

DOI: 10.7868/S2658655X26050082
УДК 612.82

Экспериментальная статья

Новый способ активации периодов молчания жевательных мышц посредством чрескожной электрической стимуляции шейного утолщения спинного мозга

А.А. Челноков^{1,*}, П.А. Ашихмин^{1,2}

¹Великолукская государственная академия физической культуры и спорта,
Великие Луки, Российская Федерация

²Семейная стоматология ООО «Профдент»,
Великие Луки, Российская Федерация

*E-mail: and-chelnokov@yandex.ru

Аннотация. Периоды молчания (ПМ) жевательных мышц являются классическим электрофизиологическим тормозным феноменом, используемым для оценки функционального состояния интернейрональных цепей ствола мозга. Цель исследования – выяснение возможностей использования чрескожной электростимуляции (ЧЭС) шейного утолщения спинного мозга для активации стволовых интернейрональных цепей, генерирующих ПМ билатеральных жевательных мышц (*m. masseter*, *m. temporalis anterior*). В исследовании приняли участие 13 здоровых мужчин в возрасте 19–20 лет. Регистрацию ПМ осуществляли при ЧЭС (длительность импульса 0,1 мс, частота 0,1 Гц) на уровне С₆–С₇–позвонок во время максимального сжатия челюстей. Анализировали встречаемость различных конфигураций ПМ, вызываемых пороговой, субмаксимальной и болевой пороговой стимуляцией, а также латентность и длительность компонентов двойного, одиночного и комбинированного ПМ при различных интенсивностях стимуляции и на фоне 30-секундного изометрического сжатия челюстей. ЧЭС вызывала стабильные тормозные ответы, характерные по конфигурации и динамике встречаемости для классического рефлекса ингибирования жевательных мышц. Отличительной особенностью явилось отсутствие субъективно воспринимаемых болевых ощущений при субмаксимальной интенсивности стимуляции. Процент встречаемости одиночных, угнетенных, двойных (ПМ1 и ПМ2) и слитных ПМ зависел от интенсивности стимуляции. Латентность и длительность компонентов двойного, одиночного и комбинированного ПМ жевательных мышц с обеих сторон статистически значимо не изменялись в зависимости от интенсивности стимуляции ($p > 0,05$, критерий Уилкоксона с поправкой FDR). При субмаксимальной стимуляции средние значения составили: ПМ1: латентность – $8,1 \pm 0,4$ мс, длительность – $25,7 \pm 0,8$ мс; ПМ2: латентность – $53,0 \pm 1,2$ мс, длительность – $48,1 \pm 2,3$ мс; одиночный ПМ: латентность – $7,7 \pm 0,3$ мс, длительность – $24,0 \pm 0,6$ мс; комбинированный ПМ: латентность – $8,9 \pm 0,2$ мс, длительность – $94,6 \pm 3,4$ мс.

На фоне 30-секундного сжатия челюстей увеличивалась длительность одностороннего и комбинированного ПМ с обеих сторон и укорачивалась латентность комбинированного ПМ правой *m. temporalis anterior*. Полученные данные подчеркивают перспективность активации ПМ жевательных мышц с помощью ЧЭС шейного утолщения спинного мозга для изучения рефлекторных механизмов орофациальных движений и интегративных механизмов сенсомоторного жевательного контроля, а также разработки новых диагностических и реабилитационных стратегий.

Ключевые слова: период молчания, рефлекс ингибирования жевательных мышц, экстероцептивная супрессия, тройнично-тройничные тормозные рефлексы, чрескожная электрическая стимуляция, шейное утолщение, тригеминальная система

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Великолукской государственной академии физической культуры и спорта. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены Комитетом по этике Великолукской государственной академии физической культуры и спорта (протокол № 2 от 06 октября 2025 г.). Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Вклад авторов в публикацию. ЧАА – идея работы, организация и участие в проведении экспериментов, регистрация и анализ полученных данных, написание и редактирование манускрипта; АПА – организация и участие в проведении экспериментов, регистрация и анализ полученных данных, обработка данных.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры Великолукской государственной академии физической культуры и спорта и Иванову С.М. за помощь в проведении исследований.

Ссылка для цитирования: Челноков А.А., Ашихмин П.А. Новый способ активации периодов молчания жевательных мышц посредством чрескожной электрической стимуляции шейного утолщения спинного мозга. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова / Russian Journal of Physiology*. 2026. Т. 112. № 5. С. 1273–1300. <https://doi.org/10.7868/S2658655X26050082>

A Novel Method for Eliciting Masticatory Muscle Silent Periods via Transcutaneous Electrical Stimulation of the Cervical Spinal Cord Enlargement

A.A. Chelnokov^{1,*}, P.A. Ashikhmin²

¹*Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports,
Velikiye Luki, Russian Federation*

²*Profident LLC Family Dentistry, Velikiye Luki, Russian Federation*

*E-mail: and-chelnokov@yandex.ru

Abstract. Silent periods (SPs) of the masticatory muscles are a classical electrophysiological inhibitory phenomenon used to assess the functional state of brainstem interneuronal circuits. The aim of this study was to investigate the potential of using transcutaneous electrical stimulation (TES) of the cervical spinal cord enlargement for activating brainstem interneuronal circuits responsible for generating SPs in the bilateral masticatory muscles (*m. masseter*, *m. temporalis anterior*) in 13 healthy men aged 19–20 years. SPs were recorded during TES (pulse duration 0.1 ms, frequency 0.1 Hz) applied at the C₆–C₇ vertebral level during maximal voluntary jaw clenching. The incidence of SP configurations elicited by threshold, submaximal, and pain-threshold stimulation, as well as the latency and duration of components of the double, single, and combined SPs, were analyzed across different stimulation intensities and during a 30-second isometric jaw clench. TES elicited stable inhibitory responses, typical in both configuration and incidence dynamics of the classical masticatory inhibitory reflex, and was distinguished by the absence of subjectively perceived pain at submaximal intensity. The percentage incidence of single, suppressed, double (SP1 and SP2), and merged SPs depended on stimulation intensity. The latency and duration of components of the double, single, and combined SPs of the masticatory muscles on both sides did not change significantly with stimulation intensity ($p > 0.05$, Wilcoxon signed-rank test with FDR correction). On average, the latency of SP1 for all masticatory muscles during submaximal stimulation was 8.1 ± 0.4 ms, with a duration of 25.7 ± 0.8 ms; the latency of SP2 was 53.0 ± 1.2 ms with a duration of 48.1 ± 2.3 ms; the latency of the single SP was 7.7 ± 0.3 ms with a duration of 24.0 ± 0.6 ms; and the latency of the combined SP was 8.9 ± 0.2 ms with a duration of 94.6 ± 3.4 ms. During a 30-second isometric jaw clench, the duration of single and combined SPs increased bilaterally, and the latency of the combined SP of the right *m. temporalis anterior* shortened. The obtained data highlight the potential of the method for activating masticatory muscle SPs using TES of the cervical spinal cord enlargement for studying the reflex mechanisms underlying human orofacial movements and the integrative mechanisms of sensorimotor masticatory control in general, as well as for developing new diagnostic and rehabilitative strategies.

Keywords: silent period, masticatory inhibitory reflex, exteroceptive suppression, trigemino-trigeminal inhibitory reflexes, transcutaneous electrical stimulation, cervical enlargement, trigeminal system

Funding. This work was supported by the budget of Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports. No additional grants were received for the conduct or supervision of this specific research.

Ethics declarations. All studies were conducted in accordance with the principles of biomedical ethics outlined in the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent amendments. The study was approved by the Ethics Committee of Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports (Protocol No. 2 dated October 06, 2025). Each study participant gave voluntary written informed consent after receiving explanations about the potential risks and benefits, as well as the nature of the upcoming study.

Conflict of interests. The authors declare that there is no obvious or potential conflict of interest related to the publication of this article.

Authors contribution. ChAA – study conceptualization, organization and participation in conducting experiments, recording and analysis of the obtained data, writing and editing of the manuscript; APA – organization and participation in conducting experiments, recording and analysis of the obtained data, data processing.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the staff of the Research Institute of Problems of Sports and Health-Improving Physical Culture of Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports, and S.M. Ivanov for assistance in conducting the research.

For Citation: Chelnokov A.A., Ashikhmin P.A. A novel method for eliciting masticatory muscle silent periods via transcutaneous electrical stimulation of the cervical spinal cord enlargement. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova / Russian Journal of Physiology*. 2026;112(5):1273–1300. (In Russ.)
<https://doi.org/10.7868/S2658655X26050082>

ВВЕДЕНИЕ

Исследования тригеминальных (жевательных) рефлексов заложили фундамент для понимания сложной организации моторного контроля челюстно-лицевой области у человека. В настоящее время в клинической нейрофизиологии для оценки функционального состояния жевательного аппарата, в частности его стволовых нейрональных структур, широко применяются методы, основанные на электрофизиологической оценке жевательного (нижнечелюстного) рефлекса, рефлекса ингибирования, или кожного периода молчания жевательных мышц, Н-рефлекса и М-ответа жевательных мышц [1–5], а также мультисегментарных моносинаптических моторных ответов, вызываемых чрескожной электрической стимуляцией (ЧЭС) поясничного и шейного утолщения спинного мозга [6]. Нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе жевательных рефлексов, особенно в части тормозного контроля, изучены фрагментарно. В отличие от детально описанных спинальных механизмов, включающих реципрокное, нереципрокное (аутогенное), возвратное,

пресинаптическое торможение и постактивационную (или гомосинаптическую) депрессию [7, 8], вопрос о наличии и специфике аналогичных тормозных сетей в тригеминальной системе жевательных мышц у человека остается дискуссионным [9–11] и практически не отражен в отечественной литературе.

Электрофизиологическими тормозными феноменами в тригеминальной системе жевательных мышц у человека являются периоды молчания (ПМ) – тройнично-тройничные тормозные рефлексы. Классический метод их вызова заключается в электрической стимуляции соматосенсорных афферентов, чаще всего периферических ветвей тройничного нерва (нижнечелюстного или верхнечелюстного), таких как ментальный, язычный или инфраорбитальный нервы, а также афферентов периодонтальной связки [2, 12–14]. Впервые ПМ описаны Hoffman и Tonnie [15] как рефлекс ингибирования жевательных мышц или тормозной компонент языково-челюстного рефлекса, наблюдаемый после электрической стимуляции языка. В отечественной и зарубежной литературе для обозначения данного феномена встречается ряд терминов – «рефлекс ингибирования жевательных мышц», «кожные периоды молчания», «экстероцептивная супрессия», «экстероцептивный период молчания», «подавляющие рефлексы», «периоды подавления», «периоды молчания» [3, 16–19]. В ходе электрической стимуляции афферентов ветвей тройничного нерва при изометрическом сокращении жевательных мышц на ЭМГ-записи они регистрируются в виде периодов полного или частичного подавления мышечной активности. Наиболее изученным и воспроизводимым ЭМГ-паттерном является двойной ПМ жевательных мышц, состоящий из двух отдельных тормозных фаз: первая – коротколатентный ПМ1 (и/или ранний компонент), вторая – длиннолатентный ПМ2 (и/или поздний компонент) [3, 5]. Однако в зависимости от типа стимула (механический или электрический) и его силы могут наблюдаться и другие конфигурации рефлекторных тормозных ответов, такие как одиночный, угнетенный и слитный ПМ [11, 12, 20, 21]. Несмотря на эту вариабельность в рефлекторных ответах, электрофизиологическая регистрация ПМ ЭМГ-активности жевательных мышц служит одним из основных неинвазивных методов, применяемых в изучении физиологии жевания и диагностики как заболеваний нервной системы, так и функциональных нарушений височно-нижнечелюстного сустава и челюстно-лицевой области, и позволяет оценивать функциональное состояние специфических возбуждающих и тормозных нейрональных цепей ствола мозга [11, 17, 18].

Развитие современных нейрофизиологических исследований и клинической практики создает потребность в новых методах диагностики, одним из которых является чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ) [4, 6, 22, 23]. Этот метод представляет большой интерес, поскольку позволяет не только оценивать, но и активно модулировать ключевые физиологические функции (двигательную, кардиореспираторную, выделительную) путем изменения локализации и параметров стимуляции [24]. В работе Sabbahi с соавт. [6] впервые представлены данные вызова мультисегментарных моторных ответов в мышцах лица (лобная, жевательная, круговая мышца глаз, круговая мышца рта) при ЧЭС поясничного и шейного утолщений спинного мозга. В тоже же время в работах, посвященных применению метода ЧЭССМ, отсутствуют сведения о возможности вызова ПМ жевательных мышц посредством ЧЭС шейного утолщения спинного мозга.

