018, 9, 147-154. DOI: 10.4103/njms. NJMS\_20\_18.
14. Minervini G., Franco R., Marrapodi M.M., Mehta V., et al. The Association between COVID-19 Related Anxiety, Stress, Depression, Temporomandibular Disorders, and Headaches from Childhood to Adulthood: A Systematic Review. *Brain Sci.* 2023, 13, 481. DOI:10.3390/brainsci13030481.
15. Valesan L.F., Da-Cas C.D., Reus J.C. et al. Prevalence of temporomandibular joint disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Oral. Investig.* 2021, 25, 441-453. DOI:10.1007/s00784-020-03710-w.
16. Обследование, лечение и планирование профилактики у пациентов с заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава на основе анализа результа-

- тов магнитно-резонансной томографии / А. А. Долгалев, А. Н. Бражникова, А. К. Мхитарян, М. Л. Долгалева // Медицинский алфавит. – 2020. – № 23. – С. 28-33. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-23-28-33.
17. Jeremic-Knezevic M., Boban J., Durovic-Koprivica D., et al. Imaging of the temporomandibular joint: Contemporary clinical and radiological implications. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*. 2020; 148, 242-250. DOI:10.2298/SARH190515099J.
18. Poluha R.L, Canales G.T., Costa Y.M., et al. Temporomandibular joint disc displacement with reduction: A review of mechanisms and clinical presentation. *J. Appl. Oral. Sci*. 2019, 27, e20180433. doi:10.1590/1678-7757-2018-0433.
19. Pihut M., Kulesa-Mrowiecka M. The Emergencies in the Group of Patients with Temporomandibular Disorders. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 298. DOI:10.3390/jcm12010298/
20. Zielinski G., Matysik-Wozniak A., Pankowska A., et al. High Myopia and Thickness of Extraocular and Masticatory Muscles—7T MRI, Preliminary Study. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 4166. DOI:10.3390/jcm12124166.
21. Tegnander T., Chladek G., Hovland A., et al. Relationship between Clinical Symptoms and Magnetic Resonance Imaging in Temporomandibular Disorder (TMD) Patients Utilizing the Piper MRI Diagnostic System. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 4698. DOI:10.3390/jcm10204698/
22. Современные тенденции диагностики и лечения пациентов с дисфункцией ВНЧС / С. Ю. Иванов, Н. С. Тутуров, Е. А. Бульчева [и др.] // Институт стоматологии. – 2022. – № 1(94). – С. 32-34.
23. Jeremic-Knezevic M., Knezevic A., Boban N., Koprivica D.D., Boban J. Correlation of somatization, depression, and chronic pain with clinical findings of the temporomandibular disorders in asymptomatic women. 2021; 39; 17-23. DOI: 10.1080/08869634.2018.1554294
24. Игнатъев Ю.Т., Хомутова Е.Ю., Савченко Р.К. Магнитно-резонансная томография височно-нижнечелюстных суставов с использованием головной катушки. // *Russian Electronic Journal of Radiology*. – 2016. – Т1 (№1). – С. 29-34.
25. Польшина В.И., Решетов И.В., Серова Н.С., Бабкова А.А., Лисавин А.А., Семенов П.Я., Рощина А.В. Комплексная лучевая диагностика у пациентов с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС). *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2021; 11 (1): 88-102. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-88-102
26. Душкова Д.В., Васильев Ю.А. Роль псевдокинематического и кинематического магнитно-резонансного исследования в реальном времени в диагностике заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. *Радиология – практика*. 2019; (6):21-32.
27. Wang Yu-Chen, Shih Tiffany, Yu Chih-Wei et al. Kinematic magnetic resonance imaging for the evaluation of active motion of the mandibular condyle in patients with temporomandibular joint disorders. *Journal of the Formosan Medical Association*. 2022. 122 (Suppl 3)
- DOI:10.1016/j.jfma.2022.12.009
28. Vogl Thomas, Günther David, Weigl Paul et al. Diagnostic value of dynamic magnetic resonance imaging of temporomandibular joint dysfunction. *European Journal of Radiology Open*. 2021. 8. 100360. DOI:10.1016/j.ejro.2021.100390
29. Jeremic Knezevic Milica, Knezevic Aleksandar, Boban Jasmína et al. A New Mechanical Mouth Opener for Dynamic Magnetic Resonance Imaging of the Temporomandibular Joint. *Journal of Clinical Medicine*. 2023. July 202312(15):5035 DOI:10.3390/jcm12155035.
30. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623941 Российская Федерация. Характеристика особенностей КТ и МРТ картины при исследовании височно-нижнечелюстных суставов (ВНЧС) в сопоставлении с данными клинического исследования у пациентов стоматологических клиник на территории Омской области : № 2023623561 : заявл. 25.10.2023 : опубл. 14.11.2023 / Е. Ю. Хомутова, А. Ф. Сулимов, Е. Н. Лукьянова, П. В. Новиков.
31. Патент на полезную модель № 216813 U1 Российская Федерация, МПК А61С 7/10, А61В 5/055. Фиксатор нижней челюсти пациента одноразового использования : № 2022128116 : заявл. 28.10.2022 : опубл. 02.03.2023 / А. Д. Хомутов, Е. Ю. Хомутова, Р. К. Савченко, А. М. Бадашшин.
32. Патент на полезную модель № 215760 U1 Российская Федерация, МПК А61С 7/10, А61В 5/055. Фиксатор нижней челюсти пациента : № 2022121052 : заявл. 01.08.2022 : опубл. 26.12.2022 / А. Д. Хомутов, Е. Ю. Хомутова, Р. К. Савченко, А. М. Бадашшин.
33. Зоннениайн М. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение: пер. с англ. Санкт-Петербург: ЦОП, Профессия; 2018. 576 с.
34. Кудина, Е. Ф. Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // *Полимерные материалы и технологии*. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77-86.
35. Лось Д.М., Шаповалов В.М., Зотов С.В. Применение полимерных материалов для изделий медицинского назначения // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2020. - № 2(64). - С. 5–13.
36. Zafar M.S. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers* 202012(10):2299 DOI:10.3390/polym12102299
37. Медяник, Н. А. Экологические аспекты использования биоразлагаемых полимеров / Н. А. Медяник, О. В. Ершова, К. В. Багреева // *Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 25–26 ноября 2021 года. Том Выпуск 6. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Носова, 2021. – С. 167-170.*

## References:

1. Alzhuaifari, O. A. Features of the clinical course and epidemiology of TMJ pain dysfunction syndrome / O. A. Alzhuaifari // *Scientist (Russia)*. – 2022. – No. 4(22). – P. 54. (In Russian).
2. Schimmel, M.; Aarab, G.; Baad-Hansen, L.; Lobbezoo, F.; Svensson, P. A conceptual model of oro-facial health with an

- emphasis on function. *J. Oral Rehabil.* 2021, 48, 1283-1294. DOI: 10.1111/joor.13250.
3. Iturriaga V.; Bornhardt T.; Velasquez N. Temporomandibular Joint: Review of Anatomy and Clinical Implications. *Dent. Clin. N. Am.* 2023, 67, 199-209. DOI: 10.1016/j.cden.2022.11.003
4. Wilkie, G.; Al-Ani, Z. Temporomandibular joint anatomy, function and clinical relevance. *Br. Dent. J.* 2022, 233, 539-546. DOI:10.1038/s41415-022-5082-0
5. Morphological features of the structure of the TMJ in various malocclusions that form pathological asymmetry in the position of the lower jaw / A. M. Potryasova, Kh. A. Kabieva, A. A. Elovskaya, A. B. Gioeva // *Medical and pharmaceutical journal Pulse.* – 2021. – T. 23, No. 4. – P. 73-81. – DOI 10.26787/nydha-2686-6838-2021-23-4-73-81. (In Russian)
6. Walczynska-Dragon K., Baron S., Nitecka-Buchta A., Tkacz E. Correlation between TMD and cervical spine pain and mobility: Is the whole-body balance TMJ related? *Biomed. Res. Int.* 2014, 2014, 582414. DOI: 10.1155/2014/582414.
7. Definition, aetiology, and epidemiology of temporomandibular disorders. In *Temporomandibular Disorders: Manual Therapy, Exercise and Needling Therapies*, 7th ed.; Fernandez-de-las-Pehas C., Mesa J., Leon C., Eds.; Handspring Publishing: Edinburgh, Scotland, 2018; pp. 243-255.
