

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АСИММЕТРИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЖЕВАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ В ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕВАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ

А. Ю. Шишелова^{1,2}, О. Ю. Гусева¹ ✉, И. С. Копецкий¹, В. Ансари¹¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова (Пироговский Университет), Москва, Россия² Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской академии наук, Москва, Россия

Приобретаемый в онтогенезе опыт жевания может приводить к формированию функциональной асимметрии аппарата жевания с неблагоприятным влиянием на функции челюстно-лицевой области. Целью работы было оценить асимметрию активности жевательных мышц у здоровых людей без дисфункций зубочелюстной системы. У 17 добровольцев (6 мужчин, 11 женщин, 18–23 лет) проводили оценку моторной функциональной асимметрии мозга с помощью стандартных тестов и регистрацию поверхностной электромиограммы (ЭМГ) собственно-жевательных (СЖМ) и височных мышц (ВМ): в покое, при максимальном сжатии челюстей, при жевании — изолированном (поочередно на левой и правой сторонах) и произвольном. На основе индексов асимметрии показателей ЭМГ (общей площади (ИАинт), средней амплитуды (ИАср) и продолжительности жевания (ИАвр)) мышц справа и слева были выделены и описаны три группы с разными проявлениями асимметрии: 1) со стабильной односторонней асимметрией активности СЖМ и ВМ; 2) с «динамичной асимметрией», различной для СЖМ и ВМ; 3) с «адаптивным контролем», когда асимметрия активности мышц была адекватна жевательной пробе. В третьей группе ИАинт для СЖМ и ВМ был равен $40 \pm 18\%$ и $97 \pm 20\%$ при жевании на левой стороне, $242 \pm 39\%$ и $127 \pm 32\%$ — на правой, $115 \pm 12\%$ и $115 \pm 24\%$ при свободном жевании. Основные статистически значимые различия ИАинт, ИАср и ИАвр между группами выявлены для СЖМ (влияние фактора «группа» на данные индексы $F = 11,0$, $p < 0,01$; $F = 5,72$ и $F = 3,73$, $p < 0,05$; ANOVA repeated measures). Таким образом, в молодом возрасте у ряда людей формируется функциональная асимметрия жевательных мышц в виде избыточного преобладания электрической активности на одной стороне лица, с изменением как амплитудного, так и временного компонентов «жевательных» всплесков ЭМГ.

Ключевые слова: жевание, электромиография, функциональная асимметрия жевания, жевательные мышцы, нейтральный прикус**Благодарности:** благодарим профессора И. В. Погабало за консультативную помощь по методикам регистрации и анализа электромиограмм.**Вклад авторов:** А. Ю. Шишелова — идея, концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка данных, написание и редактирование статьи; О. Ю. Гусева — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, литературный обзор, написание и редактирование статьи; И. С. Копецкий — редактирование и утверждение статьи для публикации; В. Ансари — сбор материала, литературный обзор.**Соблюдение этических стандартов:** исследование одобрено этическим комитетом РНИМУ имени Н. И. Пирогова (протокол № 250 от 21 апреля 2025 г.).✉ **Для корреспонденции:** Ольга Юрьевна Гусева
ул. Островитянова, д. 1, 117513, г. Москва, Россия; o-guseva@bk.ru**Статья получена:** 19.05.2025 **Статья принята к печати:** 09.06.2025 **Опубликована онлайн:** 19.06.2025**DOI:** 10.24075/vrgmu.2025.031**Авторские права:** © 2025 принадлежат авторам. **Лицензиат:** РНИМУ им. Н. И. Пирогова. Статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

INDIVIDUAL FEATURES OF THE MASTICATORY MUSCLE BIOELECTRICAL ACTIVITY IN ORGANIZATION OF CHEWING FUNCTION

Shishelova AY^{1,2}, Guseva OY¹ ✉, Kopetskiy IS¹, Ansari V¹¹ Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov University), Moscow, Russia² Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The chewing experience acquired during ontogeny may lead to developing functional asymmetry of the masticatory apparatus, adversely affecting the maxillofacial region functions. The study aimed to assess asymmetry of the masticatory muscle activity in healthy individuals showing no dentofacial system dysfunction. In 17 volunteers (6 males, 11 females aged 18–23 years), motor functional asymmetry of the brain was assessed using standard motor tests, and surface electromyogram (EMG) of the masseter (MM) and temporalis muscle (TMs) was recorded on the right and left sides: in the resting state, with the maximum voluntary bite force, during deliberate unilateral mastication (alternately on the left and right sides), and bilateral voluntary chewing. Three groups with various asymmetry manifestations were distinguished and characterized based on the asymmetry indices of standard EMG parameters (integrated EMG (Alint), average amplitude (Alav), and chewing bursts duration (Ald)) of the right and left muscles: 1) showing stable unilateral asymmetry of the MM and TM activity; 2) showing the “dynamic asymmetry” that was different for the MMs and TMs; 3) showing the “adaptive control”, when the muscle activity asymmetry was manifested adequately to the chewing test, and Alint of the MMs and TMs reached $40 \pm 18\%$ and $97 \pm 20\%$ during chewing on the left side, $242 \pm 39\%$ and $127 \pm 32\%$ during chewing on the right side, $115 \pm 12\%$ and $115 \pm 24\%$ during bilateral chewing. The major significant between-group differences in Alint, Alav, and Ald were reported for the MMs (the impact of the “group” factor on these indices was as follows: $F = 11.0$, $p < 0.01$; $F = 5.72$ and $F = 3.73$, $p < 0.05$; repeated measures ANOVA). Thus, in young adulthood, some people develop functional asymmetry of the masticatory muscles in the form of excessive predominance of electrical activity on one side of the face with changes in both amplitude and duration of the “chewing” EMG bursts.

Keywords: chewing, electromyography, functional chewing asymmetry, masticatory muscles, neutral bite**Acknowledgements:** we would like to thank Professor I.V. Pogabalo for advice on the methods to record and analyze electromyography data.**Author contribution:** Shishelova AY — study idea, concept and design, data acquisition and processing, statistical data processing, manuscript writing and editing; Guseva OY — study concept and design, data acquisition and processing, literature review, manuscript writing and editing; Kopetskiy IS — manuscript editing and approval before publishing; Ansari V — data acquisition, literature review.**Compliance with ethical standards:** the study was approved by the Ethics Committee of the Pirogov Russian National Research Medical University (protocol No. 250 dated 21 April 2025).✉ **Correspondence should be addressed:** Olga Yu. Guseva
Ostrovityanova, 1, 117513, Moscow, Russia; o-guseva@bk.ru**Received:** 19.05.2025 **Accepted:** 09.06.2025 **Published online:** 19.06.2025**DOI:** 10.24075/brsmu.2025.031**Copyright:** © 2025 by the authors. **Licensee:** Pirogov University. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Процесс жевания представляет собой поведенческий акт, завершающийся формированием пищевого комка, адекватного для проглатывания [1]. Одним из ключевых компонентов функциональной системы любого поведенческого акта является программа действия, реализуемая системой моторного контроля головного мозга, организованной по принципу иерархии [2]. Первично ритмическую работу жевательных мышц обеспечивает генератор двигательных программ ствола мозга, координирующий активность нейронов моторного ядра тройничного нерва, иннервирующего жевательные мышцы [2]. Возбуждение этих нейронов при жевании непрерывно корректируют сенсорные сигналы из зубочелюстной системы, в первую очередь, от механорецепторов периодонта и проприорецепторов жевательных мышц [3], а также от различных других типов рецепторов челюстно-лицевой области [4], что является ключевым звеном безусловно-рефлекторного и, соответственно, произвольного компонента жевания. Кора больших полушарий через кортико-бульбарный тракт осуществляет высший контроль жевательного центра ствола мозга [5–7], обеспечивая в том числе условно-рефлекторный и произвольный компонент жевания.