Цель исследования – выяснить возможности использования ЧЭС шейного утолщения спинного мозга для активации ствольных интернейронных цепей, генерирующих ПМ жевательных мышц, у здоровых испытуемых. Работа была

сфокусирована на анализе и поиске ответов на следующие вопросы: 1) способна ли ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 вызывать устойчивые ПМ билатеральных жевательных мышц; 2) как изменяются характеристики ПМ (конфигурации ЭМГ-паттерна, латентность, длительность) в зависимости от интенсивности стимулирующего тока (пороговой, субмаксимальной, болевой); 3) как влияет продолжительность изометрического сжатия челюстей на параметры вызываемых ПМ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 13 здоровых мужчин в возрасте 19–20 лет (средний возраст $19,8 \pm 0,4$ года, рост – 181 ± 5 см, масса тела – 75 ± 8 кг). Все участники были здоровы с наличием полного зубного ряда на верхней и нижней челюстях, без анамнеза нервно-мышечных или других заболеваний и дисфункций височно-челюстного сустава. На момент исследований испытуемые не принимали лекарственных препаратов. Все обследуемые были способны к максимальному мышечному сокращению при сжатии челюстей, что подтверждалось регистрацией интерференционной ЭМГ. Все участники подписали письменное информированное согласие на участие в исследовании, которое было одобрено локальным этическим комитетом.

ЧЭСМ и регистрация электромиографии. Положение стимулирующего катода определяли на уровне C_7 шейного утолщения спинного мозга. Для этого путем пальпации во время сгибания и разгибания шеи находили наиболее выступающий остистый отросток (C_7) и проецировали точку по срединной линии между остистыми отростками C_6 – C_7 . Для электрической стимуляции (стимулятор «Нейро-МВП-4», ООО «Нейро-софт», Иваново, Россия) использовали круглый адгезивный электрод ($\varnothing 3,5$ см, FIAB, Италия) и индифферентный анод (гибкая пластина 45×80 мм, FIAB, Италия). Анод накладывали в области подбородка или, при наличии волосяного покрова, на передней поверхности шеи (рис. 1а). Для получения вызванных ПМ жевательных мышц наносили прямоугольные электрические стимулы длительностью 0,1 мс на область C_6 – C_7 шейных позвонков. Частота следования стимулов составляла 0,1 Гц (интервал 10 с). Выбор данной частоты был направлен на полное предотвращение эффекта габитуации позднего компонента ПМ2, который развивается при более частой стимуляции (>1 Гц) и может исказить результаты. Параметры стимуляции соответствовали классическим протоколам регистрации ПМ жевательных мышц при активации афферентных путей [3, 18, 20, 25] и обеспечили воспроизводимую запись характерных конфигураций тормозных ЭМГ-паттернов: одиночного, угнетенного, двойного, слитного и неизмеряемого ПМ. Стимуляцию проводили при функциональной пробе – максимальное волевое смыкание зубных рядов (или максимальном сжатии челюстей) [3, 5, 26]. У каждого испытуемого регистрировали серию из 10 одиночных ответов, после чего сигналы усредняли для последующего анализа.

ЭМГ билатеральных жевательных мышц осуществлялась с помощью 4-канального электромиографа «Нейро-МВП-4» (Иваново, Россия) с полосой пропускания частот от 10 до 500 Гц и дискретизацией с частотой 2000 Гц, эпоха анализа – 500 мс. Отведение ЭМГ от собственно жевательных мышц с обеих сторон (*m. masseter* – ММ и *m. temporalis anterior* – ТА) осуществлялось кожными электродами ($\varnothing = 10$ мм), которые симметрично фиксировались в проекции двигательных точек мышц (рис. 1а). Межелектродное расстояние составляло 20 мм. Референтный электрод располагался в области запястья правой руки.

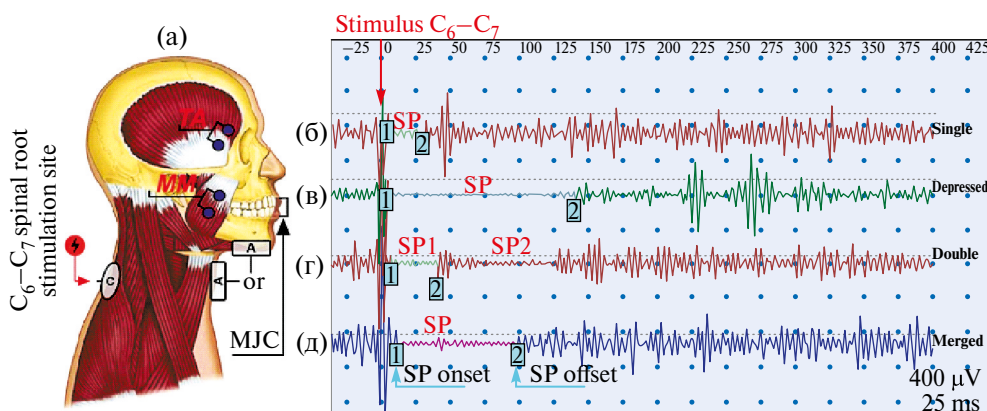


Рис. 1. (а): схематическое описание наложения стимулирующих и отводящих электродов при ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6-C_7 . (б)–(д): пример измерения параметров одиночного, угнетенного, двойного, слитного ПМ в программном обеспечении «Нейро-МВП.NET». ТА – передняя височная мышца; ММ – жевательная мышца; С – стимулирующий (катод) электрод; А – индифферентный анод; МЖС – максимальное сжатие челюстей; SP – период молчания; SP1 – ранний компонент двойного ПМ; SP2 – поздний компонент двойного ПМ; SP onset – начало ПМ; SP offset – конец ПМ

Fig. 1. (a): schematic diagram of stimulating and recording electrode placement during TES at the C_6-C_7 cervical vertebrae level. (б)–(д): example of parameter measurement for the single, suppressed, double, and merged SPs in the “Neuro-MVP.NET” software. ТА – anterior temporalis muscle; ММ – masseter muscle; С – stimulating (cathode) electrode; А – indifferent anode; МЖС – maximal jaw clenching; SP – silent period; SP1 – early component of the double SP; SP2 – late component of the double SP; SP onset – SP onset; SP offset – SP offset

Протокол исследования. В начале исследования определяли пороговую величину ЧЭС на уровне C_6-C_7 , необходимую для вызова ПМ билатеральных жевательных мышц. Интенсивность одиночного стимула устанавливали индивидуально для каждого испытуемого в соответствии с методологией, описанной для заднекорешковых мышечных рефлексов [27]. Стимуляцию начинали с подпороговой интенсивности (5–10 мА) и постепенно увеличивали ее с шагом 5 мА до достижения «общего порога» (\times ОП), т.е. минимальной интенсивности, при которой одновременно регистрировались устойчивые вызванные ПМ всех четырех исследуемых мышц. Интенсивность субмаксимального стимула устанавливали на уровне 120% от общего порога ($\times 1,2$ ОП), которая не достигала порога болевых ощущений у обследуемого в зоне стимуляции. Индивидуальный порог болевой стимуляции определяли с помощью адаптивного психофизического метода («метод лестницы»), при котором интенсивность последующего стимула зависит от реакции испытуемого на предыдущий, что позволяет точно установить минимальную интенсивность, воспринимаемую как боль [28, 29].

При указанных интенсивностях стимулирующего тока проводилось распределение ПМ по классификации Kroon и Naeije [20]. Согласно данной классификации, выделяют пять основных типов (конфигураций) ЭМГ-паттернов ПМ, вызываемых механической и электрической стимуляцией афферентов ветви тройничного нерва (рис. 1б–д):

1. Одиночный ПМ – характеризуется относительно четким началом и окончанием (рис. 1б) с длительностью 20–30 мс.

2. Угнетенный ПМ – сопровождается длительной паузой в ЭМГ-активности, после которой амплитуда сигнала постепенно нарастает до исходного уровня (рис. 1в).

3. Двойной ПМ – характеризуется двумя последовательными фазами торможения, разделенными кратковременной вспышкой мышечной активности (рис. 1г). Общая длительность данного паттерна составляет примерно 60 мс и более, что примерно вдвое превышает длительность одиночного ПМ. Выделяют коротколатентный ранний компонент (ПМ1) с латентностью около 10–15 мс и длиннолатентный поздний компонент (ПМ2) с латентностью 40–50 мс [3, 14, 30].

4. Слитный ПМ – представляет собой продолжительный, неразделенный период торможения, соответствующий по общей длительности двойному ПМ, но без промежуточной вспышки ЭМГ-активности (рис. 1д). Он рассматривается как результат слияния двух тормозных фаз двойного ПМ в один непрерывный интервал.

5. Неизмеряемый ПМ, в котором начало и/или окончание периода торможения не могут быть достоверно определены из-за отсутствия четкой границы на ЭМГ-кривой, что исключает возможность измерения его латентности и длительности (см. рис. 2ж).

Измерение параметров ПМ проводилось в специализированном программном обеспечении «Нейро-МВП.NET» (Шаблон «Cutaneous silent period», версия 4.5.3.3, Иваново, Россия). На каждый зарегистрированный ЭМГ-паттерн вручную устанавливались два маркера (см. рис. 1б–д): маркер 1 – в точку начала подавления биоэлектрической активности (начало ПМ), маркер 2 – в точку ее полного восстановления до исходного уровня (окончание ПМ). Программа автоматически рассчитывала временные параметры: латентность от момента стимула до начала ПМ (латентность 1), латентность от момента стимула до окончания ПМ (латентность 2) и длительность самого периода молчания (интервал между маркером 1 и маркером 2). Полученные данные для каждого измерения фиксировались в таблице «Все кривые» интерфейса программы для последующего экспорта и статистического анализа.

На первом этапе оценивались параметры двойного ПМ в связи с его высокой частотой встречаемости и в соответствии с клинической практикой, где данный паттерн имеет ключевое значение для топической диагностики [2, 3, 5, 17]. Измерялась латентность и длительность раннего (ПМ1) и позднего (ПМ2) компонентов, вызываемых воздействием пороговых, субмаксимальных и болевых стимулов на уровне шейных позвонков С₆–С₇.

Затем для статистического анализа все зарегистрированные тормозные паттерны были разделены на две основные группы: одиночный и комбинированный ПМ. Одиночный ПМ включает классический одиночный паттерн, который предположительно опосредован коротким олигосинаптическим рефлекторным путем. Комбинированный ПМ объединяет в себя угнетенный, двойной и слитный типы [20]. Их большая длительность и сложная конфигурация связаны с вовлечением более протяженных полисинаптических путей, вероятно, включающих супраспинальные структуры (ретикулярную формацию, таламус, кору). Низкая индивидуальная встречаемость этих паттернов исключала возможность их статистически достоверного раздельного анализа. При этом для двойного ПМ, включенного в группу комбинированного, измерялась общая длительность торможения от его начала до полного восстановления фоновой ЭМГ-активности (аналогично измерению слитного и угнетенного паттернов). В рамках данного подхода проводился сравнительный

анализ латентности и длительности одиночного и комбинированного ПМ при различных интенсивностях стимуляции.

В отдельной серии изучалось влияние продолжительного сжимания челюстей на параметры (латентность и длительность) одиночного и комбинированного ПМ жевательных мышц, вызываемых субмаксимальной ЧЭС на уровне шейных позвонков С₆–С₇. Для этого испытуемым ($n = 13$) предлагалось максимально сжимать челюсти в течение 30 с. Субмаксимальный электрический стимул подавался в начале (1-я секунда) и в конце (30-я секунда) сжимания челюстей.

Статистический анализ. Все статистические расчеты были выполнены в программной среде MatLab R2023b (MathWorks, США) с использованием встроенных функций и инструментов пакета Statistics и Machine Learning Toolbox. Для сравнения парных данных (правая и левая сторона внутри каждого условия стимуляции) использовался непараметрический знаковый критерий Уилкоксона (Wilcoxon signed-rank test). Для контроля ложноположительных результатов (ошибки I рода) при множественных сравнениях была применена поправка Бенджамини–Хохберга (False Discovery Rate, FDR) с уровнем $q = 0,05$. При сравнении параметров между тремя условиями стимуляции (пороговая, субмаксимальная, болевая) использовался непараметрический тест Фридмана (Friedman test) для повторных измерений. Размер эффекта рассчитывался как эта-квадрат Кендалла (η^2). Интерпретация величины эффекта проводилась согласно общепринятым критериям: $\eta^2 \geq 0,14$ – большой эффект, $\eta^2 \geq 0,06$ – средний эффект, $\eta^2 < 0,06$ – малый эффект [31]. Для анализа влияния продолжительности максимального сжатия челюстей на латентность и длительность одиночного и комбинированного ПМ использовался непараметрический критерий Манна–Уитни (Mann–Whitney U-test). Статистическая значимость во всех сравнениях устанавливалась при скорректированном $p < 0,05$. Результаты графических данных на рис. 2а представлены как среднее \pm стандартная ошибка среднего ($M \pm SEM$), на рис. 3, 4, 5 – медиана (центральная линия), межквартильный размах (25–75% перцентилей, границы ящика), минимальные и максимальные значения («усы»). Знаком «+» обозначено среднее арифметическое значение.

