

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ В СТОМАТОЛОГИИ: ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Мария Ебрахим

Кафедра ортопедической стоматологии

ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России, г. Тверь, Россия

Аннотация. В статье на основе анализа отечественных и зарубежных публикаций, касающихся практического применения электростимуляции в стоматологии, которые размещены в научных электронных библиотеках PubMed и eLIBRARY за последние 10 лет, оценены перспективы ее потенциального применения в стоматологической клинической практике и фундаментальных исследованиях.

Ключевые слова: электростимуляция, стоматология, остеоинтеграция, эндодонтия

Для цитирования: Ебрахим М. Применение электростимуляции в стоматологии: практика и перспективы (обзор литературы). Верхневолжский медицинский журнал. 2024; 23(3): 12–17

APPLICATION OF ELECTROSTIMULATION IN DENTISTRY: PRACTICE AND PERSPECTIVES (LITERATURE REVIEW)

M. Ibrahim

Tver State Medical University, Tver, Russia

Abstract. The article, based on an analysis of domestic and foreign publications concerning the practical application of bioelectricity in dentistry, which are posted in the scientific electronic libraries PubMed and eLIBRARY over the past 10 years, assesses the prospects for its potential use in dental clinical practice and fundamental research.

Key words: electrical stimulation, dentistry, osseointegration, endodontics

For citation: Ibrahim M. Application of electrostimulation in dentistry: practice and perspectives (literature review). Upper Volga Medical Journal. 2024; 23(3): 12–17

Введение

Электричество в сфере медицины применяется достаточно давно. В 1950-х годах был изобретен коммерческий электрический дефибриллятор, что проложило дорогу электрической кардиостимуляции. Были подтверждены положительные эффекты электротерапии при нервно-мышечной боли, нервно-мышечном восстановлении, заживлении ран и переломов костей [1–5].

В настоящем обзоре обобщен опыт значительного объема исследований с использованием электрических методов в стоматологии.

В эндодонтии исследование пульпы зуба является важным и необходимым диагностическим методом, поскольку диагностика является неотъемлемым аспектом планирования лечения. Наиболее часто используемые тесты на чувствительность пульпы — электроодонтометрия (ЭОМ), которая стимулирует нервы пульпы путем проведения электрического тока через зуб [6, 7]. Метод используется для оценки жизнеспособности пульпы и считается безопасным, так как ток не повреждает ткани зуба и его мож-

но точно измерять и дозировать. Основным механизмом ЭОМ заключается в иницировании ионных изменений в нервной мембране с помощью электрических стимулов, которые влияют на потенциал действия с быстрым скачком в узлах Ранвье в миелинизированных нервах [8].

Другим примером применения является электрический апекслокатор, который использует высокочастотный микроток и регистрирует электрический импеданс между каналом и периодонтом для измерения рабочей длины канала и определения места сужения верхушки. Точность измерений важна для успеха эндодонтических процедур. Функция апекслокатора заключается в использовании человеческого тела для замыкания электрической цепи. Одна сторона схемы апекслокатора соединена с эндодонтическим инструментом, а другая — соединена с телом пациента посредством контакта с губой пациента. Электрическая цепь замыкается, когда эндодонтический инструмент продвигается апикально внутрь корневого канала до физиологического сужения [9].

В последние десятилетия значительное внимание исследователей уделяется методам выявления ранних кариозных поражений. Самый распространенный метод обнаружения кариеса — визуально-тактильный. Были разработаны и исследованы другие неинвазивные методы обнаружения раннего кариеса, такие как количественная светоиндуцированная флуоресценция (QLF), DIAGNOdent (DD), волоконно-оптическая трансиллюминация (FOTI) и электрическая проводимость (EC) [10].

Метод электрометрии (Electrometrymethod) определяет зависимость электропроводности эмали зубов от степени ее минерализации, позволяет определить ранние поражения эмали (в том числе в фиссурах), степень ее минерализации и зрелости. Аппаратом, работа которого основана на данном методе, является ДентЭст («Геософт», Россия). Данный метод применяется в основном при проведении научных исследований и клинических испытаний, а также для дифференциальной диагностики и определения глубины поражения эмали [11, 12].

Разработка и регулярное использование адгезивных материалов произвели революцию во многих направлениях восстановительной и профилактической стоматологии. Изобретение адгезивных материалов устраняет необходимость в создании дополнительных ретенционных пунктов и препятствует чрезмерному удалению твердых тканей при препарировании.

Однако микроподтекание конденсируемых композитов является серьезной проблемой и, вероятно, является причиной многих случаев вторичного кариеса. Было использовано множество приемов и методов для повышения качества адгезивных материалов, что, в свою очередь, имеет решающее значение для успеха эстетических реставраций в современной стоматологии. Одним из наиболее современных методов является применение различных электрических токов для улучшения прочности соединения дентина с различными адгезивными системами.

M.V.L. Bertolo и др. оценили влияние трех адгезивных систем, наносимых под действием электрического тока, на прочность микрорастяжимого соединения и доказали, что электрические токи (25 мкА и 50 мкА) уменьшают наноутечку адгезивной клеевой системы и улучшают инфильтрацию [13]. Кроме того, M. B. Guarda и др. доказали, что применение адгезивных систем с использованием электрического тока силой 35 мкА улучшает прочность соединения и качество адгезивной поверхности [14].

Лечение гиперчувствительности дентина является одной из основных проблем, с которыми стоматологи сталкиваются в клинической практике. Современные методы лечения обеспечивают лишь временное облегчение и требуют многократного применения для проявления результатов, а доказательства, касающиеся долгосрочных эффектов, отсутствуют [15].