Формирование индивидуальных особенностей жевательной активности определяется особенностями онтогенеза челюстно-лицевой области, состоянием зубочелюстной системы [8], а также нейрофизиологией мозга и жевательным опытом [9]. Адаптация к развитию функций челюстно-лицевой области в онтогенезе, равно как и межполушарные особенности моторного контроля индивидуума могут привести к формированию индивидуальной функциональной асимметрии жевания. Такая асимметрия должна проявляться в виде преимущественной активности жевательных мышц на одной стороне лица, вне зависимости от текущей рабочей стороны жевания. Нашей задачей было оценить возможность наличия функциональной асимметрии жевательной активности у здоровых взрослых людей молодого возраста без дисфункций зубочелюстной системы. Цель работы — определить динамику и асимметрию активности жевательных мышц у здоровых молодых добровольцев при принудительной и свободной смене стороны жевания.

ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 17 добровольцев (6 мужчин и 11 женщин) в возрасте 18–23 лет. Критерии включения: наличие полных интактных зубных рядов с нейтральным типом смыкания (I класс по Angle слева и справа); отсутствие клинических симптомов патологических изменений со стороны височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС). Критерии исключения: возраст меньше 18 лет, беременность, аллергическая реакция на миндаль, отказ пациента от участия в исследовании. В начале эксперимента оценивали моторную функциональную асимметрию мозга с помощью стандартных двигательных проб (скрещивание рук, «аплодирование», закидывание ноги на ногу) [10]. Затем регистрировали поверхностную электромиограмму (ЭМГ) в области собственно жевательных мышц (СЖМ) и височных мышц (ВМ) с использованием четырехканального миографа Синапис для стоматологических исследований («Нейротех», Таганрог, Россия). Применяли псевдомониторную отводку биопотенциалов. Регистрировали ЭМГ в покое (10 с) при произвольном максимальном сжатии

челюстей (10 с) и во время жевательных проб, в каждой из которых обследуемый разжевывал одно ядро миндаля. Поочередно проводили три пробы с жеванием субстрата: 1) изолированно на левой стороне; 2) изолированно на правой стороне; 3) в свободном порядке смены рабочих сторон при жевании, «удобном» для исследуемого. Во время пробы ЭМГ регистрировали в течение 30 с, затем анализировали участки записи от момента начала жевания до появления рефлекса глотания. При обработке ЭМГ измеряли: общую площадь ЭМГ (интегрированная ЭМГ, мкВ*мс) — показатель, включающий амплитудные и временные характеристики ЭМГ; среднее значение амплитуды пиков колебаний биопотенциалов в течение пробы (Аср, мкВ) — показатель, высоко коррелирующий с силой сокращения мышцы [11]; суммарную продолжительность жевательной активности мышцы в течение пробы с жеванием (время жевания, с). Для оценки выраженности асимметрии электрической активности парных жевательных мышц рассчитывали индексы асимметрии для однотипных мышц справа и слева для каждой пробы по формуле $(X \text{ справа} / X \text{ слева}) \times 100\%$, где X — соответствующий показатель ЭМГ.

Статистический анализ результатов исследования проводили с помощью пакета прикладных программ «Statistica 12» (StatSoft Inc., США). Для анализа различий индексов асимметрии по совокупности проведенных жевательных проб был использован факторный анализ ANOVA repeated measures (*post-hoc*-тест Fisher), в пробе с максимальным сжатием челюстей — однофакторный непараметрический анализ Kruskal–Wallis ANOVA. Уровень статистической значимости полученных различий (p) указан на рисунках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для первичной оценки асимметрии использовали индекс асимметрии интегрированной ЭМГ (ИАинт). Динамика ИАинт при жевании от пробы к пробе была схожей у 88% участников (рис. 1). При переходе от изолированного жевания на левой стороне к жеванию на правой стороне ИАинт увеличивался, что означает повышение активности мышц на правой стороне по сравнению с левой. Затем, во время свободного жевания, ИАинт снова снижался, оставаясь более высоким по сравнению с первой пробой (в 93% измерений) или схожим по величине (в 7%). По степени сдвига ИАинт при смене рабочей стороны жевания в соответствии с пробой мы разделили обследованных на три группы. У лиц группы I (с «стабильной асимметрией», $n = 6$) наблюдалось преобладание биоэлектрической активности СЖМ и ВМ на одной стороне лица в большинстве проб, заметно выраженное в пробе со свободным жеванием. У двух человек из этой группы активность жевательных мышц была выше на правой стороне (подгруппа Ia; ИАинт > 100%), у четырех — на левой стороне (подгруппа Ib; ИАинт < 100%) (рис. 1). У лиц группы II (с «динамичной асимметрией», $n = 5$) в ряде проб наблюдались разнонаправленные проявления асимметрии активности для СЖМ и ВМ. Мы включили в эту группу обследованных, у которых отсутствовала адаптация активности СЖМ или ВМ к одной или обеим пробам с изолированным жеванием, что проявлялось в значительном (> 20%) преобладании активности соответствующих мышц на стороне, противоположной рабочей. При этом ИАинт для одних парных мышц был выше 100%, для другой — ниже (рис. 1). К группе III (с «адаптивным контролем», $n = 6$) мы отнесли лиц, у которых