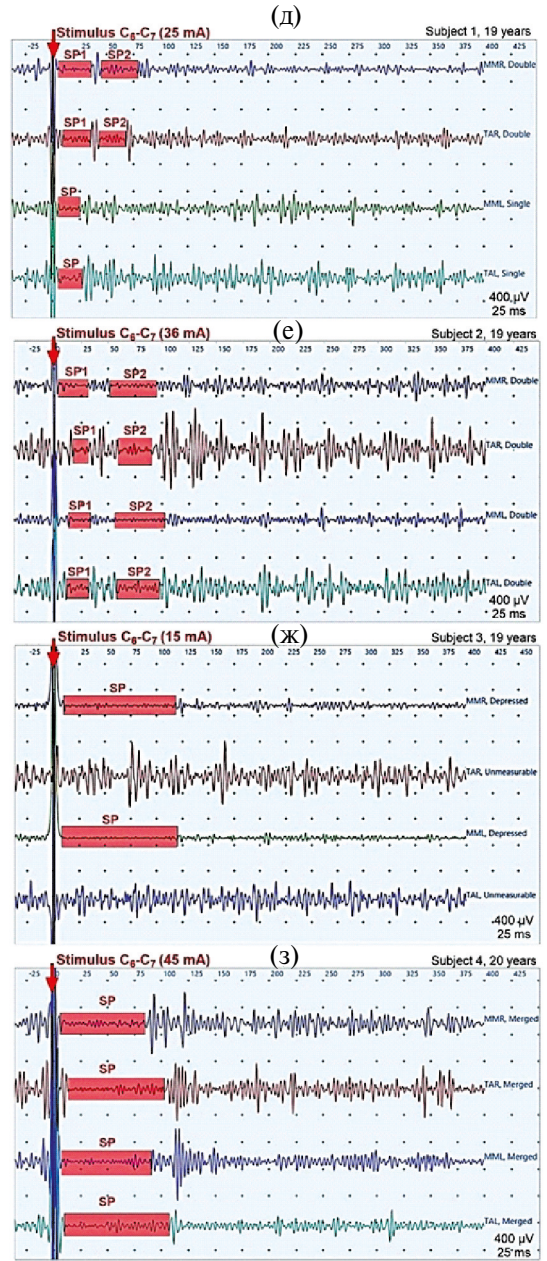
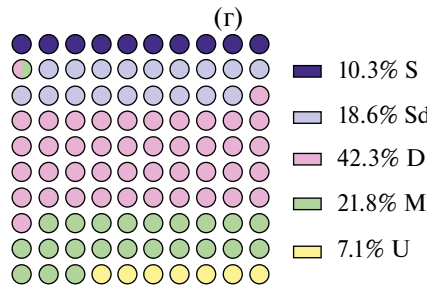
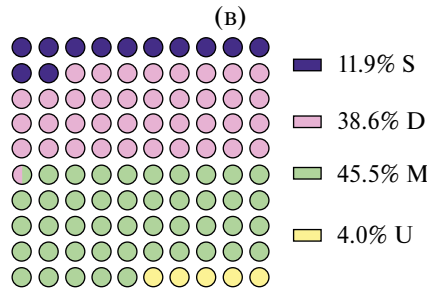
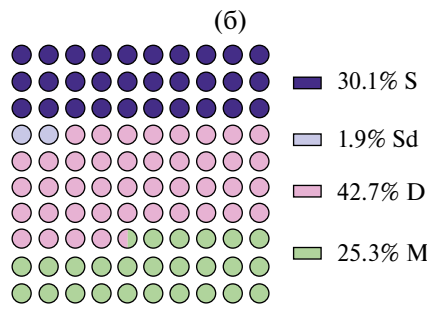
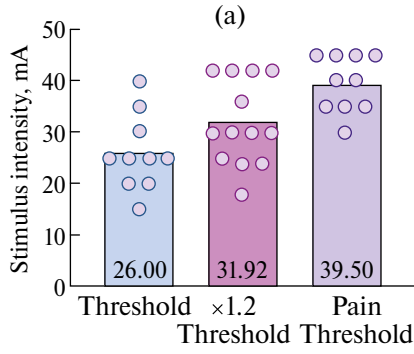
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из рис. 2а видно, что для появления ПМ во всех жевательных мышцах пороговая величина ЧЭС на уровне шейных позвонков С₆–С₇ варьировала от 15 до 40 мА ($26,0 \pm 2,3$; $n = 10$), субмаксимального стимула ($\times 1,2$ ОП) составляла от 18 до 42 мА ($31,9 \pm 2,3$; $n = 13$) и болевого порогового стимула – от 30 до 45 мА ($39,5 \pm 1,7$; $n = 10$).

На рис. 2б–г показано распределение ПМ билатеральных жевательных мышц при пороговой, субмаксимальной и болевой пороговой электрической стимуляции на уровне шейных позвонков С₆–С₇. При пороговой стимуляции наблюдался относительно высокий процент двойного ПМ, который составил 42,7, в 30,1% случаев регистрировали одиночный тип ПМ, в 25,3% случаев – слитный тип и в 1,9% случаев – угнетенный тип (рис. 2б).

Увеличении интенсивности одиночного стимула на 1,2 от пороговых значений приводило к появлению незначительного процента неизмеряемых ПМ, из числа всех жевательных мышц обеих сторон, он составил всего лишь 4,0. Повысился процент встречаемости слитных ПМ до 45,5 по отношению пороговой и болевой стимуляций (рис. 2б–г), но снизился процент одиночных – до 11,9 и двойных ПМ до 38,6 в сравнении с пороговой стимуляцией (рис. 2б, в).

При болевой пороговой стимуляции процент одиночных ПМ снизился до 10,3 в сравнении с пороговой и субмаксимальной стимуляциями (рис. 2б–г), двойных — увеличился до 42,3, слитных — снизился до 21,8, угнетенных периодов — увеличился до 18,6 по сравнению с субмаксимальной стимуляцией (рис. 2в, г). Типовые



ЭМГ-паттерны различных конфигураций ПМ билатеральных жевательных мышц у испытуемых, вызываемых пороговой, субмаксимальной, болевой пороговой электростимуляциями на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 , представлены на рис. 2д–з.

На рис. 3а–е приведены данные латентности и длительности раннего и позднего компонентов двойного ПМ при пороговой, субмаксимальной и болевой пороговой электростимуляции на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . Средние значения латентности раннего компонента (ПМ1) двойного ПМ жевательных мышц, вызываемого пороговой электростимуляцией шейного утолщения спинного мозга, составили: MMR – $8,6 \pm 0,7$ мс; MML – $6,8 \pm 0,9$ мс; TAR – $8,4 \pm 0,8$ мс; TAL – $7,9 \pm 0,9$ мс, а длительности ПМ1 MMR – $24,4 \pm 1,1$ мс; MML – $27,1 \pm 1,6$ мс; TAR – $26,2 \pm 1,4$ мс; TAL – $23,2 \pm 2,3$ мс (рис. 3а, г). Показатели позднего компонента (ПМ2), в отличие от раннего, значительно больше и составили: латентность MMR – $45,6 \pm 2,4$ мс; MML – $51,3 \pm 2,7$ мс; TAR – $50,3 \pm 2,8$ мс; TAL – $53,7 \pm 2,4$ мс; длительность MMR – $51,0 \pm 5,1$ мс; MML – $48,3 \pm 5,9$ мс; TAR – $40,0 \pm 5,0$ мс; TAL – $42,1 \pm 4,1$ мс (рис. 3а, г). Статистический анализ (Wilcoxon-FDR) не выявил значимых различий в параметрах ПМ1 и ПМ2 жевательных мышц ($p > 0,05$). Однако наблюдалась тенденция к увеличению длительности ПМ1 ММ левой стороны по сравнению с правой ($27,1 \pm 1,6$ и $24,4 \pm 1,1$ мс соответственно, $p = 0,02$, Wilcoxon test), но после коррекции на множественные сравнения это различие не было статистически значимым ($p = 0,29$, Wilcoxon-FDR, рис. 3г). Отсутствие систематических различий в показателях тормозных ответов жевательных мышц между правой и левой сторонами позволило усреднить полученные данные. В среднем латентность ПМ1 всех жевательных мышц обеих сторон составляла $7,9 \pm 0,4$ мс, длительность – $25,3 \pm 0,7$ мс; латентность ПМ2 – $50,1 \pm 1,0$ мс, длительность – $45,3 \pm 2,2$ мс.

При субмаксимальной стимуляции шейного утолщения спинного мозга ($\times 1,2$ порога) средние значения параметров двойного ПМ жевательных мышц составили: латентность ПМ1 MMR – $6,2 \pm 0,8$ мс, MML – $6,8 \pm 1,0$ мс, TAR – $8,6 \pm 1,0$ мс, TAL – $10,0 \pm 1,1$ мс; длительность ПМ1 MMR – $25,1 \pm 1,5$ мс, MML – $26,1 \pm 1,4$ мс, TAR – $26,4 \pm 1,6$ мс, TAL – $25,0 \pm 1,5$ мс; латентность ПМ2 MMR – $50,1 \pm 3,2$ мс, MML – $53,1 \pm 3,0$ мс, TAR – $51,4 \pm 2,8$ мс, TAL – $56,8 \pm 3,3$ мс; длительность ПМ2 MMR – $44,3 \pm 8,6$ мс, MML – $47,8 \pm 6,4$ мс, TAR – $51,1 \pm 3,4$ мс, TAL – $47,5 \pm 6,0$ мс

Рис. 2. Средние значения (а) пороговой, субмаксимальной, болевой пороговой ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . Процент встречаемости одиночных (S), угнетенных (Sd), двойных (D), слитых (M) и неизмеряемых (U) периодов молчания билатеральных жевательных мышц, вызываемых пороговой (б), субмаксимальной (в), болевой пороговой (г) ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . Записи ЭМГ-паттернов различных конфигураций ПМ билатеральных жевательных мышц у испытуемых, вызываемых пороговой (д), субмаксимальной (е, ж), болевой пороговой (з) ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . SP1 – ранний компонент периода молчания, SP2 – поздний компонент периода молчания, SP – период молчания, MMR – правая жевательная мышца, TAR – правая височная мышца, MML – левая жевательная мышца, TAL – левая височная мышца

Fig. 2. Mean values (a) of threshold, submaximal, and pain-threshold TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. Percentage incidence of single (S), suppressed (Sd), double (D), merged (M), and unmeasurable (U) silent periods in bilateral masticatory muscles, elicited by threshold (б), submaximal (в), and pain-threshold (г) TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. EMG pattern recordings of various SP configurations in bilateral masticatory muscles of subjects, elicited by threshold (д), submaximal (е, ж), and pain-threshold (з) TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. SP1 – early component of the silent period; SP2 – late component of the silent period; SP – silent period; MMR – right masseter muscle; TAR – right temporalis anterior muscle; MML – left masseter muscle; TAL – left temporalis anterior muscle

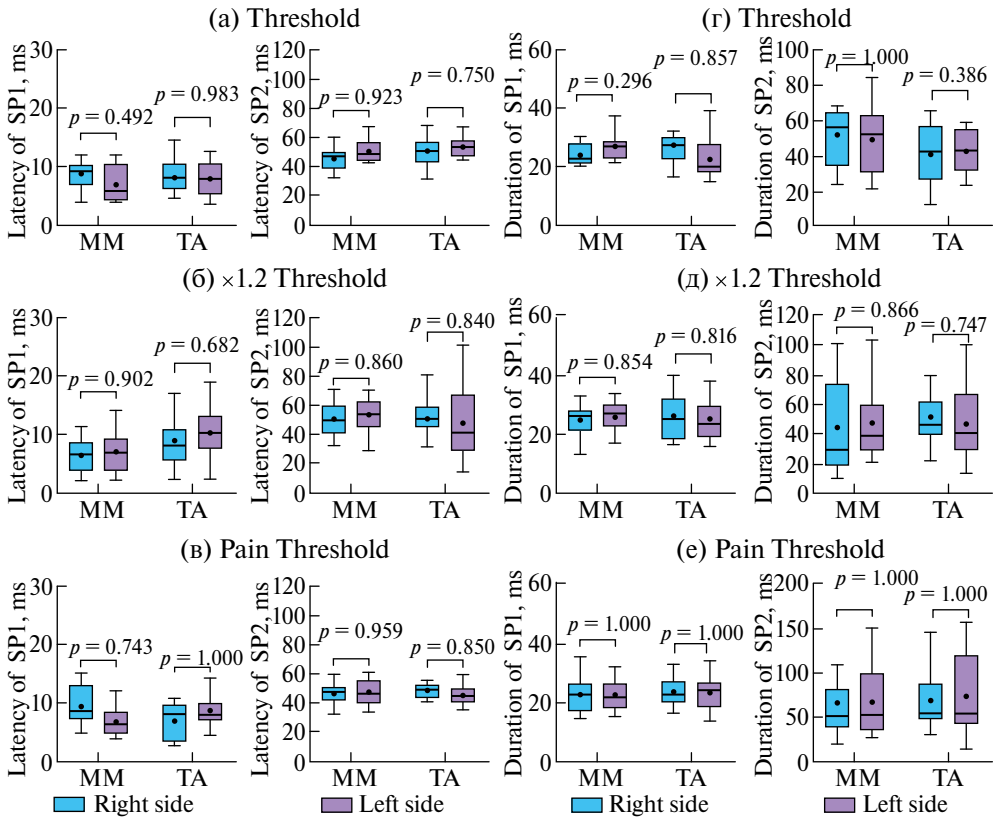


Рис. 3. Латентность и длительность раннего (ПМ1) и позднего (ПМ2) компонентов двойного ПМ при пороговой (а, г), субмаксимальной (б, д), болевой пороговой (в, е) ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . p – непараметрический знаковый критерий Уилкоксона (Wilcoxon signed-rank test) с поправкой Бенджамини–Хохберга (FDR) (Wilcoxon-FDR)

