

ОБЗОРЫ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

МЕТОДЫ НЕЙРОМИОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ НЕЙРОГЕННОЙ ДИСФАГИИ

Зайцевская С.А., Люкманов Р.Х., Логинова Н.Б., Панина А.А., Бердникович Е.С., Супонева Н.А.

Научный центр неврологии, Москва, Россия

Резюме

Расстройство акта глотания, или дисфагия — часто встречающееся осложнение различных неврологических заболеваний. Нарушение физиологического процесса акта глотания сопровождается риском развития жизнеугрожающих осложнений, таких как аспирационная пневмония и обструкция дыхательных путей, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов лечения нейрогенной дисфагии. Комплексный персонализированный подход считается наиболее перспективной стратегией терапии. Методы центральной и периферической нейростимуляции должны быть неотъемлемой частью многокомпонентного протокола ведения пациентов. Требуется дальнейшее проведение исследований по оценке совокупной эффективности, переносимости и безопасности методов нейростимуляции с целью разработки стандартизированных рекомендаций по лечению нейрогенной дисфагии.

Ключевые слова: нейрогенная дисфагия, нервно-мышечная электрическая стимуляция, фарингеальная электрическая стимуляция, периферическая магнитная стимуляция, транскраниальная магнитная стимуляция.

Для цитирования: Зайцевская С.А., Люкманов Р.Х., Логинова Н.Б., Панина А.А., Бердникович Е.С., Супонева Н.А. Методы нейромиостимуляции при нейрогенной дисфагии. *Российский неврологический журнал*. 2025;30(2):4–12. DOI 10.30629/2658-7947-2025-30-2-4-12

Для корреспонденции: Зайцевская С.А., e-mail: sona-zait@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено без финансовой поддержки.

Информация об авторах

Зайцевская С.А., <https://orcid.org/0000-0001-6889-5363>; e-mail: sona-zait@mail.ru

Люкманов Р.Х., <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>; e-mail: xarisovich@gmail.com

Логинова Н.Б., <https://orcid.org/0009-0003-1483-2115>; e-mail: loginova.n.b@neurology.ru

Панина А.А., <https://orcid.org/0000-0002-8652-2947>; e-mail: nastena.panina.98@mail.ru

Бердникович Е.С., <https://orcid.org/0000-0002-7608-2255>; e-mail: berdnickovitch.elena@yandex.ru

Супонева Н.А., <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>; e-mail: suponeva@neurology.ru

NEUROMYOSTIMULATION METHODS FOR TREATMENT OF NEUROGENIC DYSPHAGIA

Zaytsevskaya S.A., Lyukmanov R.Kh., Loginova N.B., Panina A.A., Berdnikovich E.S., Suponeva N.A.

Scientific Center of Neurology, Moscow, Russia

Abstract

Swallowing disorder, or dysphagia, is a common complication of various neurological disorders. Impairment of the swallowing process is accompanied by the risk of life-threatening complications, such as aspiration pneumonia and airway obstruction. A comprehensive personalized approach is considered to be the most promising therapeutic strategy. It has been shown that noninvasive neurostimulation therapies of central and peripheral nervous system should be an integral part of a multicomponent treatment protocol of neurogenic dysphagia. Further studies are required to expand our knowledge of the combined effectiveness, tolerability and safety of neurostimulation methods in order to develop standardized guidelines for the treatment of neurogenic dysphagia.

Key words: neurogenic dysphagia, neuromuscular electrical stimulation, pharyngeal electrical stimulation, peripheral magnetic stimulation, transcranial magnetic stimulation.

For citation: Zaytsevskaya S.A., Lyukmanov R.Kh., Loginova N.B., Panina A.A., Berdnikovich E.S., Suponeva N.A. Neuromyostimulation methods for treatment of neurogenic dysphagia. *Russian Neurological Journal (Rossijskij Nevrologicheskij Zhurnal)*. 2025;30(2):4–12. (In Russian). DOI 10.30629/2658-7947-2025-30-2-4-12

For correspondence: Zaytsevskaya S.A., e-mail: sona-zait@mail.ru

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

Funding. The study had no sponsorship.

Information about authors

Zaytsevskaya S.A., <https://orcid.org/0000-0001-6889-5363>; e-mail: sona-zait@mail.ru

Lyukmanov R.Kh., <https://orcid.org/0000-0002-8671-5861>; e-mail: xarisovich@gmail.com

Loginova N.B., <https://orcid.org/0009-0003-1483-2115>; e-mail: loginova.n.b@neurology.ru

Panina A.A., <https://orcid.org/0000-0002-8652-2947>; e-mail: nastena.panina.98@mail.ru

Berdnikovich E.S., <https://orcid.org/0000-0002-7608-2255>; e-mail: berdnickovitch.elena@yandex.ru

Сокращения: МНМЭС — моторная нервно-мышечная электрическая стимуляция; НД — нейрогенная дисфагия; НМЭС — нервно-мышечная электрическая стимуляция; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; ПМС — периферическая магнитная стимуляция; РКИ — рандомизированные контролируемые исследования; рТМС — ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция; СНМЭС — сенсорная поверхностная нервно-мышечная электрическая стимуляция; ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция; ТТД — традиционная терапия дисфагии; ФЭС — фарингеальная электрическая стимуляция; ЧМТ — черепно-мозговая травма; BSA — Bedside Swallow Assessment Scale (шкала оценки глотания у постели больного); DOSS — Dysphagia Outcome and Severity Scale (шкала осложнений и тяжести дисфагии); DSRS — Dysphagia Severity Rating Scale (шкала тяжести дисфагии); FEEDS — Fiberoptic Endoscopic Dysphagia Severity Scale (шкала фиброоптической эндоскопической оценки глотания); fNIRS — functional Near-Infrared Spectroscopy (функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия); FOIS — Functional Oral Intake Scale (шкала функциональной оценки глотания); MMASA — Modified Mann Assessment of Swallowing Ability (шкала модифицированной оценки способности глотания по Манну); PAS — Penetration-Aspiration Scale (шкала глотания-аспирации); SWAL-QOL — Swallowing Quality of Life Questionnaire (шкала оценки качества жизни при дисфагии); tDCS — Transcranial Direct Current Stimulation (транскраниальная стимуляция постоянным током).

Введение. Термин «нейрогенная дисфагия» (НД) обозначает нарушение безопасности и/или эффективности процесса глотания, обусловленное заболеваниями центральной или периферической нервной системы, нарушением нервно-мышечной передачи или первичным поражением мышц [1]. НД значительно нарушает качество жизни пациентов и является фактором риска развития аспирационной пневмонии, дегидратации, обструкции дыхательных путей и кахексии, а также ассоциирована с длительной иммобилизацией, продолжительным пребыванием в стационаре, трофическими нарушениями и саркопенией [2]. Ведение пациентов с НД подразумевает наличие мультидисциплинарного персонализированного подхода с включением традиционной терапии дисфагии (ТТД), фармакологических и неинвазивных методов лечения. Под ТТД понимают применение методов модификации образа жизни пациентов, которые основаны на принципах «реституции» (восстановление утраченных функций),

«компенсации» (использование компенсаторных стратегий), «адаптации» (обеспечение безопасного глотания) [3]. В первую очередь, ТТД включает специализированную диету, поведенческие и позиционные особенности питания и различные комплексы физических упражнений [4–6]. В основе медикаментозного метода лечения лежит стимуляция афферентных путей через рецепторы, расположенные в ротоглотке, активация которых приводит к нейропластическим изменениям в коре головного мозга, а также стимуляция эфферентных путей ЦНС, контролирующих акт глотания (например, через рецепторы дофамина). К лекарственным препаратам, которые продемонстрировали эффективность, относят леводопу и другие дофаминергические средства, антагонисты дофаминовых D2-рецепторов, блокаторы кальция, донаторы оксида азота, ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, бета-блокаторы, ингибиторы ацетилхолинэстеразы и агонисты рецепторов транзитного потенциала, которые передают информацию о текстуре, температуре, вкусе и движении пищевого комка [7]. Перспективными и активно развивающимися направлениями терапии НД являются методы физической стимуляции разных модальностей: транскраниальная магнитная и электрическая стимуляция, фарингеальная электростимуляция, поверхностная моторная и сенсорная нервно-мышечная стимуляция, периферическая магнитная стимуляция.