8. Bordoni B., Varacallo M. Anatomy, Head and Neck, Temporomandibular Joint. In *StatPearls Internet*; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2023. Jul 17. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. PMID: 30860721. Publishing; 2019 Jan-. Available from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538486/> PubMed PMID: 30860721.
9. Hoppenfeld S. Physical Examination of the Cervical Spine and Temporomandibular Joint, Physical Examination of the Spine and Extremities, 2nd ed.; Appleton and Lange: Norwalk, CT, USA, 1976; pp. 105-132.
10. Semenov R.R., Karpov S.M. Quality of life in temporomandibular joint pain dysfunction syndrome. *Russian Journal of Pain.* 2017; (1):85-86. DOI:10.26779/2522-1396.2018.05.51 (In Russian).
11. Bitiniene Dovile, Zamaliauskiene Roberta, Kubilius Ricardas, Leketas Marijus et al. Quality of life in patients with temporomandibular disorders. A systematic review. *Stomatologija.* 2018. 20 (1): 3-9. PMID: 29806652.
12. Pigozzi L.B., Progiante P.S., Pattussi M.P., Pellizzer E.P., Grossi P.K., Grossi M.L. General health quality of life in patients with temporomandibular disorders in an adult population-based cross-sectional study in Southern-Brazil. *Int. J. Prosthodont.* 2019, 32, 237-240. DOI:10.11607/ijp.6072.
13. Ahuja V., Ranjan V., Passi D., Jaiswal R. Study of stress-induced temporomandibular disorders among dental students: An institutional study. *Natl. J. Maxillofac. Surg.* 2018, 9, 147-154. DOI: 10.4103/njms. NJMS\_20\_18.
14. Minervini G., Franco R., Marrapodi M.M., Mehta V., et al. The Association between COVID-19 Related Anxiety, Stress, Depression, Temporomandibular Disorders, and Headaches from Childhood to Adulthood: A Systematic Review. *Brain Sci.* 2023, 13, 481. DOI:10.3390/brainsci13030481.
15. Valesan L.F., Da-Cas C.D., Reus J.C. et al. Prevalence of temporomandibular joint disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Oral. Investig.* 2021, 25, 441-453. DOI:10.1007/s00784-020-03710-w.
16. Examination, treatment and prevention planning in patients with diseases of the temporomandibular joint based on analysis of the results of magnetic resonance imaging / A. A. Dolgalev, A. N. Brazhnikova, A. K. Mkhitaryan, M. L. Dolgaleva // *Medical alphabet.* – 2020. – No. 23. – P. 28-33. DOI: 10.33667/2078-5631-2020-23-28-33. (In Russian).
17. Jeremic-Knezevic M., Boban J., Durovic-Koprivica D., et al. Imaging of the temporomandibular joint: Contemporary clinical and radiological implications. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo.* 2020; 148, 242-250. DOI:10.2298/SARH190515099J.
18. Poluha R.L., Canales G.T., Costa Y.M., et al. Temporomandibular joint disc displacement with reduction: A review of mechanisms and clinical presentation. *J. Appl. Oral. Sci.* 2019, 27, e20180433. doi:10.1590/1678-7757-2018-0433.
19. Pihut M., Kulesa-Mrowiecka M. The Emergencies in the Group of Patients with Temporomandibular Disorders. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 298. DOI:10.3390/jcm12010298/
20. Zielinski G., Matysik-Wozniak A., Pankowska A., et al. High Myopia and Thickness of Extraocular and Masticatory Muscles—7T MRI, Preliminary Study. *J. Clin. Med.* 2023, 12, 4166. DOI:10.3390/jcm12124166.
21. Tegnander T., Chladek G., Hovland A., et al. Relationship between Clinical Symptoms and Magnetic Resonance Imaging in Temporomandibular Disorder (TMD) Patients Utilizing the Piper MRI Diagnostic System. *J. Clin. Med.* 2021, 10, 4698. DOI:10.3390/jcm10204698/
22. Current trends in the diagnosis and treatment of patients with TMJ dysfunction / S. Yu. Ivanov, N. S. Tuturov, E. A. Bulycheva [et.] // *Institute of Dentistry.* – 2022. – No. 1(94). – pp. 32-34.