Fig. 3. Latency and duration of the early (SP1) and late (SP2) components of the double SP during threshold (а, г), submaximal (б, д), and pain-threshold (в, е) TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. p – non-parametric Wilcoxon signed-rank test with Benjamini–Hochberg (FDR) correction (Wilcoxon-FDR)

(рис. 3б, д). Статистический анализ также не выявил значимых различий в параметрах ПМ1 и ПМ2 жевательных мышц между правой и левой сторонами при субмаксимальной стимуляции ($p > 0.05$, Wilcoxon-FDR). Усредненные значения параметров тормозных ответов жевательных мышц были следующими: латентность ПМ1 – $8,1 \pm 0,4$ мс, длительность ПМ1 – $25,7 \pm 0,6$ мс; латентность ПМ2 – $53,0 \pm 1,2$ мс, длительность ПМ2 – $48,1 \pm 2,3$ мс.

При болевой пороговой стимуляции шейного утолщения спинного мозга средние значения параметров двойного ПМ составили (рис. 3в, е): латентность ПМ1 MMR – $9,3 \pm 1,1$ мс, MML – $6,9 \pm 0,8$ мс, TAR – $7,2 \pm 1,0$ мс, TAL – $8,7 \pm 0,9$ мс; длительность ПМ1 MMR – $22,5 \pm 1,9$ мс, MML – $23,7 \pm 1,6$ мс, TAR – $22,8 \pm 1,8$ мс, TAL – $23,1 \pm 2,0$ мс; латентность ПМ2 MMR – $46,1 \pm 2,2$ мс, MML – $47,0 \pm 3,0$ мс, TAR – $47,7 \pm 1,7$ мс, TAL – $44,6 \pm 2,4$ мс; длительность ПМ2 MMR – $66,0 \pm 11,4$ мс,

MML – $67,1 \pm 12,8$ мс, TAR – $68,7 \pm 11,4$ мс, TAL – $73,4 \pm 15,6$ мс. Статистический анализ (Wilcoxon-FDR) не выявил значимых различий между правой и левой сторонами для всех параметров ПМ1 и ПМ2 жевательных мышц ($p > 0,05$). После усреднения по обеим сторонам были получены следующие параметры: латентность ПМ1 – $8,1 \pm 0,4$ мс, длительность ПМ1 – $23,0 \pm 0,7$ мс; латентность ПМ2 – $46,4 \pm 0,9$ мс, длительность ПМ2 – $68,4 \pm 5,0$ мс.

Сравнительный анализ разной интенсивности стимуляции (пороговая, субмаксимальная, болевая) на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 выявил ее селективное влияние лишь на отдельные параметры двойного ПМ жевательных мышц. Установлено значимое влияние интенсивности стимуляции на латентность ПМ1 ММ правой стороны ($p = 0,01$, $\eta^2 = 0,31$), латентность ПМ2 ТА левой стороны ($p = 0,03$, $\eta^2 = 0,30$) и длительность ПМ2 ТА левой стороны ($p = 0,01$, $\eta^2 = 0,35$). Обнаружено, что наименьшие значения латентности ПМ1 ММ правой стороны были получены при субмаксимальной стимуляции ($6,2 \pm 0,8$ мс), что на 2,4 мс меньше, чем при пороговой ($8,6 \pm 0,7$ мс), а при болевой стимуляции латентность увеличивалась до $9,3 \pm 1,1$ мс, что на 3,1 мс больше, чем при субмаксимальной, и на 0,7 мс – по сравнению с пороговой (рис. 3а–в). В свою очередь, при субмаксимальной стимуляции латентность ПМ2 ТА левой стороны повысилась до $56,8 \pm 3,3$ мс по сравнению с пороговой ($53,7 \pm 2,4$ мс), с последующим ее снижением при болевой стимуляции до $44,6 \pm 2,4$ мс (рис. 3а–в). При этом длительность ПМ2 ТА левой стороны прогрессивно возрастала от $42,1 \pm 4,1$ мс при пороговой стимуляции до $47,5 \pm 6,0$ мс при субмаксимальной и достигала максимальных значений ($73,4 \pm 15,6$ мс) при болевой стимуляции (рис. 3г–е).

На рис. 4а–е представлены данные латентности и длительности одиночного и комбинированного ПМ билатеральных жевательных мышц при пороговой, субмаксимальной и болевой пороговой ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . Средние значения латентности одиночного ПМ жевательных мышц при пороговой стимуляции составили: MMR – $8,3 \pm 0,5$ мс; MML – $7,2 \pm 0,7$ мс; TAR – $8,0 \pm 0,5$ мс; TAL – $7,7 \pm 0,8$ мс; длительности одиночного ПМ: MMR – $23,3 \pm 1,0$ мс; MML – $26,1 \pm 1,5$ мс; TAR – $24,1 \pm 1,3$ мс; TAL – $21,3 \pm 1,0$ мс (рис. 4а, г). Латентность комбинированного ПМ составила: MMR – $9,3 \pm 0,7$ мс; MML – $6,9 \pm 0,6$ мс; TAR – $7,9 \pm 0,7$ мс; TAL – $7,7 \pm 0,6$ мс (рис. 4а). Длительность комбинированного ПМ была значительно больше, чем одиночного ПМ, и составила: MMR – $85,0 \pm 5,4$ мс; MML – $85,9 \pm 4,9$ мс; TAR – $78,5 \pm 5,6$ мс; TAL – $75,3 \pm 5,0$ мс (рис. 4г). Статистический анализ с использованием Wilcoxon-FDR не выявил значимых различий между правой и левой сторонами для всех параметров одиночного и комбинированного ПМ ($p > 0,05$). Однако отмечалась тенденции к различиям в латентности комбинированного ПМ между ММ правой и левой сторон ($9,3 \pm 0,7$ мс и $6,9 \pm 0,6$ мс, разница 2,4 мс; $p = 0,01$), но после коррекции на множественные сравнения эти различия не были статистически значимыми ($p = 0,104$, рис. 4а). В среднем латентность одиночного ПМ всех мышц составляла $7,8 \pm 0,3$ мс, длительность – $23,7 \pm 0,5$ мс; латентность комбинированного ПМ – $7,8 \pm 0,3$ мс, длительность – $81,0 \pm 2,3$ мс.

При субмаксимальной стимуляции шейных сегментов спинного мозга средние значения латентности одиночного ПМ и комбинированного ПМ составляли: MMR – $8,7 \pm 1,0$ и $8,7 \pm 0,6$ мс; MML – $6,4 \pm 0,7$ и $8,6 \pm 0,7$ мс; TAR – $7,0 \pm 0,8$ и $8,9 \pm 0,7$ мс; TAL – $8,5 \pm 0,6$ и $8,4 \pm 0,5$ мс, а длительности MMR – $23,0 \pm 1,6$ и $100,8 \pm 9,6$ мс; MML – $25,3 \pm 1,8$ и $97,3 \pm 9,0$ мс; TAR – $24,7 \pm 1,8$ и $95,6 \pm 8,2$ мс;

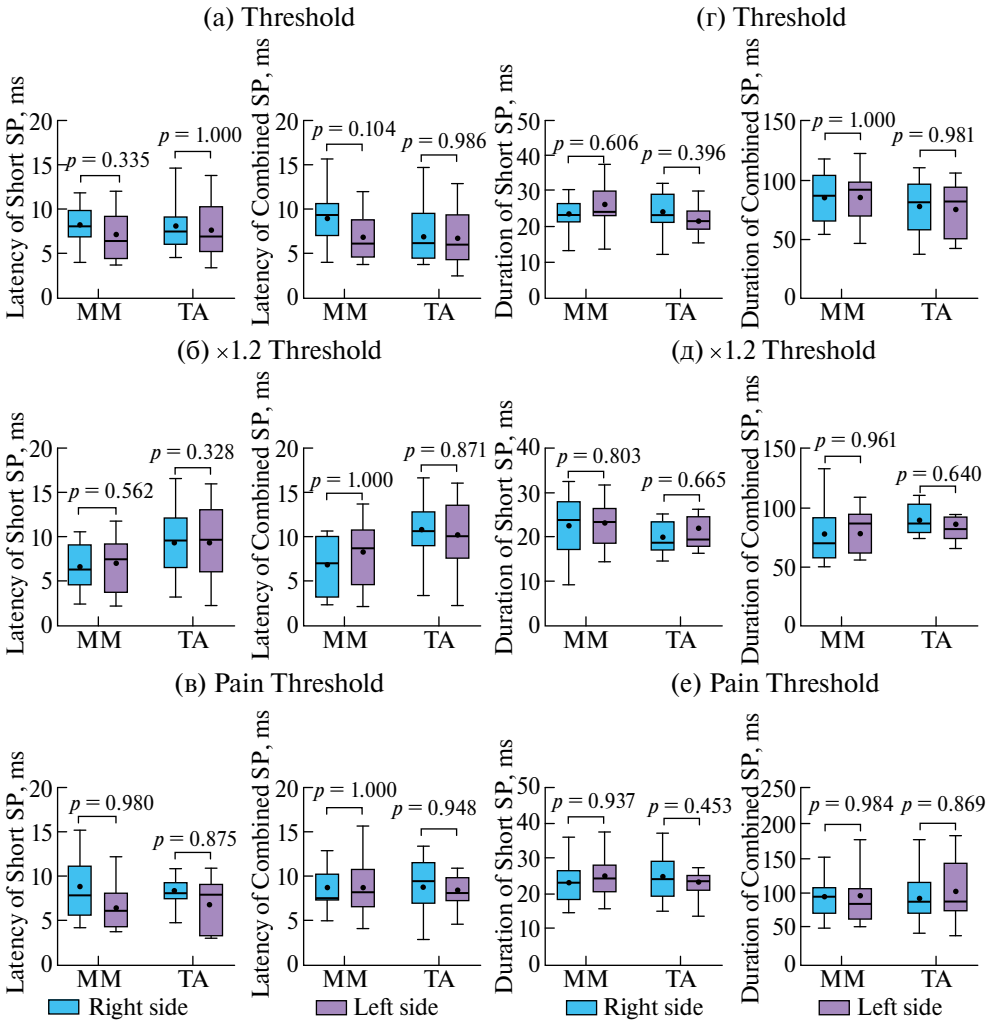


Рис. 4. Латентность и длительность одиночного и комбинированного ПМ при пороговой (а, г), субмаксимальной (б, д), болевой пороговой (в, е) ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . p – непараметрический знаковый критерий Уилкоксона (Wilcoxon signed-rank test) с поправкой Бенджамини–Хохберга (FDR)

Fig. 4. Latency and duration of single and combined SPs during threshold (a, r), submaximal (б, д), and pain-threshold (в, е) TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. p – nonparametric Wilcoxon signed-rank test with Benjamini–Hochberg (FDR) correction (Wilcoxon-FDR)

TAL – $23,4 \pm 1,4$ и $101,2 \pm 9,7$ мс соответственно (рис. 4б, д). При парном сравнении выявлены различия в латентности одиночного ПМ между ТА правой и левой сторон ($7,0 \pm 0,8$ и $8,5 \pm 0,6$ мс, разница 1,5 мс; $p = 0,04$). Статистическая значимость этих различий не сохранилась после поправки на множественные сравнения (скорректированные p -значения составили 0,328, рис. 4б). В среднем латентность

одиночного ПМ всех мышц равнялась $7,7 \pm 0,3$ мс, длительность — $24,0 \pm 0,6$ мс; латентность комбинированного ПМ — $8,9 \pm 0,2$ мс и длительность — $94,6 \pm 3,4$ мс.