Материал и методы. Поиск иностранных и отечественных публикаций осуществлялся в базах Pubmed, GoogleScholar, Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU с глубиной 30 лет. Отобраны и проанализированы оригинальные исследования, а также метаанализ и систематические обзоры оригинальных исследований.

Нервно-мышечная электрическая стимуляция. Нервно-мышечная электрическая стимуляция (НМЭС) относится к периферическому методу нейростимуляции, который направлен на восстановление и повышение двигательной функции пораженных мышц. Для лечения НД была доказана эффективность надпороговой (моторной), и подпороговой (сенсорной) НМЭС.

Моторная нервно-мышечная электрическая стимуляция (МНМЭС) применяется для укрепления и предотвращения атрофии поперечно-полосатой мускулатуры, участвующей в глотании, за счет непосредственного сокращения над- и/или подподъязычных мышц и мышц-констрикторов глотки [8]. МНМЭС применяется более 25 лет — уже в 2001 г. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США одобрило использование данного метода, в частности

с помощью прибора VitalStim®, для лечения дисфагии [9]. В отечественных публикациях также подтверждается статистически значимое положительное влияние МНМЭС на степень тяжести дисфагии на примере пациентов в остром периоде ишемического инсульта [10, 11]. МНМЭС внесена в современные клинические рекомендации по НД 2021 и 2023 гг. как дополнительный метод лечения наряду с ТТД [1, 9]. Согласно систематическому обзору S. Miller и соавт. в 12 исследованиях была подтверждена краткосрочная (до 3 месяцев) эффективность МНМЭС совместно с ТТД для лечения пациентов с нейрогенной постинсультной дисфагией в острой и подострой стадиях, несмотря на различие в используемых протоколах стимуляции: было достигнуто сокращение времени перорального и глоточного транзита при видеофлюороскопическом исследовании глотания, а также снижение выраженности аспирации, оцененной по шкале глотания-аспирации (Penetration-Aspiration Scale (PAS)) и шкале осложнений и тяжести дисфагии (Dysphagia Outcome and Severity Scale (DOSS)) при длительности лечения от 2 до 4 недель [3]. Метаанализ R. Spreyer и соавт. на основании 30 рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) подтвердил статистически значимый эффект влияния МНМЭС на снижение выраженности постинсультной НД, однако было отмечено, что неоднородность протоколов, противоречивые сведения о методологии, а также использование МНМЭС совместно с ТТД затрудняют интерпретацию полученных результатов [12]. Так, в исследованиях варьирует частота стимуляции от 25 до 120 Гц, длительность импульса тока от 300 мс до 1000 мс и индивидуально подбираемая интенсивность стимуляции от минимальной надпороговой стимуляции, при которой пациентом «едва ощущается мышечное сокращение», до стимуляции, при которой возникает максимально переносимое пациентом сокращение мышц [3]. Эффективность МНМЭС для лечения дисфагии при других неврологических заболеваниях изучалась намного меньше, тем не менее, в ряде работ было показано, что метод можно успешно применять у пациентов с болезнью Паркинсона и с последствиями черепно-мозговых травм [13, 14]. Например, в клиническом наблюдении К.Б. Петрова было продемонстрировано, что применение МНМЭС в сочетании с электростимуляцией мышц языка и ТТД приводит к клинически значимому снижению выраженности дисфагии у пациента с посттравматическим псевдобульбарным параличом [15].

Сенсорная поверхностная нервно-мышечная электрическая стимуляция (СНМЭС), или терапия орофарингеальной сенсорной стимуляцией, направлена на активацию афферентных сенсорных нервных путей подпороговым стимулом небольшой интенсивности, который не вызывает двигательный ответ. Принцип СНМЭС основан на использовании механизма сенсорной обратной связи, благодаря которому афферентный сигнал от сенсорных рецепторов кожных покровов и слизистых оболочек достигает двигательных зон коры больших полушарий

головного мозга и увеличивает эффективность процессов нейропластичности в виде реорганизации зон моторной коры незатронутого полушария с целью компенсации функции пораженного полушария. Для активации коркового представительства центра глотания проводится стимуляция поверхностных рецепторов, локализованных на шее в подчелюстной области и в глоточных мышцах (подъязычно-подъязычная, грудино-подъязычная, грудино-щитовидная и щитовидная мышцы) [16]. Полученная афферентная информация через блуждающий нерв и двойное ядро поступает в центральный генератор глотания, расположенный в стволе головного мозга, который напрямую и через базальные ганглии проецируется на премоторную, моторную и дополнительную моторную зоны коры больших полушарий головного мозга [17]. Несмотря на многообещающую теоретическую сторону вопроса, эффективность метода стала активно изучаться только с 2009 г., и стандартизированного общепринятого протокола стимуляции на настоящий момент нет, что затрудняет проведение сравнительного метаанализа. В описанных протоколах различается продолжительность каждого сеанса (от 15 до 60 мин, от одного до двух раз в день), длительность терапии (от 5 дней до 4 недель), частота стимуляции (30–80 Гц) и длительность стимула (700–750 мс) [18, 19, 20–27, 28]. Интенсивность стимула подбирается индивидуально перед каждым сеансом терапии путем ее постепенного увеличения до ощущения пациентом «покалывания», но без сокращения мышц. В обзоре I. Assaratgoon и соавт. было показано, что во всех 11 крупных исследованиях по оценке эффективности СНМЭС для лечения НД, проведенных за последние 20 лет, был достигнут положительный результат по данным различных шкал, включая шкалу оценки качества жизни при дисфагии (Swallowing Quality of Life Questionnaire (SWAL-QOL)), PAS и др. В обзоре также было отмечено, что эффект был сопоставим с МНМЭС и оказался лучше традиционной терапии дисфагии [16]. Более того, в исследовании M.M. Howard и соавт. с участием пациентов с постинсультной дисфагией, СНМЭС продемонстрировала лучшие результаты по данным различных стандартизированных шкал дисфагии по сравнению с МНМЭС [8]. Кроме лечения постинсультной дисфагии, метод оказался эффективным для коррекции нарушения глотания при ряде нейродегенеративных заболеваний, например, при гепатолентикулярной дегенерации [29]. В 2023 г. СНМЭС был включен в рекомендации Кореянского общества реабилитационной медицины как отдельный терапевтический метод для улучшения функции глотания и улучшения качества жизни пациентов с орофарингеальной дисфагией [9].