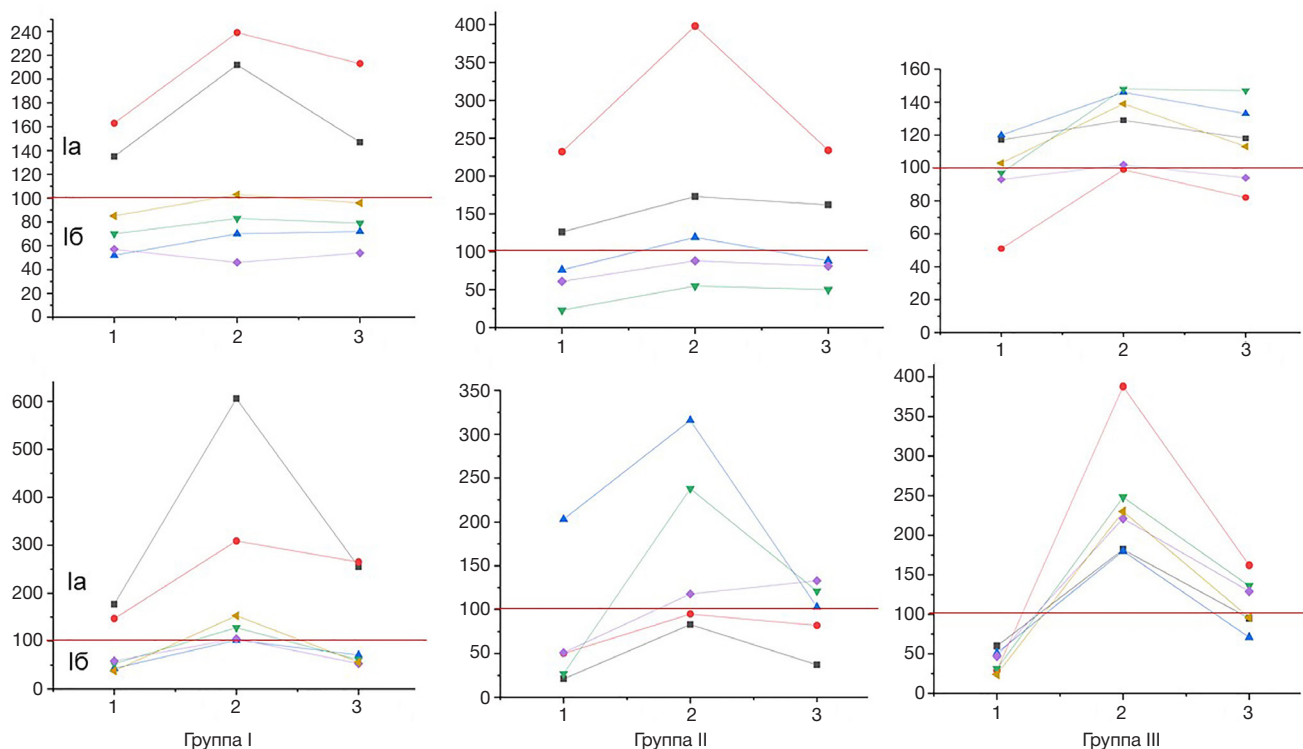


Рис. 1. Индивидуальная динамика ИАинт в выделенных группах. На оси X обозначены порядковые номера жевательных проб (см. «Пациенты и методы»), на оси Y — значения ИАинт (%). Верхний ряд ИАинт для височных мышц, нижний — для собственно жевательных мышц. Каждая линия показывает индивидуальную динамику ИАинт у участника исследования

во время проб с изолированным жеванием активность обеих мышц была выше на рабочей стороне (рис. 1). У трех человек динамика ИАинт допускала включение в группы II и III. У двух из них при жевании на левой стороне активность ВМ была незначительно выше справа ($\leq 20\%$), в остальных случаях наблюдалась адекватная адаптация к жеванию на одной рабочей стороне. При свободном жевании правосторонняя асимметрия ВМ у данных лиц сохранялась, однако различия между ВМ и СЖМ по выраженности асимметрии уменьшались. Поэтому мы отнесли этих участников к группе III. У третьего обследованного при жевании на правой стороне активность ВМ была на 12% выше слева, чем справа, и эта особенность сохранялась при свободном жевании с увеличением степени асимметрии, разнонаправленной для ВМ и СЖМ. Это дало нам основание включить данного участника в группу II.

Преобладание активности жевательных мышц на одной стороне, выявленное в подгруппах Ia и Ib, не совпадало с преобладанием движения правой или левой конечностей во время стандартных двигательных проб, отражающих межполушарную асимметрию моторного контроля (см. табл.).

Для височных мышц факторный анализ выявил статистически значимое влияние фактора «проба» на ИАинт ($F = 19,9$; $p < 0,0001$), а также тенденцию к взаимодействию факторов «группа» и «проба» ($p = 0,07$). Для СЖМ было показано статистически значимое влияние факторов «проба» ($F = 36,6$; $p < 0,0001$) и «группа» ($F = 11,0$; $p < 0,01$) на ИАинт, и статистически значимое взаимодействие факторов «группа» и «проба» ($F = 2,76$; $p < 0,05$).

Внутри выделенных групп статистически значимые различия значений ИАинт между пробами были обнаружены для всех групп, кроме подгруппы Ib (рис. 2). В пробе с жеванием на правой стороне ИАинт статистически значимо возрастал по сравнению с пробой с жеванием на левой стороне в подгруппе Ia и группе II для ВМ, в подгруппе Ia, группах II, III для СЖМ (*post-hoc*-анализ). Далее во время пробы со свободным жеванием величина ИАинт снижалась во всех этих группах. При сравнении ИАинт в пробах с жеванием на левой стороне и свободным жеванием величина ИАинт была статистически значимо меньше в первой пробе в группе II для ВМ и в группе III для СЖМ.

Статистически значимые межгрупповые различия значений ИАинт проявлялись преимущественно у СЖМ (рис. 2Б). Для подгруппы Ia обнаружено наибольшее число статистически значимых отличий значений ИАинт от его величины в остальных группах. У участников подгруппы Ia величина ИАинт была статистически значимо выше в каждой пробе по сравнению с другими группами (за исключением пробы с жеванием на левой стороне у участников группы II), что свидетельствует о выраженном преобладании активности СЖМ на правой стороне. У участников подгруппы Ib величина ИАинт, напротив, была статистически значимо ниже, чем у участников подгруппы Ia, во всех пробах, а также ниже, чем у лиц группы III в пробе с жеванием на правой стороне. Не было обнаружено статистически значимых различий значений ИАинт в проведенных жевательных пробах у участников групп II и III. В пробе со свободным жеванием у участников группы I наблюдалось значительное отклонение средних

Таблица. Доля участников (%) с доминированием движения конечности на правой стороне в выделенных группах