При болевой пороговой стимуляции на уровне позвонков C_6-C_7 средние значения латентности одиночного ПМ и комбинированного ПМ равнялись: MMR — $6,5 \pm 0,8$ и $6,8 \pm 1,0$ мс; MML — $6,9 \pm 1,1$ и $8,1 \pm 1,1$ мс; TAR — $9,3 \pm 1,4$ и $10,6 \pm 1,2$ мс; TAL — $9,2 \pm 1,3$ и $10,1 \pm 1,4$ мс, а длительности MMR — $22,6 \pm 2,3$ и $79,1 \pm 7,8$ мс; MML — $23,2 \pm 1,8$ и $80,9 \pm 5,5$ мс; TAR — $20,2 \pm 2,2$ и $89,9 \pm 4,0$; TAL — $21,9 \pm 1,9$ и $86,8 \pm 6,3$ мс соответственно (рис. 4в, е). Статистически значимых различий между ММ и ТА правой и левой сторон для параметров одиночного ПМ и комбинированного ПМ не выявлено ($p > 0,05$; Wilcoxon-FDR). Средние значения всех мышц составили: для одиночного ПМ — латентность $8,0 \pm 0,5$ мс и длительность $21,9 \pm 0,8$ мс; для комбинированного ПМ — латентность $8,9 \pm 0,5$ мс и длительность $93,8 \pm 2,4$ мс.

Сравнительный анализ рефлекторных тормозных ответов билатеральных жевательных мышц в зависимости от интенсивности стимулирующего тока (пороговой, субмаксимальной, болевой) на уровне позвонков C_6-C_7 показал, что большинство параметров одиночного и комбинированного ПМ оставались неизменными ($p > 0,05$; Friedman test). Статистически значимая зависимость от интенсивности стимуляции была выявлена только в латентности одиночного ПМ ММ правой стороны ($p = 0,020$, $\eta^2 = 0,302$), латентности комбинированного ПМ ТА правой стороны ($p = 0,020$, $\eta^2 = 0,302$) и длительности комбинированного тормозного ответа ММ левой стороны ($p = 0,020$, $\eta^2 = 0,281$). Латентность одиночного тормозного ответа ММ правой стороны была минимальной на фоне болевой стимуляции ($6,5 \pm 0,8$ мс), сокращаясь на 1,8 мс относительно пороговой ($8,3 \pm 0,5$ мс). Наибольшее значение этого параметра зарегистрировано при субмаксимальной стимуляции, которое составило $8,7 \pm 1,0$ мс. Латентность комбинированного ответа ТА правой стороны, напротив, достигала максимума при болевом пороговом воздействии ($10,6 \pm 1,2$ мс), увеличиваясь на 2,7 мс по сравнению с пороговым уровнем ($7,9 \pm 0,7$ мс). Субмаксимальная стимуляция приводила к промежуточному росту показателя и равнялась $8,9 \pm 0,7$ мс (рис. 4а–в). Длительность комбинированного тормозного ответа ММ левой стороны значительно увеличивалась при субмаксимальной стимуляции до $97,3 \pm 9,0$ мс, превышая пороговые значения на 11,4 мс, но снижалась до $80,9 \pm 5,5$ мс при болевой пороговой стимуляции (рис. 4г–е).

Результаты анализа влияния продолжительности изометрического сжатия челюстей на параметры, вызываемые одиночным и комбинированным ПМ жевательных мышц при одиночной субмаксимальной ЧЭС на уровне C_6-C_7 шейных позвонков (рис. 5а–г), показали, что на 30-й секунде сжимания челюстей увеличилась длительность одиночного ПМ ТА правой и левой сторон на $12,2$ мс ($p = 0,003$) и $6,5$ мс ($p = 0,048$) соответственно, а ММ левой стороны — на $6,4$ мс ($p = 0,043$; рис. 5в). В свою очередь повышалась длительность комбинированного ПМ ММ правой и левой сторон на $23,9$ мс ($p = 0,048$) и $15,0$ мс ($p = 0,031$), ТА правой и левой сторон — на $16,5$ мс ($p = 0,045$) и $25,5$ мс ($p = 0,046$; рис. 5г), но уменьшилась латентность комбинированного тормозного паттерна ТА правой стороны на $3,5$ мс ($p = 0,026$; рис. 5б). Наблюдалось снижение латентности комбинированного ПМ ММ и ТА левой стороны на $0,85$ и $0,80$ мс, но статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$; рис. 5б)

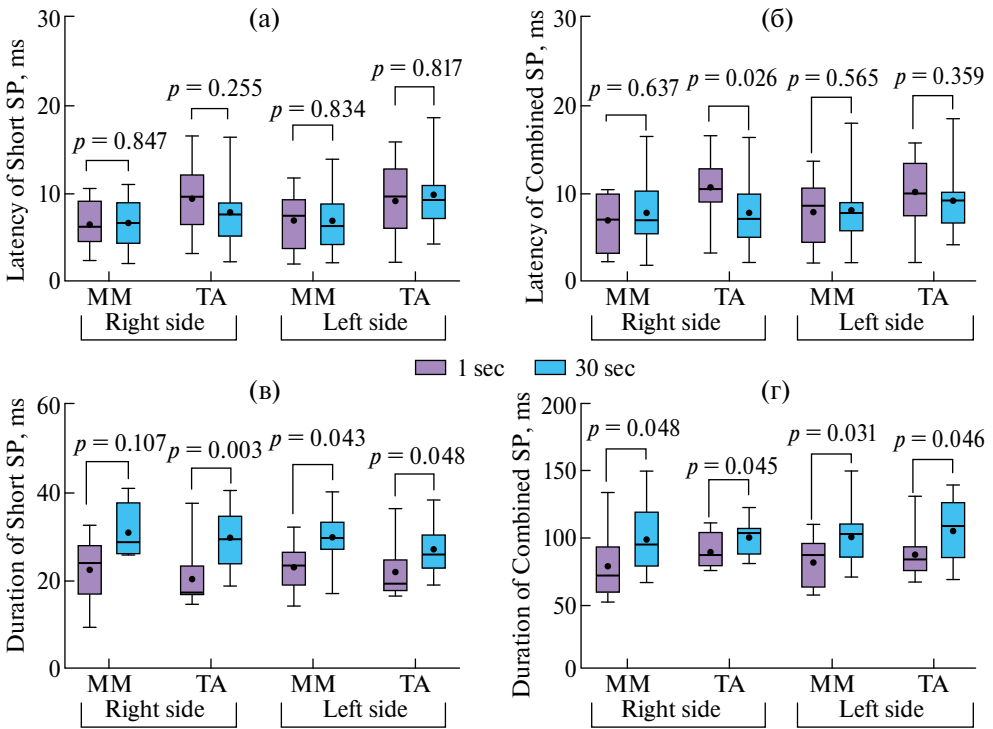


Рис. 5. Влияние продолжительности изометрического сжатия челюстей на параметры одиночного и комбинированного ПМ билатеральных жевательных мышц при одиночной субмаксимальной ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 . p – Mann–Whitney U-test

Fig. 5. Effect of isometric jaw clenching duration on parameters of single and combined SPs in bilateral masticatory muscles during single submaximal TES at the C_6 – C_7 cervical vertebrae level. p – Mann–Whitney U-test

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В настоящем исследовании впервые показано, что ЧЭС на уровне шейных позвонков C_6 – C_7 способна вызывать стабильные и воспроизводимые тормозные рефлекторные ответы (ПМ) билатеральных жевательных мышц, по конфигурации и динамике встречаемости паттернов (одиночные, двойные, слитные) аналогичные классическому рефлексу ингибирования жевательных мышц (или экстероцептивной супрессии). Важным следствием и отличием представленного нами способа от классических протоколов регистрации ПМ является отсутствие субъективно болевых ощущений у испытуемых при субмаксимальной интенсивности стимуляции.

Доказательство тормозного рефлекторного характера ПМ при ЧЭС шейного утолщения спинного мозга. Установлено, что одиночная поверхностная электрическая стимуляция в области поясничных позвонков T_{11} – T_{12} и/или шейных позвонков C_6 – C_7 вызывает рефлекторные ответы в мышцах лица (лобная, жевательная, круговая мышца глаз, круговая мышца рта) [6]. Предполагается, что одиночный стимул, подаваемый между остистыми отростками T_{11} – T_{12} поясничных и C_6 – C_7 шейных

позвонок, распространяет потенциалы действия по проприоспинальным путям в ростральном направлении к двигательным ядрам лицевого (VII) и тройничного (V) черепных нервов, иннервирующих исследуемые мышцы [6]. В отличие от классических протоколов для стабильной регистрации ПМ применяют электрическую стимуляцию ментального или инфраорбитального нервов в 2–3 раза больше порога возникновения рефлекторного тормозного ответа (обычно 20–50 мА), которая вызывает дискомфорт или легкую болезненность у испытуемых, что обусловлено активацией низкопороговых Аβ-волокон и кожных ноцицептивных Ад- и С-волокон системы тройничного нерва [2, 14, 30]. В настоящем исследовании был применен принципиально иной подход, основанный на ЧЭС на уровне позвонков С₆–С₇ (длительность импульса 0,1 мс, частота 0,1 Гц). Мы полагаем, что данный вид электровоздействия обеспечивает селективную активацию крупных миелинизированных афферентов Ia/Ib в составе задних (дорсальных) корешков, а также кожных Аβ-афферентов (группа II), берущих начало в области шейного утолщения спинного мозга. Предположение об активации крупных миелинизированных афферентов при ЧЭС шейного утолщения косвенно подтверждается работой Sabbahi с соавт. [6], которые зарегистрировали коротколатентные мультисегментарные моносинаптические ответы в жевательных мышцах при аналогичной стимуляции. Наши данные расширяют эти представления, свидетельствуя о том, что тот же афферентный вход способен активировать тормозные олиго- и полисинаптические интернейрональные цепи. Таким образом, используемый способ, благодаря низкой частоте и субмаксимальной интенсивности стимуляции, позволяет избежать прямого возбуждения ноцицептивных волокон (Ад и С), что сводит к минимуму неприятные субъективные ощущения у испытуемых.

Другим аргументом доказательства тормозного рефлекторного характера ПМ является идентичность наблюдаемых нами простых (одиночный тип) и сложных (угнетенный, двойной и слитный типы) тормозных ЭМГ-паттернов при ЧЭС шейного утолщения с паттернами при периферической стимуляции афферентов ветви тройничного нерва [12, 20], а также сходная динамика их распределения в зависимости от интенсивности (пороговая, субмаксимальная, болевая пороговая) стимуляции (см. рис. 2б–г). В работах [12, 20] показано, что при механическом постукивании неврологическим молоточком по подбородку и электрической стимуляции кожных афферентов в подбородочной области распространенность этих паттернов существенно зависит от силы стимула: при слабом постукивании преобладают простые одиночные ПМ, тогда как увеличение силы удара приводит к значительному росту доли сложных паттернов – угнетенных, двойных и слитных типов. Аналогично электрическая стимуляция кожных афферентов над подбородком может вызывать как ранний коротколатентный (ПМ1), так и поздний длиннлатентный (ПМ2) компоненты, причем начало ПМ2 совпадает с длиннлатентным компонентом при двойном ПМ, вызванном постукиванием по подбородку [16, 20, 32], а при электрической стимуляции пульпы зуба – одиночный, двойной и слитный типы [12]. Наблюдаемые нами конфигурации рефлекторных тормозных ответов жевательных мышц при ЧЭС шейного утолщения – от простого одиночного до сложных угнетенных, двойных и слитных ЭМГ-паттернов – отражает прежде всего общий уровень активации афферентов дорсальных корешков шейного утолщения на уровне позвонков С₆–С₇, зависящий от интенсивности стимуляции. Согласно современным представлениям [11], простые тормозные ответы, включая ранний компонент (ПМ1) в сложном двойном паттерне, реализуются через

коротколатентные олигосинаптические стволовые пути, тогда как сложные паттерны, включая поздний длиннолатентный компонент (ПМ2) и комбинированные ответы, — через полисинаптические стволовые рефлекторные дуги, замыкающиеся в области моста и продолговатого мозга, которые модулируются различными ядрами тригеминального сенсорного комплекса и нисходящими тормозными путями, в частности ретикулоспинального тракта [33, 34].