Фарингеальная (внутриглоточная) электрическая стимуляция. Фарингеальная (внутриглоточная) электрическая стимуляция (ФЭС) — это метод периферической нейромодуляции, при котором подача электрических импульсов осуществляется непосредственно на слизистую оболочку глотки через электроды, размещенные внутри

специального фарингеального катетера. Впервые методика внутриглоточной стимуляции у пациентов с постинсультной дисфагией стала применяться на базе Научно-исследовательского института неврологии Академии медицинских наук СССР [30], где был разработан «Электрод глоточный» (получен патент в 1988 г.) [31]. Основными отличиями от поверхностных методов НМЭС являются: короткий по времени курс терапии (от 3 до 5 дней), наличие дискомфорта, обусловленного трансназальным или пероральным введением стимулирующего катетера, и единый в большинстве исследований протокол лечения: предлагаемая длительность одного сеанса терапии составляет 10 мин, частота стимуляции — 5 Гц, интенсивность тока устанавливается в 75% от максимально переносимой пациентом [32]. В работе V. Jayasekera и соавт. было показано, что наиболее эффективным режимом терапии является один сеанс ФЭС в сутки в течение 3 дней [33]. Предполагается, что механизм действия ФЭС сходен с ЧМЭС — происходит активация сенсорных рецепторов, расположенных в слизистой оболочке глотки, которые проецируются на сенсорные нейроны блуждающего и языкоглоточного нервов с последующей передачей афферентной информации на одиночное и двойное ядро и запуском механизма сенсорной обратной связи [34]. Влияние ФЭС на моторную кору было доказано еще в 1998 г. в работе S. Hamdy и соавт. [35]. Исследователями было продемонстрировано, что 10-минутная ФЭС с интенсивностью 10 Гц приводит к длящемуся в течение часа после прекращения стимула повышению возбудимости моторной коры в виде увеличения амплитуд моторных ответов, вызываемых с помощью одноимпульсной транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и регистрируемых через биполярные кольцевые электроды внутриглоточного катетера. Позже данные результаты были подтверждены в исследовании C. Fraser и соавт., в котором была показана повышенная активность в сенсомоторных областях коры после ФЭС по данным функциональной магнитно-резонансной томографии по сравнению с показателями группы контроля без стимуляции [36]. Наконец, в работе X. Zhang и соавт. было показано, что ФЭС, по данным функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS)), приводит к активации первичной соматосенсорной, первичной моторной, соматосенсорной ассоциативной коры, дополнительной моторной коры, дорсолатеральной префронтальной коры, зоны Брока и надмаргинальной извилины зоны Вернике, которые играют важную роль в инициации, выполнении, контроле и модуляции произвольного и непроизвольного глотания [37].

Что касается клинических исследований, на практике результаты оказались неоднозначными. В РКИ P.M. Bath и соавт. не было получено значимого улучшения показателей по шкале PAS через 2 недели после лечения, и значимого клинического эффекта на 6-й и 12-й неделях после ФЭС среди пациентов с постинсультной дисфагией по сравнению

с группой плацебо, получавшей имитацию стимуляции [38]. С другой стороны, многоцентровое исследование «Применение ФЭС для ранней деканюляции пациентов с трахеостомой с постинсультной нейрогенной дисфагией» (Pharyngeal electrical stimulation for early decannulation in tracheotomised patients with neurogenic dysphagia after stroke (PHAST-TRAC)), в котором приняли участие пациенты с тяжелой дисфагией, обусловленной супратенториальным поражением головного мозга, находящиеся на искусственной вентиляции легких через трахеостому, показало эффективность метода: в то время как в экспериментальной группе почти 50% пациентов была выполнена деканюляция после ФЭС, в контрольной группе спонтанная ремиссия дисфагии, позволившая деканюлировать пациентов, наблюдалась только в 9% случаев [39]. Позже, крупное обсервационное когортное мультицентровое исследование «Фарингеальная электрическая стимуляция для лечения пациентов с нейрогенной дисфагией Европейского регистра» (The PHaryngeal electrical stimulation for treatment of neurogenic Dysphagia European Registry (PHADER)) с участием 245 пациентов с выраженной НД различной этиологии, в том числе с полиневропатией критических состояний, подтвердило, что метод ФЭС является безопасным и ассоциирован со значительным улучшением орофарингеальной дисфагии по данным шкалы тяжести дисфагии (Dysphagia severity rating scale (DSRS)) и снижением риска аспирации через 3 месяца после лечения [40]. В метаанализе R. Spreyer и соавт. по результатам 5 РКИ был выявлен значимый умеренный эффект ФЭС для лечения дисфагии у пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) и у пациентов с рассеянным склерозом по сравнению с имитацией стимуляции и плацебо, однако при межгрупповом анализе с ЧМЭС значимого эффекта получено не было [12]. В исследовании И.В. Сидякиной и М.В. Вороновой было также отмечено, что эффективность ФЭС может зависеть от типа нейрогенной дисфагии: применение внутриглоточной электромиостимуляции было наиболее успешным у пациентов с преимущественной пролонгацией оральной фазы глотания, тогда как комбинация поверхностного и внутриглоточного методов стимуляции оказалась лучшим вариантом для лечения пациентов с пролонгацией глоточной фазы глотания [41]. В клинических рекомендациях указана необходимость проведения дальнейших исследований для подтверждения эффективности данного метода лечения НД [1, 9].

Периферическая магнитная стимуляция. Периферическая магнитная стимуляция (ПМС) — это еще один метод периферической нейростимуляции, который является наименее изученным в отношении коррекции дисфагии. Принцип метода заключается в воздействии переменным магнитным полем, направляемым с помощью специальной катушки перпендикулярно поверхности кожи, на терминальные моторные и сенсорные проприоцептивные волокна, что приводит к их деполяризации. Кроме

непосредственного сокращения мышц происходит генерация проприоцептивной сенсорной обратной связи через непосредственную стимуляцию проприоцептивных афферентных окончаний и активацию механорецепторов в ответ на мышечное сокращение [42]. В настоящий момент было проведено ограниченное количество зарубежных исследований, оценивающих эффективность ПМС [42–47]. Во всех работах был показан высокий профиль безопасности и переносимости ПМС, что считается значимым преимуществом, так как ПМС является безболезненной процедурой и не причиняет дискомфорта, в отличие от методов электрической стимуляции. Кроме того, применение ПМС не требует непосредственного контакта с кожей пациента, поэтому потенциальное повреждение кожных покровов, а также наличие волосяного покрова на передней области шеи не являются препятствием для терапии [44]. В самой первой работе R. Momosaki и соавт. на небольшой выборке пациентов с постинсультной дисфагией было показано, что периферическая магнитная стимуляция надподъязычных мышц приводит к значимому улучшению скорости и объема глотка после стимуляции по сравнению с имитацией стимуляции [46]. Позже эти же авторы продемонстрировали эффективность комбинирования ПМС с методами ТТД [45]. Другие исследования на здоровых добровольцах показали улучшение показателей различных параметров, характеризующих процесс глотания, в том числе — силы мышц сгибателей шеи и силы давления языка [43, 47]. В Российской Федерации в 2020 г. была запатентована собственная методика применения биполярного переменного магнитного поля в проекции подъязычной кости для лечения нейрогенной дисфагии после черепно-мозговой травмы (ЧМТ) и ОНМК, которая показала достоверные преимущества по сравнению с ТТД по данным шкалы функциональной оценки глотания (Functional Oral Intake Scale (FOIS)) и шкалы фиброоптической эндоскопической оценки глотания (Fiberoptic Endoscopic Dysphagia Severity Scale (FEEDS)) [48, 49]. Рекомендованная в исследовании схема терапии предполагает использование койла типа ИДУ–02–100–О с интенсивностью 35% и частотой 10 Гц; в работе применялся 10-дневный ежедневный курс терапии, включавший 40 пакетов по 40 импульсов с паузами между пакетами по 6 сек с суммарным временем воздействия одной процедуры 6,5 мин [48, 49]. Ввиду отсутствия достаточного количества РКИ, метод пока не был упомянут в клинических рекомендациях.