Ia	Ib	II	III
50%	75%	60%	67%

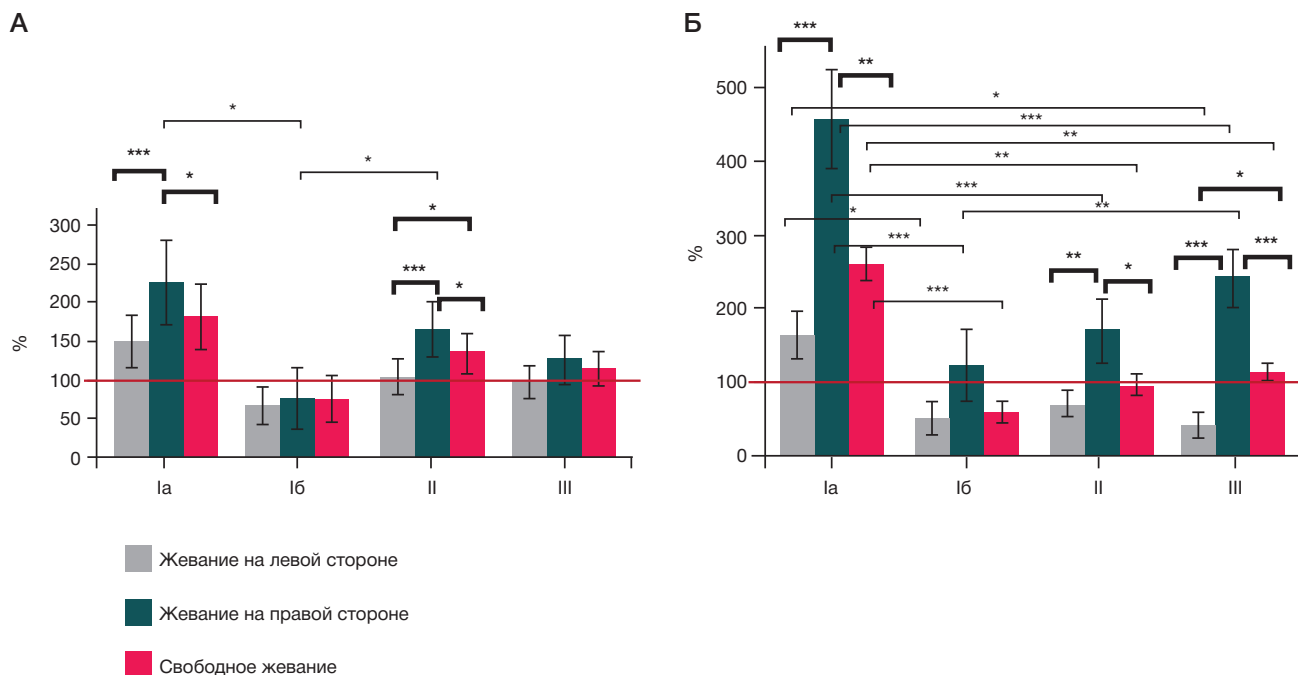


Рис. 2. ИАинт. Индекс асимметрии (%) общей площади ЭМГ жевательных мышц в проведенных жевательных пробах в выделенных группах исследуемых. Высота столбика соответствует среднему значению в группе, длина вертикальных линий — стандартной ошибке среднего значения. Красной линией обозначен уровень симметричной активности (ИАинт = 100%). **А.** Для височных мышц. **Б.** Для собственно жевательных мышц. Обозначения групп см. в тексте. Над столбиками круглыми скобками показаны статистически значимые различия (анализ ANOVA repeated measures, *post-hoc*-тест Fisher): **жирным шрифтом** обозначены различия между пробами в группе, **тонким** — между группами в однотипных пробах. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$

значений ИАинт от 100% ($> 100\%$ в подгруппе Ia и $< 100\%$ в подгруппе Ib), в то время как в остальных группах значения данных индексов были более близки к 100%.

Для височных мышц статистически значимые межгрупповые различия значений ИАинт были выявлены только у участников группы I в пробе с жеванием на правой стороне (рис. 2А). Так, у участников подгруппы Ib величина ИАинт в данной пробе была ниже по сравнению с исследуемыми подгруппы Ia и группы II.

Затем сопоставили проявления асимметрии активности жевательных мышц при жевании в выделенных нами группах с индексом асимметрии интегрированной площади ЭМГ для аналогичных мышц слева и справа при максимальном сжатии челюстей (ИАсж). У участников из подгруппы Ia активность ВМ и СЖМ была выше справа, у большинства участников из подгруппы Ib (75%) — слева. В остальных группах у большего числа участников обнаружено преобладание активности ВМ и СЖМ справа по сравнению с левой стороной (у 60 % в группе II для обеих групп мышц; 83% и 67% в группе III для ВМ и СЖМ соответственно). Значения ИАсж в группах показаны на рис. 3. Различия между группами были статистически не значимы.

Далее мы проанализировали различия между группами по индексу асимметрии Аср (ИАср) в жевательных пробах. Для височных мышц не обнаружено статистически значимых влияний исследуемых факторов на величину ИАср. Здесь *post-hoc*-анализ выявил единственное межгрупповое различие в пробе с жеванием на левой стороне между подгруппой Ib и группой II (рис. 4А).

Для СЖМ было обнаружено статистически значимое влияние факторов «группа» ($F = 5,72$; $p = 0,01$) и «проба» ($F = 34,17$; $p < 0,0001$) на величину ИАср. Динамика сдвигов ИАср для СЖМ от пробы к пробе была статистически высокозначимой почти для всех групп. У всех участников величина ИАср возрастала при жевании на правой стороне по сравнению с пробой с жеванием на левой стороне (*post-hoc*-

анализ) (рис. 4Б). В пробе со свободным жеванием величина ИАср значимо снижалась в подгруппе Ia, группах II, III и имела тенденцию к снижению в подгруппе Ib ($p = 0,07$).

Характер межгрупповых различий значений ИАср для СЖМ был схожим с различиями ИАинт (рис. 4Б). У участников подгруппы Ia ИАср был существенно выше 100% во всех пробах, что отражает наибольшую силу сокращения СЖМ на правой стороне. В подгруппе Ia ИАср был статистически значимо выше в пробе с жеванием на

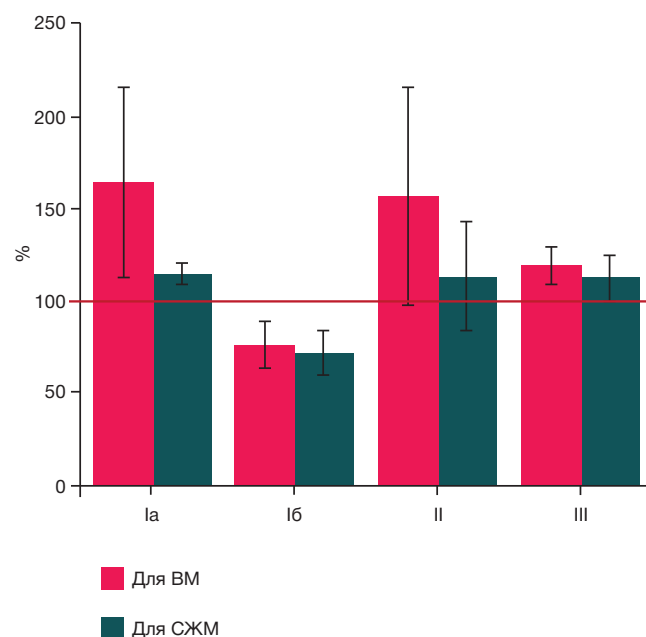


Рис. 3. ИАсж. Индекс асимметрии (%) общей площади ЭМГ жевательных мышц в пробе с максимальным сжатием челюстей в выделенных группах исследуемых. Высота столбика соответствует среднему значению в группе, длина вертикальных линий — стандартной ошибке среднего значения. Красной линией обозначен уровень симметричной активности (ИАсж = 100%). Обозначения групп см. в тексте