В нашем исследовании средние значения латентностей раннего компонента двойного ПМ оказались меньше (ПМ1: $8,1 \pm 0,4$ мс), а позднего компонента — больше (ПМ2: $53,0 \pm 1,2$ мс) в сравнении с референтными значениями (ПМ1: 10–15 мс; ПМ2: 40–50 мс) классического рефлекса ингибирования жевательных мышц, вызываемого стимуляцией ветвей тройничного нерва [3, 14, 30]. Указанные различия могут быть объяснены методологическим отличием нашего протокола — стимуляцией на уровне C_6 – C_7 , которая обеспечивает более прямой доступ к стволовым тормозным сетям по сравнению с периферической стимуляцией ментального или язычного нервов, используемой в стандартных методиках. Важным фактом является также отсутствие в наших данных патологической асимметрии, то есть разницы в латентности одноименных мышц правой и левой сторон (норма ≤ 8 мс) — параметра, который, согласно литературным данным, служит основным электрофизиологическим маркером поражения афферентных путей и ствола мозга [3, 14, 30]. Более того, ни латентность, ни длительность компонентов двойного, одиночного и комбинированного ПМ жевательных мышц с обеих сторон статистически значимо не изменялись в зависимости от интенсивности стимуляции (пороговой, субмаксимальной, болевой пороговой) шейного утолщения ($p > 0,05$, Wilcoxon-FDR, см. рис. 3а–е и 4а–е). Полученные данные подтверждают, что электрофизиологический механизм их генерации определяется интактными центральными (стволовыми) нейрональными контурами, а не является артефактом или следствием патологической гипервозбудимости.

Все вышеперечисленные данные свидетельствуют о том, что ПМ, вызываемые ЧЭС шейного утолщения спинного мозга, по своей электрофизиологической природе идентичны классическому рефлексу ингибирования жевательных мышц (или экстероцептивной супрессии), вызываемому периферической стимуляцией ветви тройничного нерва, что доказывает активацию одних и тех же возбуждающих и тормозных интернейрональных (бульбарных) сетей ствола мозга.

Нейронные структуры и полагаемые тормозные механизмы, участвующие в генерации коротко- и длиннолатентных ПМ. Неинвазивная электрическая стимуляция крупных миелинизированных афферентов Ia/Ib типа в составе задних корешков на уровне C_6 – C_7 активирует восходящие проприоспинальные пути, которые конвергируют на тех же бульбарных (стволовых) интернейронных сетях, формируя рефлекторные дуги коротко- и длиннолатентного компонентов, как при классической периферической электростимуляции ветви тройничного нерва (рис. 6). Бульбарные интернейроны данных компонентов, в свою очередь, оказывают тормозное влияние на α -мотонейроны жевательных мышц, расположенные в двигательном ядре тройничного нерва.

Согласно классической модели, коротколатентный олигосинаптический компонент (ПМ1), регистрируемый билатерально, возникает в результате передачи афферентного сигнала от механорецепторов периодонтальных связок зубов и ментального нерва с участием единственного тормозного интернейрона (рис. 6, 1) [2, 3, 17, 30]. Этот интернейрон, локализованный ипсилатерально, получает афферентный вход

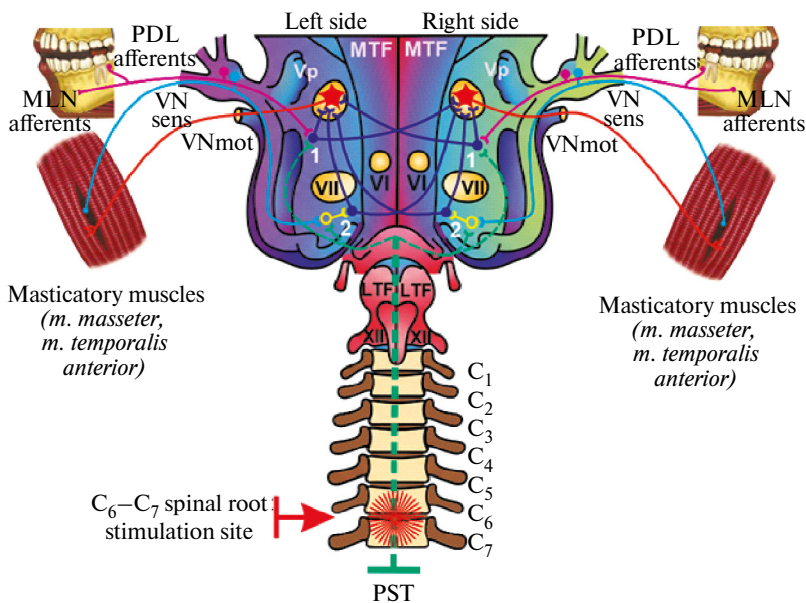


Рис. 6. Схема гипотетических тормозных нейронных путей, опосредующих ранний (ПМ1) и поздний (ПМ2) компоненты периодов молчания жевательных мышц ствола мозга при максимальном сжатии челюстей, вызываемых ЧЭС на уровне шейных позвонков C₆–C₇ (адаптировано и дополнено по [14, 17, 30]): 1 – рефлекторная дуга раннего компонента ПМ; 2 – рефлекторная дуга позднего компонента ПМ; PDL afferents – афферентные волокна периодонтальной связки; MLN afferents – афферентные волокна ментального нерва; PST – propriоспинальный тракт; VN_{sens} – чувствительный корешок тройничного нерва; VN_{mot} – двигательный корешок тройничного нерва; V_p – главное чувствительное ядро тройничного нерва; MTF – медиальное тегментальное поле; LTF – латеральное тегментальное поле; VI – ядро отводящего нерва; VII – ядро лицевого нерва; XII – ядро подъязычного нерва; MN – α-мотонейрон; MJC – максимальное сжатие челюстей

Fig. 6. Schematic diagram of the hypothetical inhibitory neural pathways mediating the early (SP1) and late (SP2) components of brainstem masticatory muscle silent periods during maximal jaw clenching, elicited by TES at the C₆–C₇ cervical vertebrae level (adapted and supplemented from [14, 17, 30]): 1 – reflex arc of the early SP component; 2 – reflex arc of the late SP component; PDL afferents – periodontal ligament afferent fibers; MLN afferents – mental nerve afferent fibers; PST – propriospinal tract; VN_{sens} – sensory root of the trigeminal nerve; VN_{mot} – motor root of the trigeminal nerve; V_p – principal sensory nucleus of the trigeminal nerve; MTF – medial tegmental field; LTF – lateral tegmental field; VI – abducens nucleus; VII – facial nucleus; XII – hypoglossal nucleus; MN – α-motoneuron; MJC – maximal jaw clenching

от главного (мостового) чувствительного ядра тройничного нерва (V_p), проецируя затем тормозное влияние на моторные ядра мышц-аддукторов (жевательная, височная и медиальная крыловидная мышцы) челюсти с обеих сторон. Предполагаемым механизмом генерации коротколатентного компонента является прямое постсинаптическое торможение мотонейронов жевательных мышц [30]. Современные данные подтверждают, что этот постсинаптический тормозной механизм обеспечивает быстрое, билатеральное и стереотипное торможение мотонейронов жевательных мышц, необходимое для защиты от повреждения структуры полости рта при неконтролируемом сокращении жевательных мышц и при движении нижней челюсти во время речи [11]. В нашем исследовании показано, что этот же интернейронный пул способен получать конвергентный вход от восходящих путей,

активируемых стимуляцией на уровне шейных позвонков C_6-C_7 , что приводит к генерации идентичного тормозного ответа.

Длиннолатентный полисинаптический компонент (ПМ2) активируется афферентным сигналом от мышечных веретен жевательной и височной мышц (рис. 6). Эти афферентные волокна следуют по латеральному тракту тройничного нерва к стволу мозга. Его формирует сложная нейрональная цепь в области понтомедуллярного перехода, включая латеральную ретикулярную формацию и ядро спинномозгового пути тройничного нерва [16]. Эта цепь состоит из возбуждающих интернейронов, вероятно, расположенных в латеральной ретикулярной формации продолговатого мозга. Последний интернейрон в этой цепи является тормозным и дает начало ипси- и контралатеральным коллатералам, которые соединяются с мотонейронами мышц-аддукторов в двигательном ядре тройничного нерва (рис. 6, 2) [35]. Существуют данные, что одним из ключевых механизмов, участвующих в формировании длиннолатентного торможения жевательных мышц в тройничной системе, является пресинаптическое торможение [16, 17, 36–38]. Природа пресинаптических механизмов, опосредованных низкопороговыми кожными афферентами тройничного нерва на тригеминофасциальные рефлекторные пути у человека, была установлена в работах Rossi и Scarpini [37, 38]. Авторы приводят ряд аргументов, доказывающих, что пресинаптическое торможение первичных афферентных волокон тройничного нерва является основным тормозным механизмом, способствующим подавлению позднего компонента R2-ответа мигательного рефлекса. Во-первых, установлено сходство у человека и животных во временных межстимульных интервалах (временной ход) в условиях предваряющей стимуляции кожных афферентов подавления R2-ответа мигательного рефлекса и первичной афферентной деполяризации афферентов тройничного нерва; во-вторых, временной ход пресинаптического торможения тригеминофасциального R2-ответа аналогичен пресинаптическому спинальному торможению Ia афферентов камбаловидной мышцы (регистрация по подавлению H-рефлекса камбаловидной мышцы в условиях кондиционирующей стимуляции первичных афферентов передней большеберцовой мышцы); в-третьих, препарат тиреотропин-релизинг-гормон усиливает активность тормозных интернейронов Ia пресинаптического торможения на спинальном уровне и аналогичное влияние оказывает на торможение R2-ответа мигательного рефлекса; в четвертых, у пациентов с поражением кортикобульбарных (синдром Кеннеди) и кортикоспинальных (болезнь Штрюмпеля–Лорена) путей пресинаптическое торможение H-рефлекса камбаловидной мышцы ослабевает, как и торможение R2-ответа мигательного рефлекса, вызванное стимуляцией низкопороговых афферентов тройничного нерва [38]. Позже другими исследователями [39] было показано, что у человека произвольное сжатие челюстей в сочетании со стимуляцией низкопороговых афферентов ментального нерва вызывает подавление амплитуды гетеронимного H-рефлекса передней височной мышцы в диапазоне задержек от 5 до 60 мс. Авторы констатируют, что наблюдаемое торможение, особенно на задержках 5 и 35 мс, когда фоновая мышечная активность оставалась неизменной, является пресинаптическим торможением Ia афферентов жевательного нерва, опосредуемым кожными афферентами ментального нерва.

Влияние продолжительности изометрического сжатия челюстей на параметры вызываемых ПМ. Результаты исследований показали, что на фоне 30-секундного максимального изометрического сжатия челюстей наблюдалось достоверное увеличение длительности как одиночного, так и комбинированного ПМ жевательных мышц

с обеих сторон, вызываемых ЧЭС на уровне шейных позвонков С₆–С₇. Эти данные частично согласуются с данными, полученными при изучении влияния мышечного утомления (при 50% от максимального изометрического сжатия челюстей) на параметры одиночного ПМ билатеральных жевательной и височной мышц при механическом постукивании неврологическим молоточком по подбородку [40]. Авторы также обнаружили, что по мере развития утомления происходит усиления тормозных процессов на α -мотонейроны жевательных мышц, сопровождающиеся значимым увеличением длительности одиночного ПМ, но уменьшением его латентности.

Полученные нами данные можно интерпретировать в контексте современных представлений об иерархическом сенсомоторном контроле жевательной системы и модуляции моно-, поли- и олигосинаптических рефлекторных дуг жевательного рефлекса нисходящими влияниями [11]. Длительное максимальное сжатие челюстей создает выраженный нисходящий кортикобульбарный драйв от первичной моторной коры и кортикальной жевательной области, который проявляется в модуляции возбудимости интернейронов стволовых поли- и олигосинаптических рефлекторных дуг, реализуемой двумя основными путями: напрямую – через моносинаптические кортикобульбарные связи, опосредованно – через структуры ретикулярной формации. Последние служат ключевым центром конвергенции, получая и интегрируя как нисходящие афферентные сигналы, так и афферентные входы от периодонтальных механорецепторов и мышечных веретен.

При интерпретации полученных результатов следует учитывать некоторые ограничения настоящей работы, связанные с объемом ($n = 13$) и составом выборки (здоровые мужчины в возрасте 19–20 лет). Мы осознанно ограничились однородной группой молодых мужчин без стоматологической и неврологической патологии. Такой подход позволил минимизировать вариабельность результатов, обусловленную возрастными изменениями нервно-мышечного аппарата жевательной системы, гендерными особенностями или влиянием сопутствующих заболеваний (например, дисфункций височно-нижнечелюстного сустава или бруксизма), что важно на этапе первичной валидации нового метода. Несмотря на относительно небольшой размер выборки, он сопоставим с аналогичными нейрофизиологическими работами, в которых анализ стабильных рефлекторных ответов, включая тригеминальные рефлексы, Н-рефлекс жевательных мышц и экстероцептивную супрессию, успешно проводился на группах от 9 до 15 испытуемых [20, 21, 29, 32, 39, 40]. Тем не менее мы признаем, что интерпретировать полученные результаты следует с определенной осторожностью. Отсутствие в дизайне исследования женской группы и лиц старшего возраста не позволяет экстраполировать наши выводы на генеральную совокупность без дополнительных исследований. Это открывает перспективы для дальнейших исследований, которые должны быть направлены на изучение возможных гендерных и возрастных различий, а также на оценку диагностической значимости метода в клинических условиях (например, при центральных и периферических поражениях тройничного нерва, а также у пациентов с бруксизмом и мышечно-суставными дисфункциями).