Фокусная вибрационная стимуляция. Вибрационная стимуляция, или вибрационная терапия, относится к методу биомеханической стимуляции, реабилитационный потенциал которого был показан еще в 1969 г. в работе K. Hagbarth и G. Eklund [50]. Нейрофизиологическая основа метода заключается в наличии тонического аутогенного вибрационного рефлекса, который приводит к активации афферентов мышечных веретен Ia с последующим произвольным сокращением мышц и расслаблением соответствующей антагонистической группы мышц [50].

В нейрореабилитации используется техника вибрационной терапии «всего тела» и фокусная, или сегментарная, вибрационная стимуляция, направленная на активацию отдельных мышц [51]. Эффективность метода была показана в лечении спастичности у пациентов после ОНМК, при нарушениях походки, а также при неглект-синдроме [52–55]. Реабилитационные возможности вибрационной стимуляции для лечения нейрогенной дисфагии, на настоящий момент, представлены только в небольших исследованиях и клинических наблюдениях [56–59]. Терапия осуществляется с помощью специального небольшого устройства, представляющего собой две соединенные между собой пластины. С внутренней стороны каждой из пластин находится мотор, создающий вибрацию. Пластины располагаются с двух сторон щитовидного хряща с целью фокусной стимуляции тканей гортани и глоточных мышц [59]. Другими авторами предлагается дополнительная стимуляция верхней и нижней частей языка [57]. Считается, что влияние вибрационного стимула на акт глотания обусловлено двумя механизмами: за счет активации мышечных веретен надподъязычных и подподъязычных мышц и механорецепторов слизистой оболочки гортани с последующей стимуляцией работы центра глотания, расположенного в стволовых структурах и коре больших полушарий [59]. Вовлечение центральной нервной системы впервые было доказано в исследовании R. Mulheren и C. Ludlow на здоровых добровольцах: вибрационная стимуляция усиливала гемодинамические изменения в моторной коре в ответ на глотание по данным fNIRS [58]. Позже в работе E. Kamarunas и соавт. было показано, что вибрационная стимуляция гортани с частотой 70 Гц и 110 Гц значительно увеличивает частоту спонтанного глотания по сравнению с имитацией вибрации у пациентов с хронической тяжелой дисфагией после ЧМТ [59]. Протокол терапии в виде 28 8-секундных периодов стимуляции, чередующихся с 15-секундными периодами без вибрации, оказался хорошо переносимым всеми участниками исследования, не сопровождался побочными эффектами и последующим затруднением произвольного акта глотания [59]. Наконец, в пилотном слепом РКИ C. Galluccio и соавт. была подтверждена эффективность фокусной вибрационной терапии совместно с ТТД в виде снижения выраженности дисфагии после тяжелой ЧМТ по данным шкалы DOSS и шкалы оценки глотания у постели больного (Bedside Swallow Assessment Scale (BSA)) [56].

Транскраниальная стимуляция постоянным током. Транскраниальная стимуляция постоянным током (Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS)) — это неинвазивный метод стимуляции головного мозга, который используется с целью модуляции возбудимости корковых нейронов различных областей головного мозга. Методика предполагает использование двух поверхностных электродов, располагающихся на различных зонах кожи головы в зависимости от задачи стимуляции, через которые подается постоянный электрический ток небольшой интенсивности (от 1 до 2 мА): анода, увеличивающего

возбудимость коры за счет деполяризации мембранного потенциала покоя, и катода, снижающего возбудимость нейронов за счет гиперполяризации [60, 61]. Считается, что tDCS приводит к стойким нейропластическим изменениям и влияет на синаптическую пластичность за счет стимуляции нейрохимических изменений в рецепторах N-метил-D-аспартата и гамма-аминомасляной кислоты [62]. Анодный электрод обычно располагают согласно методу позиционирования электродов международной системы «10-20» между C3 и T3 в проекции правого или левого полушария головного мозга или в области C5–C6 с целью стимуляции корковых зон, ответственных за акт глотания [60]. Другие параметры стимуляции, в том числе длительность терапии, частота и количество курсов терапии, расположение катодного электрода, широко варьируют в исследованиях. Метаанализ К. Не и соавт. на основании 15 исследований с участием 787 пациентов подтвердил, что tDCS приводит к снижению выраженности постинсультной дисфагии по данным шкалы DOSS, шкалы модифицированной оценки способности глотания по Манну (Modified Mann Assessment of Swallowing Ability (MMASA)) и шкалы (FOIS). Было показано, что наиболее эффективными протоколами оказалась анодная двухсторонняя tDCS высокой интенсивности: от 1,6 до 2 мА. По остальным параметрам стимуляции ввиду разрозненности протоколов не удалось установить значимых преимуществ: длительность стимуляции варьировала от 3 до 40 мин, общий период лечения — от 10 дней до 8 недель. В метаанализе была также отмечена важная особенность, что ни в одном из включенных исследований не было зафиксировано побочных эффектов, хотя в более крупных работах с участием здоровых добровольцев и пациентов с другими заболеваниями сообщалось о возможном появлении локального болевого синдрома, общей утомляемости и зуда в месте стимуляции [61]. Метаанализ N. Zhao и соавт. на основании 16 РКИ подтвердил, что tDCS улучшает функцию глотания у пациентов с постинсультной дисфагией. Было подчеркнуто, что при выборе интенсивности тока 1 мА или 1,6 мА и стимуляции пораженного полушария можно достичь более значимого эффекта от стимуляции [62]. Оценка эффективности tDCS при нарушении функции глотания при нейродегенеративных и демиелинизирующих заболеваниях ЦНС требует проведения дополнительных РКИ, систематических обзоров и метаанализов. В настоящий момент только в единичных работах было показано, что tDCS приводит к снижению выраженности дисфагии у пациентов с болезнью Паркинсона и рассеянным склерозом [63–65].