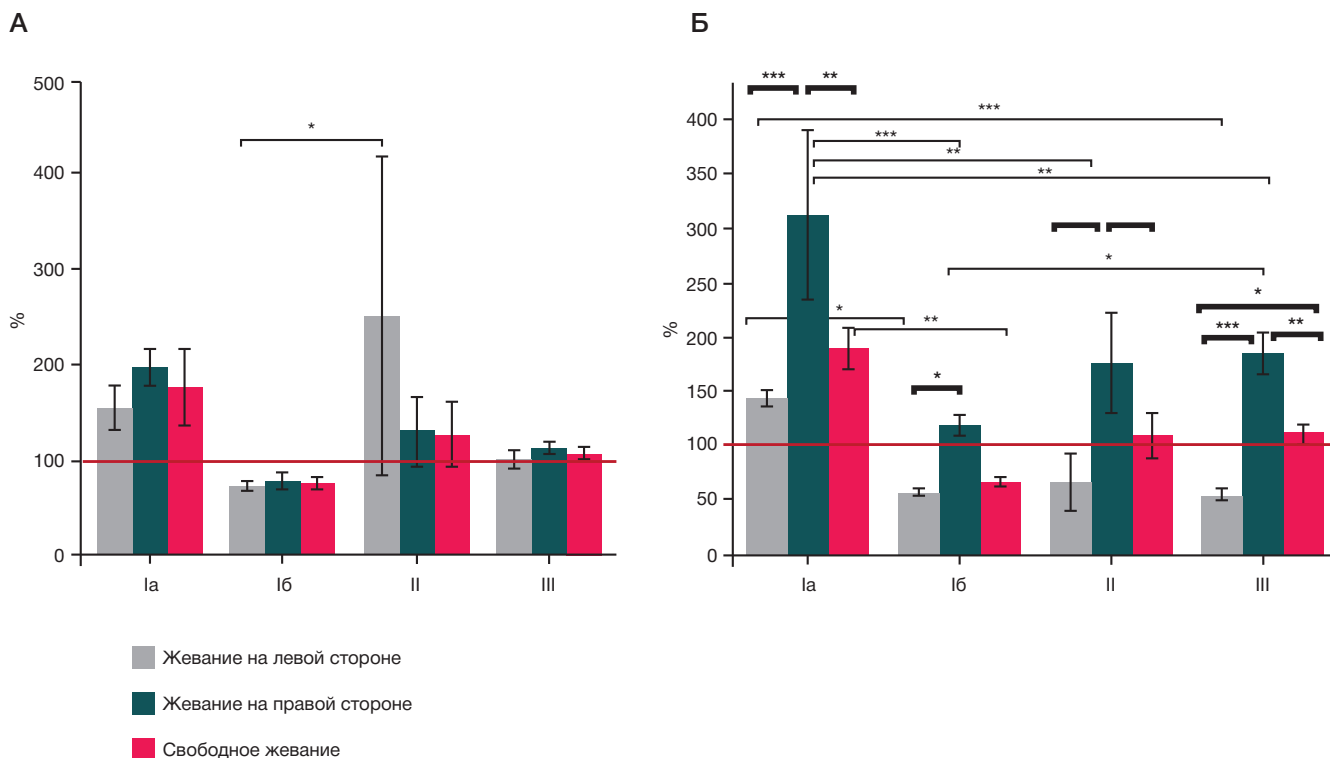


Рис. 4. ИАср. Индекс асимметрии (%) средней амплитуды пиков колебаний ЭМГ жевательных мышц (Аср) в проведенных жевательных пробах в выделенных группах исследуемых. Высота столбика соответствует среднему значению в группе, длина вертикальных линий — стандартной ошибке среднего значения. Красной линией обозначен уровень симметричной активности (ИАср = 100%). **А.** Для височных мышц. **Б.** Для собственно жевательных мышц. Обозначения групп см. в тексте. Над столбиками круглыми скобками показаны статистически значимые различия (анализ ANOVA repeated measures, *post-hoc*-тест Fisher): жирным шрифтом обозначены различия между пробами в группе, тонким — между группами в однотипных пробах. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$

левой стороне по сравнению с подгруппой Ib и группой III, в пробе с жеванием на правой стороне по сравнению с остальными группами. В пробе со свободным жеванием ИАср у участников подгруппы Ia был статистически значимо выше, чем у участников подгруппы Ib, и имел тенденцию к увеличению по сравнению с участниками групп II и III ($p < 0,07$). У участников подгруппы Ib величина ИАср была намного меньше 100% в пробах с жеванием на левой стороне и при свободном жевании, что свидетельствует о значительном преобладании активности жевательных мышц на левой стороне. Значение ИАср у участников подгруппы Ib было статистически значимо ниже, чем у участников подгруппы Ia во всех пробах, и по сравнению с группой III — в пробе с жеванием на правой стороне. Также можно заметить тенденцию к более низкому значению ИАср у участников подгруппы Ib по сравнению с группой II в пробе с жеванием на правой стороне ($p < 0,1$). Величина ИАср в группе II не отличалась статистически значимо от величины ИАср в других группах. Как и для ИАинт, во время свободного жевания среднее значение ИАср было значительно больше 100% у участников подгруппы Ia, ниже 100% — в подгруппе Ib, близко к 100% — в группах II и III.

Далее мы оценили индекс асимметрии суммарной продолжительности («времени жевания») вспышек активности жевательных мышц в жевательных пробах (ИАвр). Для височных мышц было выявлено статистически значимое влияние фактора «проба» на величину ИАвр ($F = 5,09$; $p < 0,05$). Межгрупповые различия значений ИАвр для ВМ не были обнаружены. *Post-hoc*-анализ показал статистически значимое различие величин ИАвр между пробами с жеванием на левой и на правой сторонах в группах II и III (рис. 5А). Средние значения ИАвр в этих группах соответствовали характеру пробы: менее 100% —

при жевании на левой стороне и более 100% — при жевании на правой стороне.

Для СЖМ было обнаружено статистически значимое влияние фактора «группа» на величину ИАвр ($F = 3,73$; $p < 0,05$) и взаимодействие факторов «группа» и «проба» ($F = 2,97$; $p < 0,05$). Статистически значимые различия ИАвр между пробами наблюдали только в группе III (*post-hoc*-анализ; рис. 5Б), в которой величина ИАвр была наиболее низкой в пробе с жеванием на левой стороне (менее 100%), что свидетельствует о более продолжительной жевательной активности СЖМ на левой стороне. Во второй пробе, с жеванием на правой стороне, величина ИАвр заметно возросла, значительно превышая 100%, что соответствует более длительным сокращениям СЖМ на правой стороне (рис. 5Б). В пробе со свободным жеванием величина ИАвр статистически значимо снижалась, приближаясь к 100%.

Наибольшие межгрупповые различия значений ИАвр для СЖМ зафиксированы в подгруппе Ia, как и для других индексов асимметрии, описанных выше (рис. 5Б). Так, у участников подгруппы Ia величина ИАвр была статистически значимо выше, чем у участников группы III в пробе с жеванием на левой стороне и участников группы II в пробе со свободным жеванием. У участников подгруппы Ib и группы II величина ИАвр была статистически значимо ниже, чем у участников группы III в пробе с жеванием на правой стороне.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании данных ЭМГ собственно жевательных и височных мышц у добровольцев, имеющих полные интактные зубные ряды с нейтральным типом смыкания