Клинические перспективы и трансляционный потенциал метода. В диагностической сфере предложенный метод открывает новые возможности для неинвазивной оценки функционального состояния центральных и стволовых отделов тригеминальной системы. Кроме того, метод позволяет перейти к объективной нейрофизиологической характеристике болевых синдромов челюстно-лицевой области. Изменение параметров ПМ, вызываемых ЧЭС, может служить маркером

дисфункции тормозных механизмов ствола мозга, например при расстройствах височно-нижнечелюстного сустава или невралгии тройничного нерва. Отдельного внимания заслуживает потенциал метода для топической диагностики уровня поражения тройничного нерва. Сопоставление ПМ, вызываемых предложенным спинальным способом и классической периферической стимуляцией, позволит дифференцировать поражение периферической ветви от патологии центральных стволовых структур, что имеет важное значение для выбора тактики лечения.

В реабилитационном аспекте ключевыми преимуществами метода является его безболезненность и уникальная возможность активировать стволовые моторные центры по принципу «снизу-вверх», минуя поврежденные корковые структуры. Это создает физиологическую основу для разработки протоколов нейромодуляции, направленных на восстановление функции у пациентов с центральными параличами жевательных мышц после инсульта или черепно-мозговой травмы, а также для коррекции нарушений жевания и глотания (дисфагии) в рамках комплексной реабилитации. Особую перспективу метод приобретает в педиатрической практике, например у детей с детским церебральным параличом, где атравматичность и безболезненность процедуры являются важными факторами реабилитационных мероприятий [22]. Учитывая, что ЧЭССМ уже показала свою эффективность в восстановлении локомоторных функций [23, 24], полученные нами данные расширяют терапевтический и диагностический потенциал этого подхода, впервые открывая возможность для мониторинга и модуляции функционального состояния кранио-бульбарных рефлексов, имеющих ключевое значение для жизненно важных функций орофациальной области.

Вместе с тем трансляционный потенциал метода имеет определенные ограничения, особенно при выраженной патологии ЦНС. При грубых поражениях восходящих проприоспинальных путей или самих стволовых структур тормозной ответ может быть изменен или отсутствовать, что, однако, само по себе будет иметь диагностическую ценность. Для широкого внедрения метода в клинику необходимы дальнейшие исследования, направленные на оценку безопасности и эффективности длительных протоколов стимуляции у пациентов с различными нозологиями. Разработанный подход следует рассматривать как перспективный способ, открывающий новые возможности для изучения и коррекции бульбарных функций, который, безусловно, нуждается в дальнейшей клинической валидации.

В заключение отметим, что в настоящем исследовании описан новый неинвазивный подход к оценке функционального состояния бульбарных (стволовых) интернейронных сетей человека с помощью ЧЭС шейного утолщения спинного мозга. Это первая работа, показывающая, что ЧЭС на спинальном уровне способна устойчиво инициировать простые и сложные тормозные рефлекторные ответы – ПМ жевательных мышц, которые по своим электрофизиологическим конфигурациям паттернов идентичны природе классического тригеминального рефлекса ингибирования жевательных мышц (или экстероцептивной супрессии), вызываемого периферической стимуляцией ветвей тройничного нерва. Полученные данные подчеркивают перспективность метода ЧЭС шейного утолщения спинного мозга для изучения рефлекторных механизмов, лежащих в основе орофациальных движений у человека, и интегративных механизмов сенсомоторного жевательного контроля в целом, а также для разработки новых диагностических и реабилитационных стратегий. Следующим необходимым этапом исследований должно стать прямое сравнение параметров ПМ, вызываемых спинальной и периферической стимуляцией, внутри одной группы испытуемых для окончательного подтверждения идентичности лежащих в их основе механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deletis V., Fernandez-Conejero I. Intraoperative monitoring and mapping of the functional integrity of the brainstem. *J. Clin. Neurol.* 2016. Vol. 12. No. 3. Pp. 262–273. <https://doi.org/10.3988/jcn.2016.12.3.262>
2. Kennelly K.D. Clinical neurophysiology of cranial nerve disorders. В сб.: K.H. Levin, P. Chauvel (eds.) *Clinical Neurophysiology: Diseases and Disorders*. Elsevier, 2019. Pp. 327–342. (Handbook of Clinical Neurology, vol. 161). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64142-7.00058-8>
3. Seliverstov Yu.A., Abramova A.A., Evdokimov K.M. et al. Electrophysiological assessment of cranial reflexes. *Ann. Clin. Exp. Neurol.* 2021. Vol. 15. No. 4. Pp. 78–85. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2021.4.8>
4. Choi J., Díaz-Baamonde A., Sánchez Roldán M.L.Á. et al. Advancing intraoperative neurophysiological monitoring with human reflexes. *J. Clin. Neurol.* 2024. Vol. 20. No. 2. Pp. 119–130. <https://doi.org/10.3988/jcn.2023.0416>
5. Kimura J. *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice*. 5th ed. Oxford: Oxford University Press, 2025.
6. Sabbahi M.A., Ovak-Bittar F., Uzun S. et al. Multisegmental motor responses with spinal cord stimulation: A new approach of testing nervous system circuitries. *J. Neurol. Neurophysiol.* 2013. Vol. 4. 3. <https://doi.org/10.4172/2155-9562.S1.015>
7. Pierrot-Deseilligny E., Burke D. *The circuitry of the human spinal cord: spinal and corticospinal mechanisms of movement*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.
8. Гладченко Д.А., Челноков А.А., Богданов С.М. и др. Тормозная интернейронная сеть спинного мозга: организация и контроль произвольного движения и локомоции человека. *Успехи физиологических наук*. 2025. Т. 56. № 2. С. 67–85. <https://doi.org/10.31857/S0301179825020052>
9. Türker K.S. Reflex control of human jaw muscles. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 2002. Vol. 13. No. 1. Pp. 85–104. <https://doi.org/10.1177/154411130201300109>
10. Fougeront N., Garnier B., Fleiter B. Motricité, fonctions manducatrices et réflexes de la mâchoire (1re partie). *Med. Buccale Chir. Buccale*. 2014. Vol. 20. Pp. 161–170. <https://doi.org/10.1051/mbcb/2014018>
11. Fougeront N. Sensory-motor modulation in the masticatory apparatus and in temporomandibular disorders: from basic science to clinical practice. *Med. Res. Archives*. 2025. Vol. 13. No. 5. <https://doi.org/10.18103/mra.v13i5.6561>
12. McGrath P.A., Sharav Y., Dubner R. et al. Masseter inhibitory periods and sensations evoked by electrical tooth pulp stimulation. *Pain*. 1981. Vol. 10. No. 1. Pp. 1–17. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(81\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0304-3959(81)90041-5)
13. Cruccu G., Bowsher D. Intracranial stimulation of the trigeminal nerve in man. II. Reflex responses. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1986. Vol. 49. No. 4. Pp. 419–427. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.4.419>
14. Muzyka I.M., Estephan B. Electrophysiology of cranial nerve testing: trigeminal and facial nerves. *J. Clin. Neurophysiol.* 2018. Vol. 35. No. 1. Pp. 16–24. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000445>
15. Hoffman P., Tonnies J.F. Nachweis des völlig konstanten Verkommens des Zungen-Kiefer-Reflexes bei Menschen. *Pflügers Arch.* 1948. Bd. 250. S. 103–108.
16. Godaux E., Desmedt J.E. Exteroceptive suppression and motor control of the masseter and temporalis muscles in normal man. *Brain Res.* 1975. Vol. 85. No. 3. Pp. 447–458. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(75\)90819-7](https://doi.org/10.1016/0006-8993(75)90819-7)

17. Cruccu G., Ongerboer de Visser B.W. The jaw reflexes. *Int. Fed. Clin. Neurophysiol.: Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.* 1999. Vol. 52. Pp. 243–247.
18. Гордеев С.А. Боль: классификация, структурно-функциональная организация ноцицептивной и антиноцицептивной систем, электронейромиографические методы исследования. *Успехи физиологических наук.* 2019. Т. 50. № 4. С. 87–104. <https://doi.org/10.1134/S0301179819040039>
19. Basarı A., Arslan İ., Cansu Ç. et al. Does greater occipital nerve block modulate brainstem excitability? Insights from a randomized controlled study in migraine. *Neuromodulation.* 2025. Vol. 28. No. 8. Pp. 1286–1292. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2025.04.010>
20. Kroon G.W., Naeije M. The influence of stimulus type and stimulus strength on the silent period in human masticatory muscles. *J. Oral Rehabil.* 1984. Vol. 11. No. 6. Pp. 547–554. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1984.tb00608.x>
21. Sharav Y., McGrath P.A., Dubner R. Masseter inhibitory periods and sensations evoked by electrical tooth pulp stimulation in patients with oral-facial pain and mandibular dysfunction. *Arch. Oral Biol.* 1982. Vol. 27. No. 4. Pp. 305–310. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(82\)90159-5](https://doi.org/10.1016/0003-9969(82)90159-5)
22. Мошонкина Т.Р., Шаманцева Н.Д., Ананьев С.С. и др. Новая технология регуляции ходьбы у детей с детским церебральным параличом. *Физиология человека.* 2025. Т. 51. № 1. С. 27–40. <https://doi.org/10.31857/S0131164625010035>
23. Gerasimenko Yu., Harkema S. Non-invasive multimodal spinal network stimulation instantaneously recovers locomotor function after paralysis. *Natl. Sci. Rev.* 2025. Vol. 12. No. 7. nwaf239. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf239>
24. Шандыбина Н.Д., Куропатенко М.В., Мошонкина Т.Р. Регуляция дыхания человека с помощью электрической стимуляции. *Российский физиологический журнал. им. И.М. Сеченова.* 2022. Т. 108. № 11. С. 1410–1425. <https://doi.org/10.31857/S0869813922110115>
25. Biasiotta A., Cascone P., Cecchi R. et al. Iatrogenic damage to the mandibular nerves as assessed by the masseter inhibitory reflex. *J. Headache Pain.* 2011. Vol. 12. No. 4. Pp. 485–488. <https://doi.org/10.1007/s10194-011-0354-0>
26. Персин Л.С. (ред.) *Ортодонтия. Национальное руководство. В 2 т. Т. 1. Диагностика зубочелюстных аномалий.* М.: ГЭОТАР-Медиа, 2020.
27. Minassian K., Freundl B., Hofstoetter U.S. The posterior root-muscle reflex. В сб: Deletis V., Shils J., Sala F., Seidel K. (eds.) *Neurophysiology in Neurosurgery.* Elsevier, 2020. Pp. 239–253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815000-9.00018-6>
28. Gracely R.H. Pain psychophysics. В сб.: Chapman C.R., Loeser J.D. (eds.) *Issues in Pain Measurement.* New York: Raven Press, 1989. Pp. 211–229.
29. Hansen P.O., Svensson P., Arendt-Nielsen L., Jensen T.S. Relation between perceived stimulus intensity and exteroceptive reflex responses in the human masseter muscles. *Clin. Neurophysiol.* 1999. Vol. 110. No. 7. Pp. 1290–1296. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00031-0)
30. Aramideh M., Ongerboer de Visser B.W. Brainstem reflexes: electrodiagnostic techniques, physiology, normative data, and clinical applications. *Muscle Nerve.* 2002. Vol. 26. No. 1. Pp. 14–30. <https://doi.org/10.1002/mus.10120>
31. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2nd ed. New York: Routledge, 1988. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
32. Yemm R. The response of the masseter and temporal muscles following electrical stimulation of oral mucous membrane in man. *Arch. Oral Biol.* 1972. Vol. 17. No. 1. Pp. 23–33. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(72\)90130-6](https://doi.org/10.1016/0003-9969(72)90130-6)