Транскраниальная магнитная стимуляция. Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) — широко используемый метод неинвазивной корковой нейростимуляции, который имеет терапевтический и реабилитационный потенциал для большого круга неврологических и психиатрических заболеваний и синдромов [66]. В зависимости от режима стимуляции, с помощью ТМС можно повысить или

снизить корковую возбудимость необходимых областей головного мозга для модуляции процессов нейропластичности. Несмотря на то, что на момент публикации последних Европейских рекомендаций по применению ТМС данных было недостаточно, чтобы сделать вывод об эффективности применения ТМС для лечения НД [66], с 2019 г. было проведено достаточное количество новых РКИ и когортных исследований, позволивших доказать умеренный, но стойкий терапевтический эффект ТМС в отношении функции глотания [1]. Так, в метаанализе Н. Li и соавт. на основании 9 РКИ с участием 393 пациентов был показан значимый эффект ритмической ТМС (pTMS) в лечении постинсультной дисфагии по сравнению с имитацией ТМС, независимо от используемой области стимуляции (стимуляция пораженного и непораженного полушария или двухсторонняя стимуляция) вплоть до 2 месяцев после проведения терапии [67]. Метаанализ Y. Xie и соавт. подтвердил эффективность pTMS в отношении улучшения функции глотания и уменьшения аспирации, а также безопасность метода и отсутствие серьезных побочных эффектов. При этом наиболее успешными используемыми параметрами ТМС оказались низкочастотная стимуляция пораженного полушария и двухсторонняя стимуляция [68]. Эта же группа авторов продемонстрировала, что клиническая эффективность, безопасность и переносимость ТМС в режиме интермиттирующих тета-вспышек (intermittent theta-burst stimulation (iTBS)) в виде повторяющейся серии импульсов по 50 Гц с частотой 5 Гц в течение 192 секунд на соответствующую область пораженного полушария не уступают pTMS с частотой 10 Гц для лечения постинсультной дисфагии [69]. Тем не менее, несмотря на многообещающие результаты, зонтичный обзор А.М. Georgiou и соавт. показал ограниченную доказательность имеющихся метаанализов и систематических обзоров по ТМС ввиду различных методологических недостатков [70]. Таким образом, на настоящий момент требуется проведение дополнительных исследований, в том числе с участием пациентов, страдающих другими неврологическими заболеваниями, для оценки эффективности ТМС в качестве метода лечения НД.

Заключение. За последние 25 лет было проведено большое количество клинических исследований, проанализированных в различных систематических обзорах и метаанализах, которые позволили доказать эффективность методов нейростимуляции и увеличить реабилитационные шансы у пациентов, страдающих от нейрогенной дисфагии в результате развития острых и хронических заболеваний головного мозга, в том числе после нарушения мозгового кровообращения, черепно-мозговых травм, на фоне нейродегенеративных и даже демиелинизирующих заболеваний. Тем не менее, в настоящий момент требуется проведение дополнительных работ более высокого уровня доказательности, включение в группу исследования пациентов с заболеваниями периферической нервной системы и нервно-мышечными расстройствами, а также разработка

унифицированных протоколов для каждого метода нейростимуляции. Важными являются проведение крупных сравнительных исследований для оценки эффективности, переносимости и безопасности методов, а также оценка совокупного эффекта при комбинации методов периферической и центральной нейростимуляции для лечения нейрогенной дисфагии. Развитие и дальнейшее совершенствование методов нейростимуляции имеет значимый терапевтический потенциал в лечении нейрогенной дисфагии, который позволит улучшить качество питания, снизить процент жизнеугрожающих осложнений хронической дисфагии и повысить качество жизни пациентов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Dziewas R., Allescher H.D., Aroyo I., Bartolome G., Beilenhoff U., Bohlender J., Breitbach-Snowdon H., Fheodoroff K., Glahn J., Heppner H.J., Hörmann K., Ledl C., Lücking C., Pokieser P., Schefold J.C., Schröter-Morasch H., Schweikert K., Sparing R., Trapl-Grundschober M., Wallesch C., Warnecke T., Werner C.J., Weßling J., Wirth R., Pflug C. Diagnosis and treatment of neurogenic dysphagia — S1 guideline of the German Society of Neurology. *Neurol Res Pract.* 2021;3(1):1–30. doi: 10.1186/s42466-021-00122-3
2. Banda K.J., Chu H., Chen R., Kang X.L., Jen H.J., Liu D., Shen Hsiao S.T., Chou K.R. Prevalence of Oropharyngeal Dysphagia and Risk of Pneumonia, Malnutrition, and Mortality in Adults Aged 60 Years and Older: A Meta-Analysis. *Gerontology.* 2022;68(8):841–853. doi: 10.1159/000520326
3. Miller S., Peters K., Ptak M. Review of the effectiveness of neuromuscular electrical stimulation in the treatment of dysphagia — an update. *Ger Med Sci.* 2022;20(6):1–8. doi: 10.3205/000310
4. Танашиан М.М., Бердникович Е.С., Лагода О.В. Нарушения глотания в постинсультном периоде: новые подходы к лечению. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2018;10(2):57–62. [Tanashyan M.M., Berdnikovich E.S., Lagoda O.V. Post-stroke dysphagia: novel treatment approaches. *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics.* 2018;10(2):57–62. (In Russ.)]. doi: 10.14412/2074-2711-2018-2-57-62