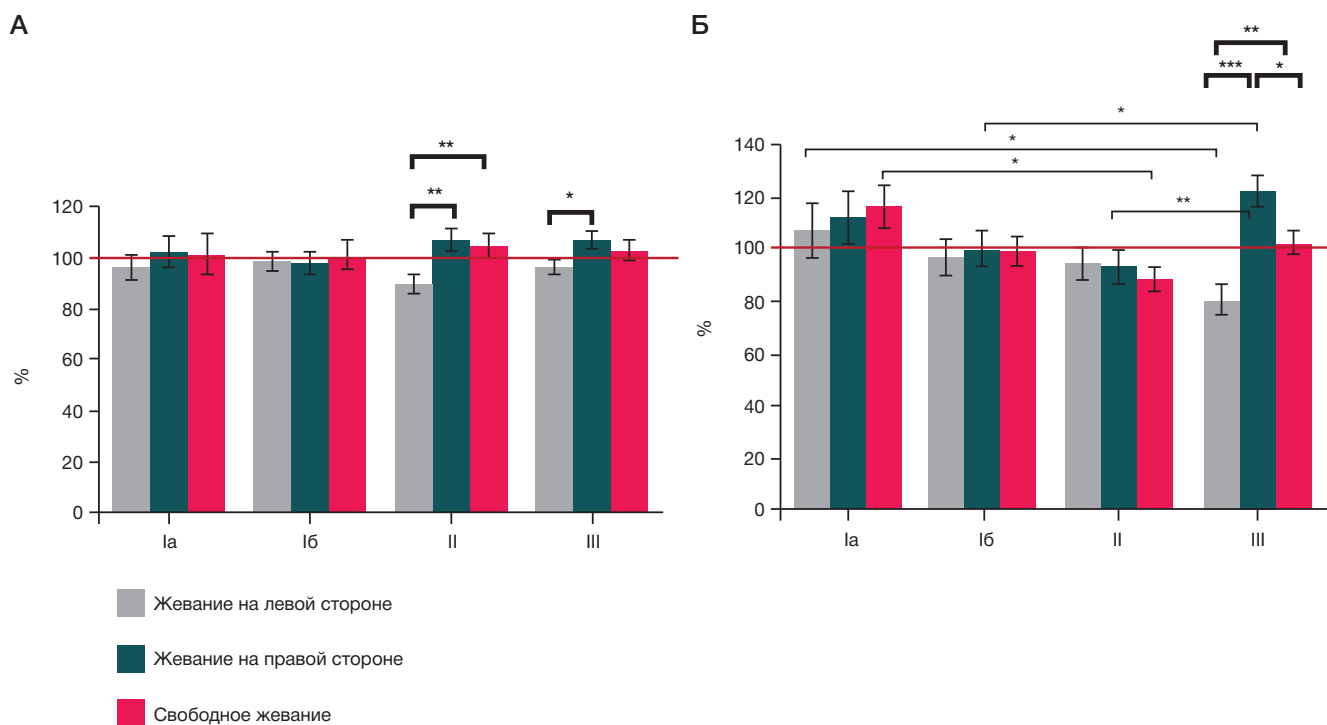


Рис. 5. ИАвр. Индекс асимметрии (%) «времени жевания» (ИАвр) жевательных мышц в проведенных жевательных пробах в выделенных группах исследуемых. Высота столбика соответствует среднему значению в группе, длина вертикальных линий — стандартной ошибке среднего значения. Красной линией обозначен уровень одинаковой продолжительности жевательной активности симметричных мышц справа и слева (ИАвр = 100%). **А.** Для височных мышц. **Б.** Для собственно жевательных мышц. Обозначения групп см. в тексте. Над столбиками *круглыми скобками* показаны статистически значимые различия (анализ ANOVA repeated measures, *post-hoc*-тест Fisher): *жирным шрифтом* обозначены различия между пробами в группе, *тонким* — между группами в однотипных пробах. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$

(I класс по Angle слева и справа), без клинических симптомов патологических изменений со стороны ВНЧС мы выделили и описали несколько видов асимметрии активности парных жевательных мышц.

Было показано, что у 35% участников исследования асимметрия общей электрической активности парных мышц справа и слева во время жевательных движений соответствует жевательной задаче. Во время проб с изолированным жеванием активность обоих типов мышц у данных лиц была значимо выше на рабочей стороне, а во время произвольного жевания у них не наблюдалось ярко выраженной асимметрии активности. Таким образом, моторный контроль при такой организации жевания обеспечивает адекватное вовлечение жевательных мышц в программу жевания, поэтому мы назвали данных участников исследования группой с «адаптивным контролем». У участников из остальной части выборки наблюдалась дезадаптивная асимметрия активности ведущих жевательных мышц во время жевания на одной стороне и при свободном жевании. При этом у 35% участников исследования наблюдалось выраженное преобладание биоэлектрической активности жевательных мышц на одной стороне лица во всех пробах. Мы назвали участников с такими особенностями жевания группой со «стабильной асимметрией». У остальных 30% участников во время жевания возникали разнонаправленные проявления асимметрии активности для СЖМ и ВМ, при этом во время проб с изолированным жеванием у них наблюдалось отсутствие преобладания активности на рабочей стороне, как минимум, в одной из пар исследованных мышц. Эту группу мы назвали группой с «динамической асимметрией». Анализ амплитудного и временного компонентов ЭМГ во время жевательных движений у участников данных групп также показал наличие статистически значимых

межгрупповых различий в асимметрии этих показателей. При этом основные различия были выявлены для СЖМ, как между группами, так и между пробами внутри каждой группы.

Имеющиеся в литературе данные по асимметрии электрической активности ведущих жевательных мышц у здоровых людей достаточно разноречивы. По-видимому, это связано с разным дизайном экспериментов. Так, в ряде исследований проводили оценку асимметрии показателей ЭМГ жевательных мышц только с помощью пробы с максимальным сжатием челюстей [12, 13]. Однако, как показано в нашей работе, не наблюдается полного совпадения направленности асимметрии парных жевательных мышц при максимальном сжатии челюстей и жевании натурального субстрата. Хотя тренд к преобладанию электрической активности СЖМ и ВМ на одной стороне лица в пробе с максимальным сжатием сохраняется для группы со «стабильной асимметрией», статистически значимых различий значений индекса асимметрии интегрированной ЭМГ между группами не было обнаружено. Поскольку произвольное сжатие челюстей и жевание пищи представляют собой различные виды поведенческих реакций, направленные на достижение разных результатов, логично предположить, что будут различия в организации моторных программ при выполнении данных тестов. В других исследованиях оценку электрической активности жевательных мышц осуществляли только при изолированном жевании (на одной стороне) [14, 15], что не дает полноценной картины организации моторного контроля жевания. Кроме того, асимметрию активности жевательных мышц оценивают, как правило, без выделения подгрупп в соответствии с характером асимметрии в различных пробах [13, 15, 16]. Это затрудняет сопоставление полученных нами результатов

с данными литературы по исследованию проявления функциональной асимметрии жевательной активности. Тем не менее факты, представленные в статьях по данной тематике, позволяют нам сделать ряд предположений в отношении механизмов выявленных различий асимметрии активности жевательных мышц в выделенных нами группах.

Соотношение активности жевательных мышц при жевании, в первую очередь, отражает особенности моторного контроля. Отсутствие патологий ВНЧС, аномалий прикуса и поражений зубов у участников исследования свидетельствует о ведущем влиянии поведенческих особенностей на формирование асимметрии работы жевательных мышц. Одним из таких факторов могла бы быть функциональная межполушарная асимметрия, проявляющаяся в доминировании определенной руки или ноги при движении. Проведенные нами двигательные пробы [10] показали преобладание «правшей» в каждой из выделенных нами групп. Это свидетельствует об отсутствии прямой связи между наличием межполушарной асимметрии в организации моторного контроля мышц конечностей и жевательных мышц, что представляется логичным в связи с разными типами поведения, задействующими данные группы мышц.