23. Jeremic-Knezevic M., Knezevic A., Boban N., Koprivica D.D., Boban J. Correlation of somatization, depression, and chronic pain with clinical findings of the temporomandibular disorders in asymptomatic women. 2021; 39; 17-23. DOI: 10.1080/08869634.2018.1554294
24. Ignatiev Yu.T., Khomutova E.Yu., Savchenko R.K. Magnetic resonance imaging of the temporomandibular joints using a head coil. // *Russian Electronic Journal of Radiology.* – 2016. – T1 (No. 1). – pp. 29-34. (In Russ.)
25. Polshina V.I., Reshetov I.V., Serova N.S., Babkova A.A., Lisavin A.A., Semyonov P.Ya., Roshchina A.V. Complex radiodiagnosis in patients with dysfunction of the temporomandibular joint (TMJ). *Russian electronic journal of radiology diagnostics.* 2021; 11 (1): 88-102. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-88-102(In Russ.)
26. Dushkova D.V., Vasiliev Yu.A. The Role of Dynamic and Pseudodynamic Magnetic Resonance Research in the Diagnosis of Temporomandibular Joint Diseases. *Radiology - Practice.* 2019; (6):21-32. (In Russ.)
27. Wang Yu-Chen, Shih Tiffany, Yu Chih-Wei et al. Kinematic magnetic resonance imaging for the evaluation of active motion of the mandibular condyle in patients with temporomandibular joint disorders. *Journal of the Formosan Medical Association.* 2022. 122 (Suppl 3) DOI:10.1016/j.jfma.2022.12.009/

28. Vogl Thomas, Günther David, Weigl Paul et al. Diagnostic value of dynamic magnetic resonance imaging of temporomandibular joint dysfunction. *European Journal of Radiology Open*. 2021. 8. 100360. DOI:10.1016/j.ejro.2021.100390
29. Jeremic Knezevic Milica, Knezevic Aleksandar, Boban Jasmina et al. A New Mechanical Mouth Opener for Dynamic Magnetic Resonance Imaging of the Temporomandibular Joint. *Journal of Clinical Medicine*. 2023. July 202312(15):5035 DOI:10.3390/jcm12155035.
30. Certificate of state registration of the database No. 2023623941 Russian Federation. Characteristics of the features of CT and MRI images in the study of temporomandibular joints (TMJ) in comparison with data from a clinical study in patients of dental clinics in the Omsk region: No. 2023623561: application. 10/25/2023: publ. 11/14/2023 / E. Yu. Khomutova, A. F. Sulimov, E. N. Lukyanova, P. V. Novikov. (In Russ.)
31. Utility model patent No. 216813 U1 Russian Federation, IPC A61C 7/10, A61B 5/055. Disposable patient lower jaw retainer: No. 2022128116: application. 10/28/2022: publ. 03/02/2023 / A. D. Khomutov, E. Yu. Khomutova, R. K. Savchenko, A. M. Badamshin. (In Russ.)
32. Utility model patent No. 215760 U1 Russian Federation, IPC A61C 7/10, A61B 5/055. Patient's lower jaw retainer: No. 2022121052: application. 08/01/2022: publ. 12/26/2022 / A. D. Khomutov, E. Yu. Khomutova, R. K. Savchenko, A. M. Badamshin. (In Russ.)
33. Sonnenschein M. Polyurethanes. Composition, properties, production, application: trans. from English St. Petersburg: TsOP, Profession; 2018. 576 p. (In Russ.)
34. Kudina, E. F. Methods of utilization and recycling of polymer composite materials / E. F. Kudina, K. V. Efimchik // *Polymer materials and technologies*. – 2022. – T. 8, No. 4. – P. 77-86. (In Russ.)
35. Los D.M., Shapovalov V.M., Zotov S.V. Application of polymer materials for medical products // *Problems of health and ecology*. – 2020. - No. 2(64). - P. 5-13. (In Russ.)
36. Zafar M.S. Prosthodontic Applications of Polymethyl Methacrylate (PMMA): An Update. *Polymers* 202012(10):2299 DOI:10.3390/polym12102299
37. Medyanik, N. L. Environmental aspects of the use of biodegradable polymers / N. L. Medyanik, O. V. Ershova, K. V. Bagreeva // *Modern achievements of university scientific schools: collection of reports of the national scientific school-conference, Magnitogorsk, 25 –November 26, 2021. Volume Issue 6. – Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after. Nosova, 2021. – pp. 167-170. (In Russ.)*