5. Авдюнина И.А., Гречко А.В., Бруно Е.В. Основные принципы организации трапезы больных с нейрогенной дисфагией (лекция). *Consilium Medicum.* 2016;18(2.1):53–58. [Avdyunina I.A., Grechko A.V., Bruno E.V. The basic feeding principles in cases of neurogenic dysphagia (lecture). *Consilium Medicum.* 2016;18(2.1):53–58. (In Russ.)]. URL: <https://consilium.orscience.ru/2075-1753/article/view/95162>
6. Бердникович Е.С., Орлова О.С. Актуальные проблемы и перспективы преодоления дисфагии при нейродегенеративных заболеваниях. *Дисфагия у детей и взрослых. Логопедические технологии. Коллективная монография. Логомаг.* 2020;35–58. [Berdnikovich E.S., Orlova O.S. Current problems and prospects for overcoming dysphagia in neurodegenerative diseases. *Disfagiya u detey i vzroslykh. Logopedicheskiye tekhnologii. Kollektivnaya monografiya. Logomag.* 2020;35–58.]. URL: <https://logomag.ru/shop/product-3285/>
7. Cheng I., Sasegbon A., Hamdy S. Effects of pharmacological agents for neurogenic oropharyngeal dysphagia: A systematic review and meta-analysis. *Neurogastroenterol Motil.* 2022;34(3):1–12. doi: 10.1111/nmo.14220
8. Howard M.M., Block E.S., Mishreki D., Kim T., Rosario E.R. The Effect of Sensory Level Versus Motor Level Electrical Stimulation of Pharyngeal Muscles in Acute Stroke Patients with Dysphagia: A Randomized Trial. *Dysphagia.* 2023;38(3):943–953. doi: 10.1007/s00455-022-10520-7
9. Yang S., Park J.W., Min K., Lee Y.S., Song Y.J., Choi S.H., Kim D.Y., Lee S.H., Yang H.S., Cha W., Kim J.W., Oh B.M., Seo H.G., Kim M.W., Woo H.S., Park S.J., Jee S., Oh J.S., Park K.D., Young J.J., Sungjun H., DooHan Y., Kim B.H., Lee H.H., Kim Y.H., Kang M., Chung E., Kim B.R., Kim T., Ko E.J., Park Y.M., Park H., Kim M., Seok J., Im S., Ko S., Lim S.H., Jung K.W., Lee T.H., Hing B.Y., Kim W., Shin W., Lee Y.C., Park S.J., Lim J., Kim Y., Lee J.H., Ahn K., Paeng J., Park J., Song Y.A., Seo K.C., Ryu C.H., Cho J., Lee J., Choi K.H. Clinical Practice Guidelines for Oropharyngeal Dysphagia. *Ann Rehabil Med.* 2023;47(Suppl 1):1–26. doi: 10.5535/arm.23069
10. Стрельникова И.А., Повереннова И.Е., Неклюдова И.Е. Опыт применения аппарата Vocastim у больных с дисфагией в остром периоде инсульта. *Практическая медицина.* 2013;1(66):66–69. [Strelnikova I.A., Poverennova I.E., Nekludova M.A. Experience of VOCASTIM application in patients with acute dysphagic stroke. *Prakticheskaya meditsina.* 2013;1(66):66–69 (In Russ.)]. URL: <http://pmarchive.ru/opyt-primeneniya-apparata-vocastim-u-bolnyx-s-disfagiej-v-ostrom-periode-insulta/>
11. Здвижкова С.В., Константинова О.А. Опыт применения на-кожной электростимуляции аппаратом vocastim у больных с ишемическим инсультом и нейрогенной дисфагией в комплексной реабилитации. *Актуальные проблемы логопедии. Сборник научных и научно-методических трудов. Саратов.* 2018;4:62–68. [Zdvizhkova S.V., Konstantinova O.A. Experience of using cutaneous electrical stimulation with the Vocastim device on patients with ischemic stroke and neurogenic dysphagia in complex disease. *Current issues in speech therapy. Collection of scientific and scientific-methodical works. Saratov.* 2018;4:62–68. (In Russ.)]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36563584>
12. Speyer R., Sutt A.L., Bergström L., Hamdy S., Heijnen B.J., Remijn L., Wilkes-Gillan S., Cordier R. Neurostimulation in People with Oropharyngeal Dysphagia: A Systematic Review and Meta-Analyses of Randomised Controlled Trials-Part I: Pharyngeal and Neuromuscular Electrical Stimulation. *J Clin Med.* 2022;11(3):1–51. doi: 10.3390/jcm11030776
13. Park J.S., Oh D.H., Hwang N.K., Lee J.H. Effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with Parkinson's disease and dysphagia: A randomized, single-blind, placebo-controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2018;42(4):457–463. doi: 10.3233/NRE-172306
14. Terré R., Mearin F. A randomized controlled study of neuromuscular electrical stimulation in oropharyngeal dysphagia secondary to acquired brain injury. *Eur J Neurol.* 2015;22(4):687–e44. doi: 10.1111/ene.12631
15. Петров К.Б. Опыт применения оригинального комплекса лечебной физкультуры и электростимуляции при реабилитации больного с псевдобульбарным параличом. *Вестник восстановительной медицины.* 2021;20(1):84–95. [Petrov K.B. The Experience of Using the Original Complex of Physiotherapy Exercises and Electrical Stimulation during Rehabilitation of the Patient with Pseudobulbar Paralysis. *Bulletin of Rehabilitation Medicine.* 2021;20(1):84–95. (In Russ.)]. doi: 10.38025/2078-1962-2021-20-1-84-95
16. Assaratgoon I., Shiraishi N., Tagaino R., Ogawa T., Sasaki K. Sensory neuromuscular electrical stimulation for dysphagia rehabilitation: A literature review. *J Oral Rehabil.* 2023;50(2):157–164. doi: 10.1111/joor.13391
17. Panebianco M., Marchese-Ragona R., Masiero S., Restivo D.A. Dysphagia in neurological diseases: a literature review. *Neurol Sci.* 2020;41(11):3067–3073. doi: 10.1007/s10072-020-04495-2
18. Costa D.R., Santos P.S., Fischer Rubira C.M., Berretin-Felix G. Immediate effect of neuromuscular electrical stimulation on swallowing function in individuals after oral and oropharyngeal cancer therapy. *SAGE open medicine.* 2020;8(1):1–11. doi: 10.1177/2050312120974152