Обнаруженное нами отсутствие точного соответствия между проявлением билатеральной асимметрии активности жевательных мышц при максимальном сжатии челюстей и при жевании, на наш взгляд, показывает различную корковую организацию вовлечения быстрых и медленных двигательных единиц в сокращение жевательных мышц при выполнении привычного действия (жевания пищи) и в непривычном и неспецифическом тесте сжатия челюстей.

Интересно, что большинство различий между группами по характеру асимметрии было выявлено для СЖМ. Согласно данным литературы, управление СЖМ и ВМ на правой и левой сторонах осуществляется содружественно, что, например, выражается в наличии статистически значимых корреляций между ЭМГ активностью мышц на левой и правой сторонах, а также между активностью правой СЖМ и обеих ВМ при максимальном сжатии челюстей [8]. Это обеспечивает координацию сокращения мышц во время жевания. Однако моторный контроль в отношении каждой мышцы специфичен, что проявляется, в частности, в невысоком коэффициенте указанных выше корреляций (не более 0,6), отсутствии корреляционной связи между активностью левой СЖМ и обеих ВМ, а также в различной степени активации каждой из данных мышц в разных функциональных задачах (жевании различных субстратов, сжатии челюстей, ритмическом движении челюстей и др.) [17]. Таким образом, индивидуальный характер жевания может выражаться в различной степени асимметрии активности СЖМ и ВМ.

В ряде исследований обнаружено, что при подобной регистрации ЭМГ во время жевательных проб вклад СЖМ в общую электрическую активность данных жевательных мышц при жевании твердой пищи выше, чем вклад ВМ: как при свободном жевании [16], так и на рабочей стороне при изолированном жевании [18]. В последнем случае асимметрия интегральной ЭМГ между рабочей и противоположной сторонами выше для СЖМ, чем для ВМ [14, 16, 19]. Кроме того, программа моторного контроля в отношении СЖМ более лабильна, на что указывает, например, повышение частоты колебаний электрических потенциалов СЖМ при сжатии челюстей после кратковременной нормализации окклюзии с помощью шины у стоматологических пациентов, наряду с отсутствием статистически значимых изменений в частоте колебаний потенциала ВМ [20]. Эти факты подтверждают большее значение управления активностью СЖМ по сравнению с ВМ при организации жевания, что может приводить к большей вариативности проявления билатеральной асимметрии для СЖМ среди людей с отсутствием патологии челюстно-лицевой области. В связи с этим полученные нами данные отражают преимущественно проявления индивидуальной поведенческой адаптации жевательной функции. Такие поведенческие компоненты могут оказывать влияние на стоматологические процессы. Например, наличие дисфункции ВНЧС может сопровождаться различными сдвигами электрической активности СЖМ и ВМ и ее асимметрии в разных исследованиях [21]. Описанные нами виды соотношения активности жевательных мышц у здоровых людей позволят проводить более надежную и точную диагностику и коррекцию их функциональной асимметрии.

ВЫВОДЫ

У ряда стоматологически здоровых людей молодого возраста имеется односторонняя асимметрия электрической активности височных и собственно жевательных мышц во время жевания, не коррелирующая с асимметрией активности при максимальном сжатии челюстей и с доминированием конечностей в моторных тестах. По выраженности асимметрии интегральной ЭМГ при жевании были выделены три группы: 1) со стабильным преобладанием активности жевательных мышц на одной стороне лица; 2) с разнонаправленной асимметрией для височных и собственно жевательных мышц; 3) с преобладанием активности мышц на рабочей стороне во время изолированного жевания и незначительной асимметрией при произвольном жевании. Выделенные группы различаются также по асимметрии показателей ЭМГ, характеризующих интенсивность и длительность возбуждения собственно жевательных мышц.

Литература

1. Алявия О., Нишанова А., Гулямова С. Функциональная система, обеспечивающая процессы пищеварения в ротовой полости. *Стоматология*. 2018; 1 (70): 54–57.
2. Gerstner G, Madhavan S and Crane E. Mammalian Oral Rhythms and Motor Control. *Biomechanics in Applications*. InTech. 2011. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/19501>.
3. Piancino MG, Isola G, Cannavale R, Cutroneo G, Vermiglio G, Bracco P, Anastasi GP. From periodontal mechanoreceptors to chewing motor control: A systematic review. *Arch Oral Biol*. 2017; 78: 109–121. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2017.02.010.
4. van der Glas HW, van der Bilt A, Abbink JH, Mason AG, Cadden SW. Functional roles of oral reflexes in chewing and biting: Phase-, task- and site-dependent reflex sensitivity. *Arch Oral Biol*. 2007; 52 (4): 365–369. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.10.022>.
5. Nordstrom MA. Insights into the bilateral cortical control of human masticatory muscles revealed by transcranial magnetic stimulation. *Arch*

- Oral Biol. 2007; 52 (4): 338–42. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2006.09.013.
6. Onozuka M, Fujita M, Watanabe K, Hirano Y, Niwa M, Nishiyama K, et al. Age-related changes in brain regional activity during chewing: a functional magnetic resonance imaging study. *J Dent Res*. 2003; 82: 657–660.
7. Quintero A, Ichescio E, Myers C, Schutt R, Gerstner GE. Brain activity and human unilateral chewing: an fMRI study. *J Dent Res*. 2013; 92: 136–42.
8. Pyo CY, Kim TH, Kim DH. Association between masticatory muscle activity and oral conditions in young female college students. *Anat Cell Biol*. 2021; 54 (4): 479–88. DOI: 10.5115/acb.21.107.
9. Almotairy N, Kumar A, Trulsson M, Grigoriadis A. Development of the jaw sensorimotor control and chewing — a systematic review. *Physiol Behav*. 2018; 194: 456–65. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.06.037.
10. Гурижева М. И. Связи двигательных и визуальных проб, отражающих функциональную асимметрию полушарий головного мозга девушек. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2017; 7 (6): 1154–8.
11. Bogdanov V Type of correlation between bite force and EMG activity of the temporalis and masseter muscles during maximal and submaximal clenching. *Folia Medica*. 2023; 65 (6): 975–85. Available from: <https://doi.org/10.3897/folmed.65.e107180>.
12. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V. An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects. *J Oral Rehabil*. 2000; 27 (1): 33–40. DOI: 10.1046/j.1365-2842.2000.00490.x.
13. Hotta GH, Oliveira AIS de, Oliveira AS de, Pedroni CR. Electromyography and asymmetry index of masticatory muscles in undergraduate students with temporomandibular disorders. *Brazilian Journal of Oral Sciences*. 2015; 14 (2): 176–81. DOI: 10.1590/1677-3225v14n2a15.
14. Kimoto K, Fushima K, Tamaki K, Toyoda M, Sato S, Uchimura N. Asymmetry of masticatory muscle activity during the closing phase of mastication. *Cranio*. 2000; 18 (4): 257–63. DOI: 10.1080/08869634.2000.11746139.
15. Na SH, Kang DW. Comparative Electromyographic Analysis Of Masticatory Muscles Between Bilateral And Unilateral Masticators. *J Korean Acad Prosthodont*. 2002; 40 (6): 577–89.
16. Mioche L, Bourdiol P, Martin JF, Noël Y. Variations in human masseter and temporalis muscle activity related to food texture during free and side-imposed mastication. *Arch Oral Biol*. 1999; 44 (12): 1005–12. DOI: 10.1016/s0003-9969(99)00103-x. PMID: 10669078.
17. Farella M, Palla S, Erni S, Michelotti A, Gallo L. Masticatory muscle activity during deliberately performed oral tasks. *Physiol Meas*. 2008; 29 (2008): 1397–410. DOI: 10.1088/0967-3334/29/12/004.
18. Fueki K, Yoshida E, Sugiura T, Igarashi Y. Comparison of electromyographic activity of jaw-closing muscles between mixing ability test and masticatory performance test. *J Prosthodont Res*. 2009; 53 (2): 72–7. DOI: 10.1016/j.jpor.2008.09.003. Epub 2008 Dec 27. PMID: 19318076.
19. Tomonari H, Seong C, Kwon S, Miyawaki S. Electromyographic activity of superficial masseter and anterior temporal muscles during unilateral mastication of artificial test foods with different textures in healthy subjects. *Clin Oral Investig*. 2019; 23 (9): 3445–55. DOI: 10.1007/s00784-018-2754-x. Epub 2019 Jan 3. PMID: 30607620.
20. Шатров И. М., Жолудев С. Е. Электромиографическая оценка реакции жевательных и височных мышц на нагрузку как показатель функциональной адаптации зубочелюстной системы. *Проблемы стоматологии*. 2016; 1: 103–9.
21. Marcelino V, De Rovere S, Paço M, Gonçalves M, Marcelino S, Guimarães AS, et al. Masticatory Function in Individuals with Temporomandibular Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life (Basel)*. 2023; 13 (2): 472. DOI: 10.3390/life13020472.