33. Nordstrom M.A. Insights into the bilateral cortical control of human masticatory muscles revealed by transcranial magnetic stimulation. *Arch. Oral Biol.* 2007. Vol. 52. No. 4. Pp. 338–342. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.09.013>
34. Cui C., Song Y., Fan X. et al. Excitability of the masseter inhibitory reflex after high frequency rTMS over the motor cortex: A study in healthy humans. *Arch. Oral Biol.* 2017. Vol. 82. Pp. 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.06.014>
35. Cruccu G., Iannetti G.D., Marx J.J. et al. Brainstem reflex circuits revisited. *Brain.* 2005. Vol. 128. No. 2. Pp. 386–394. <https://doi.org/10.1093/brain/awh366>
36. Goldberg L.J., Nakamura Y. Production of primary afferent depolarization in group Ia fibers from the masseter muscle by stimulation of trigeminal cutaneous afferents. *Brain Res.* 1977. Vol. 134. No. 3. Pp. 561–567. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(77\)90831-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(77)90831-9)
37. Rossi A., Scarpini C. Gating of trigemino-facial reflex from low-threshold trigeminal and extratrigeminal cutaneous fibres in humans. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 1992. Vol. 55. No. 9. Pp. 774–780. <https://doi.org/10.1136/jnnp.55.9.774>
38. Rossi A., Scarpini C. Evidence for presynaptic inhibition on trigeminal primary afferent fibres in humans. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 1993. Vol. 56. No. 4. Pp. 424–425. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.4.424>
39. Macaluso G.M., Graven-Nielsen T., Svensson P. Conditioning of heteronymous H reflex in human temporalis muscle by stimulation of perioral afferents. *Exp. Brain Res.* 2001. Vol. 136. No. 1. Pp. 114–119. <https://doi.org/10.1007/s002210000567>
40. Nagasawa T., Tamura H., Tsuru H. The effects of muscle fatigue on the silent period of the masticatory muscles. *J. Oral Rehabil.* 1988. Vol. 15. No. 6. Pp. 531–535. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1988.tb00189.x>

REFERENCES

1. Deletis V., Fernandez-Conejero I. Intraoperative monitoring and mapping of the functional integrity of the brainstem. *J. Clin. Neurol.* 2016;**12**(3):262–273. <https://doi.org/10.3988/jcn.2016.12.3.262>
2. Kennelly K.D. Clinical neurophysiology of cranial nerve disorders. In: K.H. Levin, P. Chauvel (eds.) *Clinical Neurophysiology: Diseases and Disorders*. Elsevier; 2019, Pp. 327–342. (Handbook of Clinical Neurology; vol. 161). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64142-7.00058-8>
3. Seliverstov Yu.A., Abramova A.A., Evdokimov K.M. et al. Electrophysiological assessment of cranial reflexes. *Ann. Clin. Exp. Neurol.* 2021;**15**(4):78–85. <https://doi.org/10.54101/ACEN.2021.4.8>
4. Choi J., Díaz-Baamonde A., Sánchez Roldán M.L.Á. et al. Advancing intraoperative neurophysiological monitoring with human reflexes. *J. Clin. Neurol.* 2024;**20**(2):119–130. <https://doi.org/10.3988/jcn.2023.0416>
5. Kimura J. *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice*. 5th ed. Oxford: Oxford University Press; 2025.
6. Sabbahi M.A., Ovak-Bittar F., Uzun S. et al. Multisegmental motor responses with spinal cord stimulation: A new approach of testing nervous system circuitries. *J. Neurol. Neurophysiol.* 2013;**4**:3. <https://doi.org/10.4172/2155-9562.S1.015>
7. Pierrot-Deseilligny E., Burke D. *The circuitry of the human spinal cord: spinal and corticospinal mechanisms of movement*. Cambridge: Cambridge University Press; 2012.

8. Gladchenko D.A., Chelnokov A.A., Bogdanov S.M. et al. Tormoznaya interneyronal'naya set' spinnogo mozga: organizatsiya i kontrol' proizvod'nogo dvizheniya i lokomotsii cheloveka [Inhibitory interneuronal network of the spinal cord: organization and control of voluntary movement and human locomotion]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Progress in Physiological Science*. 2025;**56**(2):67–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0301179825020052>
9. Türker K.S. Reflex control of human jaw muscles. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 2002;**13**(1):85–104. <https://doi.org/10.1177/15441130201300109>
10. Fougeront N., Garnier B., Fleiter B. Motricité, fonctions manducatrices et réflexes de la mâchoire (1re partie). *Med. Buccale Chir. Buccale*. 2014;**20**:161–170. <https://doi.org/10.1051/mbcb/2014018>
11. Fougeront N. Sensory-motor modulation in the masticatory apparatus and in temporomandibular disorders: from basic science to clinical practice. *Med. Res. Archives*. 2025;**13**(5). <https://doi.org/10.18103/mra.v13i5.6561>
12. McGrath P.A., Sharav Y., Dubner R. et al. Masseter inhibitory periods and sensations evoked by electrical tooth pulp stimulation. *Pain*. 1981;**10**(1):1–17. [https://doi.org/10.1016/0304-3959\(81\)90041-5](https://doi.org/10.1016/0304-3959(81)90041-5)
13. Cruccu G., Bowsher D. Intracranial stimulation of the trigeminal nerve in man. II. Reflex responses. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1986;**49**(4):419–427. <https://doi.org/10.1136/jnnp.49.4.419>
14. Muzyka I.M., Estephan B. Electrophysiology of cranial nerve testing: trigeminal and facial nerves. *J. Clin. Neurophysiol.* 2018;**35**(1):16–24. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000445>
15. Hoffman P., Tonnies J.F. Nachweis des völlig konstanten Verkommens des Zungen-Kiefer-Reflexes bei Menschen. *Pflügers Arch.* 1948;**250**:103–108.
16. Godaux E., Desmedt J.E. Exteroceptive suppression and motor control of the masseter and temporalis muscles in normal man. *Brain Res.* 1975;**85**(3):447–458. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(75\)90819-7](https://doi.org/10.1016/0006-8993(75)90819-7)
17. Cruccu G., Ongerboer de Visser B.W. The jaw reflexes. *Int. Fed. Clin. Neurophysiol.: Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. Suppl.* 1999;**52**:243–247.
18. Gordeyev S.A. Bol': klassifikatsiya, strukturno funktsional'naya organizatsiya notsitseptivnoy i antinotsitseptivnoy sistem, elektroneyromiograficheskiye metody issledovaniya [Pain: classification, structural and functional organization of nociceptive and antinociceptive systems, electroneuromyographic research methods]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Progress in Physiological Science*. 2019;**50**(4):87–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0301179819040039>
19. Basarı A., Arslan İ., Cansu Ç. et al. Does greater occipital nerve block modulate brainstem excitability? Insights from a randomized controlled study in migraine. *Neuromodulation*. 2025;**28**(8):1286–1292. <https://doi.org/10.1016/j.neurom.2025.04.010>
20. Kroon G.W., Naeije M. The influence of stimulus type and stimulus strength on the silent period in human masticatory muscles. *J. Oral Rehabil.* 1984;**11**(6):547–554. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1984.tb00608.x>
21. Sharav Y., McGrath P.A., Dubner R. Masseter inhibitory periods and sensations evoked by electrical tooth pulp stimulation in patients with oral-facial pain and mandibular dysfunction. *Arch. Oral Biol.* 1982;**27**(4):305–310. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(82\)90159-5](https://doi.org/10.1016/0003-9969(82)90159-5)

22. Moshonkina T.R., Shamantseva N.D., Ananyev S.S. et al. Novaya tekhnologiya regulyatsii khod'by u detey s detskim tserebral'nym paralichom [New technology for regulating walking in children with cerebral palsy]. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2025;**51**(1):27–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0131164625010035>
23. Gerasimenko Yu., Harkema S. Non-invasive multimodal spinal network stimulation instantaneously recovers locomotor function after paralysis. *Natl. Sci. Rev.* 2025;**12**(7):nwaf239. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf239>
24. Shandybina N.D., Kuropatenko M.V., Moshonkina T.R. Regulyatsiya dykhaniya cheloveka s pomoshch'yu elektricheskoy stimulyatsii [Regulation of human respiration by electrical stimulation]. *Rossiyskij fiziologicheskij zhurnal. im. I.M. Sechenova = Russian Journal of Physiology*. 2022;**108**(11):1410–1425. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869813922110115>
25. Biasiotta A., Cascone P., Cecchi R. et al. Iatrogenic damage to the mandibular nerves as assessed by the masseter inhibitory reflex. *J. Headache Pain*. 2011;**12**(4):485–488. <https://doi.org/10.1007/s10194-011-0354-0>
26. Persin L.S. (ed.) *Ortodontiya. Natsional'noye rukovodstvo. V 2 t. T. 1. Diagnostika zubochehyustnykh anomalii [Orthodontics. National guidelines. In 2 vol. Vol. 1. Diagnosis of dental anomalies]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. (In Russ.)
27. Minassian K., Freundl B., Hofstoetter U.S. The posterior root-muscle reflex. In: Deletis V., Shiels J., Sala F., Seidel K. (eds.) *Neurophysiology in Neurosurgery*. Elsevier; 2020, Pp. 239–253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815000-9.00018-6>
28. Gracely R.H. Pain psychophysics. In: Chapman C.R., Loeser J.D. (eds.) *Issues in Pain Measurement*. New York: Raven Press; 1989, Pp. 211–229.
29. Hansen P.O., Svensson P., Arendt-Nielsen L., Jensen T.S. Relation between perceived stimulus intensity and exteroceptive reflex responses in the human masseter muscles. *Clin. Neurophysiol.* 1999;**110**(7):1290–1296. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(99\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(99)00031-0)
30. Aramideh M., Ongerboer de Visser B.W. Brainstem reflexes: electrodiagnostic techniques, physiology, normative data, and clinical applications. *Muscle Nerve*. 2002;**26**(1):14–30. <https://doi.org/10.1002/mus.10120>
31. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. New York: Routledge; 1988. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
32. Yemm R. The response of the masseter and temporal muscles following electrical stimulation of oral mucous membrane in man. *Arch. Oral Biol.* 1972;**17**(1):23–33. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(72\)90130-6](https://doi.org/10.1016/0003-9969(72)90130-6)
33. Nordstrom M.A. Insights into the bilateral cortical control of human masticatory muscles revealed by transcranial magnetic stimulation. *Arch. Oral Biol.* 2007;**52**(4):338–342. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2006.09.013>
34. Cui C., Song Y., Fan X. et al. Excitability of the masseter inhibitory reflex after high frequency rTMS over the motor cortex: A study in healthy humans. *Arch. Oral Biol.* 2017;**82**:241–246. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.06.014>
35. Cruccu G., Iannetti G.D., Marx J.J. et al. Brainstem reflex circuits revisited. *Brain*. 2005;**128**(2):386–394. <https://doi.org/10.1093/brain/awh366>
36. Goldberg L.J., Nakamura Y. Production of primary afferent depolarization in group Ia fibers from the masseter muscle by stimulation of trigeminal cutaneous afferents. *Brain Res.* 1977;**134**(3):561–567. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(77\)90831-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(77)90831-9)
37. Rossi A., Scarpini C. Gating of trigemino-facial reflex from low-threshold trigeminal and extratrigeminal cutaneous fibres in humans. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1992;**55**(9):774–780. <https://doi.org/10.1136/jnnp.55.9.774>

38. Rossi A., Scarpini C. Evidence for presynaptic inhibition on trigeminal primary afferent fibres in humans. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 1993;**56**(4):424–425. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.4.424>
39. Macaluso G.M., Graven-Nielsen T., Svensson P. Conditioning of heteronymous H reflex in human temporalis muscle by stimulation of perioral afferents. *Exp. Brain Res*. 2001;**136**(1):114–119. <https://doi.org/10.1007/s002210000567>
40. Nagasawa T., Tamura H., Tsuru H. The effects of muscle fatigue on the silent period of the masticatory muscles. *J. Oral Rehabil*. 1988;**15**(6):531–535. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1988.tb00189.x>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Челноков Андрей Алексеевич – д-р биол. наук; зав. каф. естественно-научных дисциплин, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», Великие Луки, Российская Федерация
E-mail: and-chelnokov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0502-5752>

Ашихмин Павел Алексеевич – асп. 3-го года обучения по научной специальности 1.5.5 Физиология человека и животных, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», Великие Луки, Российская Федерация; стоматолог-хирург, семейная стоматология ООО «Профдент», Великие Луки, Российская Федерация
E-mail: pavluntyu@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-3011-4227>

Поступила в редакцию 26.01.2026
После доработки 01.03.2026
Принята к публикации 04.03.2026

ABOUT THE AUTHORS

Chelnokov, Andrey A. – Ph.D. (Biology); Head of the Department of Natural Sciences, Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikiye Luki, Russian Federation
E-mail: and-chelnokov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0502-5752>

Ashikhmin, Pavel A. – Postgraduate (3rd-year) in the Scientific Specialty 1.5.5 Human and Animal Physiology, Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports, Velikiye Luki, Russian Federation; Oral Surgeon, “Profident” LLC Family Dentistry, Velikiye Luki, Russian Federation
E-mail: pavluntyu@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-3011-4227>

Received January 26, 2025
Revised March 01, 2026
Accepted March 04, 2026