19. Umay E., Gurcay E., Ozturk E.A., Unlu Akyuz E. Is sensory-level electrical stimulation effective in cerebral palsy children with dysphagia? A randomized controlled clinical trial. *Acta Neurol Belg.* 2020;120(5):1097–1105. doi: 10.1007/s13760-018-01071-6
20. Maeda K., Koga T., Akagi J. Interferential current sensory stimulation, through the neck skin, improves airway defense and oral nutrition intake in patients with dysphagia: a double-blind randomized controlled trial. *Clin Interv Aging.* 2017;12:1879–1886. doi: 10.2147/CIA.S140746
21. Ortega O., Rofes L., Martin A., Arreola V., López I., Clavé P. A Comparative Study Between Two Sensory Stimulation Strategies After Two Weeks Treatment on Older Patients with Oropharyngeal Dysphagia. *Dysphagia.* 2016;31(5):706–716. doi: 10.1007/s00455-016-9736-4
22. Zhang M., Tao T., Zhang Z.B., Zhu X., Fan W.G., Pu L.J., Chu L., Yue S.W. Effectiveness of Neuromuscular Electrical Stimulation on Patients With Dysphagia With Medullary Infarction. *Arch Phys Med Rehabil.* 2016;97(3):355–362. doi: 10.1016/j.apmr.2015.10.104
23. Beom J., Oh B.M., Choi K.H., Kim W., Song Y.J., You D.S., Kim S.J., Han T.R. Effect of Electrical Stimulation of the Suprahyoid Muscles in Brain-Injured Patients with Dysphagia. *Dysphagia.* 2015;30(4):423–429. doi: 10.1007/s00455-015-9617-2
24. Shimizu S., Metani H., Hiraoka T., Seki S., Hanayama K., Tsubahara A. Electrode position and hyoid movement in surface electrical stimulation of the suprahyoid muscle group. *Japanese J Compr Rehabil Sci.* 2014;5:97–101. doi: 10.11336/jjcrs.5.97
25. Rofes L., Arreola V., López I., Martin A., Sebastián M., Ciurana A., Clavé P. Effect of surface sensory and motor electrical stimulation on chronic poststroke oropharyngeal dysfunction. *Neurogastroenterol Motil.* 2013;25(11):888–e701. doi: 10.1111/nmo.12211
26. Xia W., Zheng C., Lei Q., Tang Z., Hua Q., Zhang Y., Zhu S. Treatment of post-stroke dysphagia by vitalstim therapy coupled with conventional swallowing training. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci.* 2011;31(1):73–76. doi: 10.1007/s11596-011-0153-5
27. Gallas S., Marie J.P., Leroi A.M., Verin E. Sensory transcutaneous electrical stimulation improves post-stroke dysphagic patients. *Dysphagia.* 2010;25(4):291–297. doi: 10.1007/s00455-009-9259-3
28. Lim K.B., Lee H.J., Lim S.S., Choi Y.I. Neuromuscular electrical and thermal-tactile stimulation for dysphagia caused by stroke: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2009;41(3):174–178. doi: 10.2340/16501977-0317
29. Li X.W., Li L. Efficacy of neuromuscular electrical stimulation on Wilson's disease patients with dysphagia. *J Phys Ther Sci.* 2019;31(12):971–974. doi: 10.1589/jpts.31.971
30. Черникова Л.А., Авдюнина И.А., Савицкая Н.Г. Внутриглоточная электростимуляция в реабилитации больных с постинсультной дисфагией. *Журнал неврологии и психиатрии им С.С. Корсакова.* 2003;9:193–195. [Chernikova L.A., Avdyunina I.A., Savitskaya N.G. Intrapharyngeal electrical stimulation in rehabilitation of patients with post-stroke dysphagia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2003;9:193–195. (In Russ.)].
31. Гроховская Н.В., Котлик Б.А., Черникова Л.А. Электрод глоточный. Патент СССР № 26312. 1988. [Grokhovskaya N.V., Kotlik B.A., Chernikova L.A. Elektrod glotochnyy. Patent USSR № 26312. 1988. (In Russ.)].
32. Saseghon A., Cheng I., Zhang M., Hamdy S. Advances in the Use of Neuromodulation for Neurogenic Dysphagia: Mechanisms and Therapeutic Application of Pharyngeal Electrical Stimulation, Transcranial Magnetic Stimulation, and Transcranial Direct Current Stimulation. *Am J Speech-Language Pathol.* 2020;29(2S):1044–1064. doi: 10.1044/2020_AJSLP-19-00073
33. Jayasekera V., Singh S., Tyrrell P., Michou E., Jefferson S., Mistry S., Gamble E., Rothwell J., Thompson D., Hamdy S. Adjunctive functional pharyngeal electrical stimulation reverses swallowing disability after brain lesions. *Gastroenterology.* 2010;138(5):1737–1746. doi: 10.1053/j.gastro.2010.01.052
34. Restivo D.A., Hamdy S. Pharyngeal electrical stimulation device for the treatment of neurogenic dysphagia: technology update. *Med Devices (Auckl).* 2018;11(1):21–26. doi: 10.2147/MDER.S122287
35. Hamdy S., Rothwell J.C., Aziz Q., Singh K.D., Thompson D.G. Long-term reorganization of human motor cortex driven by short-term sensory stimulation. *Nat Neurosci.* 1998;1(1):64–68. doi: 10.1038/264
36. Fraser C., Power M., Hamdy S., Rothwell J., Hobday D., Hollander I., Tyrell P., Hobson A., Williams S., Thompson D. Driving plasticity in human adult motor cortex is associated with improved motor function after brain injury. *Neuron.* 2002;34(5):831–840. doi: 10.1016/S0896-6273(02)00705-5
37. Zhang X., Wang X., Liang Y., Shan Y., Song R., Li X., Dou Z., Wen H. Neuroplasticity Elicited by Modified Pharyngeal Electrical Stimulation: A Pilot Study. *Brain Sci.* 2023;13(1):1–13. doi: 10.3390/brainsci13010119
38. Bath P.M., Scutt P., Love J., Clavé P., Cohen D., Dziewas R., Iversen H.K., Ledl C., Ragab S., Soda H., Warusevitane A., Woisard V., Hamdy S., Swallowing Treatment Using Pharyngeal Electrical Stimulation (STEPS) Trial Investigators. Pharyngeal Electrical Stimulation for Treatment of Dysphagia in Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Stroke.* 2016;47(6):1562–1570. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.012455
39. Dziewas R., Stellato R., van der Tweel I., Walther E., Werner C.J., Braun T., Citerio G., Jandl M., Friedrichs M., Nötzel K., Vosko M.R., Mistry S., Hamdy S., McGowan S., Warnecke T., Zwittag P., Bath P.M., PHAST-TRAC investigators. Pharyngeal electrical stimulation for early decannulation in tracheotomised patients with neurogenic dysphagia after stroke (PHAST-TRAC): a prospective, single-blinded, randomised trial. *Lancet Neurol.* 2018;17(10):849–859. doi: 10.1016/S1474-4422(18)30255-2
40. Bath P.M., Woodhouse L.J., Suntrup-Krueger S., Likaar R., Koestenberger M., Warusevitane A., Herzog J., Schuttler M., Ragab S., Everton L., Ledl C., Walther E., Saltuari L., Pucks-Faes E., Bocksruker C., Vosko M., de Broux J., Haase C.G., Raginis-Zborowska A., Mistry S., Hamdy S., Dziewas R. Pharyngeal electrical stimulation for neurogenic dysphagia following stroke, traumatic brain injury or other causes: Main results from the PHADER cohort study. *EClinicalMedicine.* 2020;28(10):1–19. doi: 10.1016/j.eclinm.2020.100608
41. Сидякина И.В., Воронова М.В. Индивидуализированный подход к реабилитации пациентов с центральной дисфагией. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* 2016;15(3):137–141. [Sidyakina I.V., Voronova M.V. The individualized approach to the rehabilitation of patients with central dysphagia. *Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation.* 2016;15(3):137–141. (In Russ.)]. doi: 10.18821/1681-3456-15-3-137-141
42. Struppeler A., Binkofski F., Angerer B., Bernhardt M., Spiegel S., Drzezga A., Bartenstein P. A fronto-parietal network is mediating improvement of motor function related to repetitive peripheral magnetic stimulation: A PET-H2O15 study. *Neuroimage.* 2007;36.2:174–186. doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.03.033
43. Ogawa M., Kagaya H., Nagashima Y., Mori S., Shibata S., Inamoto Y., Aoyagi Y., Toda F., Ozeki M., Saitoh E. Repetitive Peripheral Magnetic Stimulation for Strengthening of the Suprahyoid Muscles: A Randomized Controlled Trial. *Neuromodulation.* 2020;23(6):778–783. doi: 10.1111/ner.13057
44. Hwang N.K., Park J.S., Choi J.B., Jung Y.J. Effect of Peripheral Magnetic Stimulation for Dysphagia Rehabilitation: A Systematic Review. *Nutrients.* 2022;14(17):1–14. doi: 10.3390/nut14173514
45. Momosaki R., Abo M., Watanabe S., Kakuda W., Yamada N., Kinoshita S. Repetitive Peripheral Magnetic Stimulation With Intensive Swallowing Rehabilitation for Poststroke Dysphagia: An Open-Label Case Series. *Neuromodulation.* 2015;18(7):630–635. doi: 10.1111/ner.12308