References

1. Alyavija O, Nishanova A, Gulyamova S. Funkcional'naja sistema, obespechivajushhaja processy pishhevarenija v rotovoj polosti. *Stomatologija*. 2018; 1 (70): 54–57. Russian.
2. Gerstner G, Madhavan S and Crane E. Mammalian Oral Rhythms and Motor Control. *Biomechanics in Applications*. InTech. 2011. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/19501>.
3. Piancino MG, Isola G, Cannavale R, Cutroneo G, Vermiglio G, Bracco P, Anastasi GP. From periodontal mechanoreceptors to chewing motor control: A systematic review. *Arch Oral Biol*. 2017; 78: 109–121. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2017.02.010.
4. van der Glas HW, van der Bilt A, Abbink JH, Mason AG, Cadden SW. Functional roles of oral reflexes in chewing and biting: Phase-, task- and site-dependent reflex sensitivity. *Arch Oral Biol*. 2007; 52 (4): 365–369. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.10.022>.
5. Nordstrom MA. Insights into the bilateral cortical control of human masticatory muscles revealed by transcranial magnetic stimulation. *Arch Oral Biol*. 2007; 52 (4): 338–42. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2006.09.013.
6. Onozuka M, Fujita M, Watanabe K, Hirano Y, Niwa M, Nishiyama K, et al. Age-related changes in brain regional activity during chewing: a functional magnetic resonance imaging study. *J Dent Res*. 2003; 82: 657–660.
7. Quintero A, Ichescio E, Myers C, Schutt R, Gerstner GE. Brain activity and human unilateral chewing: an fMRI study. *J Dent Res*. 2013; 92: 136–42.
8. Pyo CY, Kim TH, Kim DH. Association between masticatory muscle activity and oral conditions in young female college students. *Anat Cell Biol*. 2021; 54 (4): 479–88. DOI: 10.5115/acb.21.107.
9. Almotairy N, Kumar A, Trulsson M, Grigoriadis A. Development of the jaw sensorimotor control and chewing — a systematic review. *Physiol Behav*. 2018; 194: 456–65. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.06.037.
10. Gurizheva MI. Svjazi dvigatel'nyh i vizual'nyh prob, otrazhajushih funkcional'nuju asimmetriju polusharij golovnogo mozga devushek. *Bjulleten' medicinskih internet-konferencij*. 2017; 7 (6): 1154–8. Russian.
11. Bogdanov V Type of correlation between bite force and EMG activity of the temporalis and masseter muscles during maximal and submaximal clenching. *Folia Medica*. 2023; 65 (6): 975–85. Available from: <https://doi.org/10.3897/folmed.65.e107180>.
12. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V. An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects. *J Oral Rehabil*. 2000; 27 (1): 33–40. DOI: 10.1046/j.1365-2842.2000.00490.x.
13. Hotta GH, Oliveira AIS de, Oliveira AS de, Pedroni CR. Electromyography and asymmetry index of masticatory muscles in undergraduate students with temporomandibular disorders. *Brazilian Journal of Oral Sciences*. 2015; 14 (2): 176–81. DOI: 10.1590/1677-3225v14n2a15.
14. Kimoto K, Fushima K, Tamaki K, Toyoda M, Sato S, Uchimura N. Asymmetry of masticatory muscle activity during the closing phase of mastication. *Cranio*. 2000; 18 (4): 257–63. DOI: 10.1080/08869634.2000.11746139.
15. Na SH, Kang DW. Comparative Electromyographic Analysis Of Masticatory Muscles Between Bilateral And Unilateral Masticators. *J Korean Acad Prosthodont*. 2002; 40 (6): 577–89.
16. Mioche L, Bourdiol P, Martin JF, Noël Y. Variations in human masseter and temporalis muscle activity related to food texture during free and side-imposed mastication. *Arch Oral Biol*. 1999; 44 (12): 1005–12. DOI: 10.1016/s0003-9969(99)00103-x. PMID: 10669078.
17. Farella M, Palla S, Erni S, Michelotti A, Gallo L. Masticatory muscle activity during deliberately performed oral tasks. *Physiol Meas*. 2008; 29 (2008): 1397–410. DOI: 10.1088/0967-3334/29/12/004.
18. Fueki K, Yoshida E, Sugiura T, Igarashi Y. Comparison of electromyographic activity of jaw-closing muscles between mixing ability test and masticatory performance test. *J Prosthodont Res*. 2009; 53 (2): 72–7. DOI: 10.1016/j.jpor.2008.09.003. Epub 2008 Dec 27. PMID: 19318076.
19. Tomonari H, Seong C, Kwon S, Miyawaki S. Electromyographic activity of superficial masseter and anterior temporal muscles during unilateral mastication of artificial test foods with different textures in healthy subjects. *Clin Oral Investig*. 2019; 23 (9): 3445–55. DOI: 10.1007/s00784-018-2754-x. Epub 2019 Jan 3. PMID: 30607620.

20. Shatrov IM, Zholudev SE. Jelektromiograficheskaja ocenka reakcii zhevatel'nyh i visochnyh myshc na nagruzku kak pokazatel' funkcional'noj adaptacii zubocheľjustnoj sistemy. Problemy stomatologii. 2016; 1: 103–9. Russian.
21. Marcelino V, De Rovere S, Paço M, Gonçalves M, Marcelino S, Guimarães AS, et al. Masticatory Function in Individuals with Temporomandibular Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. Life (Basel). 2023; 13 (2): 472. DOI: 10.3390/life13020472.