46. Momosaki R., Abo M., Watanabe S., Kakuda W., Yamada N., Mochio K. Functional magnetic stimulation using a parabolic coil for dysphagia after stroke. *Neuromodulation*. 2014;17(7):637–641. doi: 10.1111/ner.12137
47. Nagashima Y., Kagaya H., Toda F., Aoyagi Y., Shibata S., Saitoh E., Abe K., Nakayama E., Ueda K. Effect of electromyography-triggered peripheral magnetic stimulation on voluntary swallow in healthy humans. *J Oral Rehabil*. 2021;48(12):1354–1362. doi: 10.1111/joor.13256
48. Яковлев А.А., Шайбак А.А., Гречко А.В., Сидоров И.Б., Яковлева А.В., Пряникова Н.И., Усольцева Н. Способ лечения крикофарингеальной недостаточности и восстановления функции глотания. Патент Российской Федерации RU2714177C1. 2020. [Yakovlev A.A., Shaybak A.A., Grechko A.V., Sidorov I.B., Yakovleva A.V., Pryanikova N.I., Usoltseva N. Method of treating cricopharyngeal insufficiency and recuperation of swallowing function. Patent RU2714177C1. 2020]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2714177C1/ru>
49. Шайбак А.А., Яковлева А.В., Яковлев А.А., Сидоров И.Б., Пряникова Н.И., Раскатова Е.В., Усольцева Н.И., Гречко А.В. Неинвазивная магнитная стимуляция с эндоскопической навигацией для лечения крикофарингеальной недостаточности у пациентов в хроническом критическом состоянии. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2021;121(7):31–35. [Shajbak A.A., Yakovleva A.V., Yakovlev A.A., Sidorov I.B., Pryanikova N.I., Raskatova E.V., Usoltseva N.I., Grechko A.V. Noninvasive magnetic stimulation with endoscopic navigation for the treatment of cricopharyngeal failure in chronic critical illness. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2021;121(7):31–35. (In Russ.)]. doi: 10.17116/jnevro202112107131
50. Hagbarth K.E., Eklund G. The muscle vibrator—a useful tool in neurological therapeutic work. *Scand J Rehabil Med*. 1969;1(1):26–34. doi: 10.2340/1650197701026034
51. Murillo N., Valls-Sole J., Vidal J., Opisso E., Medina J., Kumru H. Focal vibration in neurorehabilitation. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2014;50(2):231–242. doi: 10.1007/978-3-030-01845-0_137
52. Murillo N., Kumru H., Vidal-Samso J., Benito J., Medina J., Navarro X., Valls-Sole J. Decrease of spasticity with muscle vibration in patients with spinal cord injury. *Clin Neurophysiol*. 2011;122(6):1183–1189. doi: 10.1016/j.clinph.2010.11.012
53. Noma T., Matsumoto S., Etoh S., Shimodono M., Kawahira K. Anti-spastic effects of the direct application of vibratory stimuli to the spastic muscles of hemiplegic limbs in post-stroke patients. *Brain Inj*. 2009;23(7):623–631. doi: 10.1080/02699050902997896
54. Kamada K., Shimodono M., Hamada H., Kawahira K. Effects of 5 minutes of neck-muscle vibration immediately before occupational therapy on unilateral spatial neglect. *Disabil Rehabil*. 2011;33(23–24):2322–2328. doi: 10.3109/09638288.2011.570411
55. Paoloni M., Mangone M., Scettri P., Procaccianti R., Cometa A., Santilli V. Segmental muscle vibration improves walking in chronic stroke patients with foot drop: a randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010;24(3):254–262. doi: 10.1177/1545968309349940
56. Galluccio C., Pazzaglia C., Spaccatosi S., Giovannini S., Castelli L., Padua L. Focal vibration in dysphagia: A technological treatment for severe acquired brain injury rehabilitation. *J Oral Rehabil*. 2023;50(8):679–686. doi: 10.1111/joor.13465
57. Ciritella C., Spina S., Cinone N., Giordano M.P., Facciorusso S., Santamato A. Focal muscle vibrations improve swallowing in persistent dysphagia after traumatic brain injury: A case report. *Turk J Phys Med Rehab*. 2023;69(x):i–v. doi: 10.5606/tftrd.2023.11351
58. Mulheren R.W., Ludlow C.L. Vibration over the larynx increases swallowing and cortical activation for swallowing. *J Neurophysiol*. 2017;118(3):1698–1708. doi: 10.1152/jn.00244.2017
59. Kamarunas E., Wong S.M., Ludlow C.L. Laryngeal Vibration Increases Spontaneous Swallowing Rates in Chronic Oropharyngeal Dysphagia: A Proof-of-Principle Pilot Study. *Dysphagia*. 2019;34(5):640–653. doi: 10.1007/s00455-018-9962-z
60. Wang L., Shi A., Xue H., Li Q., Wang J., Yang H., Hong H., Lu Q., Cheng J. Efficacy of Transcranial Direct Current Stimulation Combined with Conventional Swallowing Rehabilitation Training on Post-stroke Dysphagia. *Dysphagia*. 2023;38(6):1537–1545. doi: 10.1007/s00455-023-10581-2
61. He K., Wu L., Huang Y., Chen Q., Qiu B., Liang K., Ma R. Efficacy and Safety of Transcranial Direct Current Stimulation on Post-Stroke Dysphagia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2022;11(9):1–17. doi: 10.3390/jcm11092297
62. Zhao N., Sun W., Xiao Z., Fan C., Zeng B., Xu K., Liao M., Lu W. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Poststroke Dysphagia: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arch Phys Med Rehabil*. 2022;103(7):1436–1447. doi: 10.1016/j.apmr.2022.03.004
63. Cosentino G., Gargano R., Bonura G., Realmuto S., Tocco E., Ragonese P., Gangitano M., Alfonsi E., Fierro B., Brighina F., Salemi G. Anodal tDCS of the swallowing motor cortex for treatment of dysphagia in multiple sclerosis: a pilot open-label study. *Neurol Sci*. 2018;39(8):1471–1473. doi: 10.1007/s10072-018-3443-x
64. Restivo D.A., Alfonsi E., Casabona A., Hamdy S., Tassorelli C., Panebianco M., Marchese-Ragona R., Quartarone A., Centonze D., Pavone A., Stipanoni Bassi M. A pilot study on the efficacy of transcranial direct current stimulation applied to the pharyngeal motor cortex for dysphagia associated with brainstem involvement in multiple sclerosis. *Clin Neurophysiol*. 2019;130(6):1017–1024. doi: 10.1016/j.clinph.2019.04.003
65. Dashtelei A.A., Nitsche M.A., Salehinejad M.A., Habibi A.H., Bakhtiyari J., Khatoonabadi A.R. Adjunctive transcranial direct current stimulation to improve swallowing functions in Parkinson's disease. *EXCLI J*. 2024;23:95–107. doi: 10.17179/excli2023-6496
66. Lefaucheur J.P., Aleman A., Baeken C., Benninger D.H., Brunelin J., Di Lazzaro V., Filipović S.R., Grefkes C., Hasan A., Hummel F.C., Jääskeläinen S.K., Langguth B., Leocani L., Londero A., Nardone R., Nguyen J.P., Nyffeler T., Oliveira-Maia A.J., Oliviero A., et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clin Neurophysiol*. 2020;131(2):474–528. doi: 10.1016/j.clinph.2019.11.002
67. Li H., Li L., Zhang R., Huang X., Lin J., Liu C., Lou W. Effectiveness of repetitive transcranial magnetic stimulation on poststroke dysphagia: A meta-analysis of randomized-controlled trials. *Int J Rehabil Res*. 2022;45(2):109–117. doi: 10.1097/MRR.0000000000000517
68. Xie Y., Wang S., Jia J., Xie Y., Chen X., Qing W., Wang Y. Transcranial Magnetic Stimulation for Improving Dysphagia After Stroke: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Front Neurosci*. 2022;16(4):1–13. doi: 10.3389/fnins.2022.854219
69. Xie Y., Wang S., Ju Y., Xie Y., Qing W., Wang Y. Theta burst stimulation versus high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation for poststroke dysphagia: A randomized, double-blind, controlled trial. *Med (United States)*. 2022;101(2):1–8. doi: 10.1097/MD.00000000000028576
70. Georgiou A.M., Phylactou P., Kambanaros M. The effectiveness of transcranial magnetic stimulation for dysphagia in stroke patients: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Front Hum Neurosci*. 2024;18(3):1–10. doi: 10.3389/fnhum.2024.1355407