Одним из наиболее эффективных методов является электрофорез или ионофорез — неинвазивный метод улучшения доставки лекарств путем применения электрического тока, который вызывает более глубокое проникновение ионов. Было обнаружено, что доза лекарства, доставленного локально с помо-

щью ионофореза, примерно в 10–2000 раз выше, чем при обычных формах доставки. Препарат, используемый при ионофорезе, должен быть растворим в воде и склонен к ионизации [16].

По данным М. В. Кабытовой и др., после проведенного лечения с использованием ионофореза с 2 % фторидом натрия при помощи прибора «Desensitron II» (США), который подает постоянный электрический ток силой до 0,5 мА, наблюдалось снижение электропроводности твердых тканей: у пациентов с клиновидным дефектом на 49 %, у пациентов с эрозией твердых тканей — на 36 %, с патологической стираемостью — на 30 %, при рецессии десны на — 28 % [17].

Электричество широко используется в качестве доступного источника физической стимуляции для лечения заболеваний, включая терапию при злокачественных опухолях. Электрическая стимуляция может мобилизовать иммунную систему организма для уничтожения опухолей с помощью различных механизмов или воздействовать непосредственно на опухоль.

O. Kraft et al. показали, что злокачественные клетки обладают иным трансмембранным потенциалом по сравнению с доброкачественными клетками [18].

Это предполагает, что трансмембранный потенциал может служить потенциальной диагностической или терапевтической мишенью злокачественных заболеваний. Например, H.G. Yu et al. использовали сконструированный потенциал-зависимый кальциевый канал, который можно избирательно активировать в опухоли молочной железы для точечного уничтожения опухолевых клеток [19].

В области стоматологической медицины в первых исследованиях пытались лечить челюстно-лицевую карциному с помощью электрических импульсов высокого напряжения [20]. Однако существенным недостатком этого метода было то, что электрические импульсы наносят также серьезные повреждения нормальным тканям. Позже наносекундные импульсные электрические поля были использованы для повышения чувствительности плоскоклеточного рака полости рта и языка в консервативной радиационной и химической терапии [21, 22].

Челюстно-лицевая мышечная боль и височно-нижнечелюстные расстройства являются наиболее распространенными орофациальными болевыми состояниями, по поводу которых пациенты обращаются за лечением. Височно-нижнечелюстные нарушения создают ряд клинических проблем, затрагивающих жевательную мускулатуру и височно-нижнечелюстной сустав (ВНЧС). Для оптимального лечения орофациальных болевых расстройств следует рассмотреть подход к обезболиванию, включая как нефармакологические, так и фармакологические методы.

Для лечения расстройств челюстно-лицевой мускулатуры и болей использовались различные формы электростимуляции. Во-первых, два клинических исследования, проведенные O.O. Fagade et al. продемонстрировали, что 30-минутные сеансы чрескожной электрической стимуляции нервов (ЧЭНС) улучшают упражнения по принудительному открыванию рта у пациентов, перенесших тризм [23, 24]. Кроме того, ЧЭНС доказала свою эффективность в умень-

шении боли, связанной с заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава [25]. Во-вторых, микротоковая стимуляция нервов является еще одним часто используемым методом электростимуляции, известным своей эффективностью в облегчении мышечных миофасциальных болей, вызванных бруксизмом или заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава [26]. Рандомизированное контролируемое исследование В. Saranya et al. выявил свою эффективность в облегчении боли по сравнению с ЧЭНС [26]. Наконец, сообщается, что чрескожный игольчатый электролиз быстро уменьшает височно-нижнечелюстную миофасциальную боль, о чем свидетельствует рандомизированное контролируемое клиническое исследование [27].

Комплексное ортодонтическое лечение несъемными ортодонтическими аппаратами занимает сравнительно длительный период, который в ряде случаев может достигать двух-трех лет [28]. Такое длительное лечение считается одной из наиболее важных проблем, с которыми сталкиваются как ортодонты, так и пациенты, и может быть причиной отказа пациентов от лечения [29]. Кроме того, большая продолжительность ортодонтического лечения может быть связана со многими побочными эффектами, такими, как белые пятна, кариес, рецессия десны и резорбция корня, а также с отказом пациента от сотрудничества и согласия с лечением [30]. Поэтому ускорение перемещения зубов стало важной целью как для ортодонтов, так и для пациента [31]. После понимания пьезоэлектрической природы кости было проведено множество исследований для оценки морфогенеза и ремоделирования кости и окружающих тканей путем прямой электрической стимуляции [32].

Следовательно, некоторые ученые исследовали потенциал электростимуляции в качестве дополнительного вмешательства для ускорения ортодонтического перемещения зубов. G. S. Spadari et al. сообщили, что ток силой 10 мкА увеличил количество остеокластов и усилил васкуляризацию во время ортодонтического перемещения зубов у крыс [33].

W. A. Bhad Patil и A. A. Karemore использовали электрическую стимуляцию для сокращения времени лечения. В клиническом исследовании 19 пациентов было доказано увеличение на 31 % скорости ретракции клыков при использовании импульсного электромагнитного поля, генерируемого цепью, питаемой от часовой батарейки [34]. К аналогичному выводу пришли R. Showkatbakhsh et al. [35].

В исследовании, проведенном на кафедре ортодонтии стоматологического факультета Дамасского университета, Сирия, в период с марта 2019 по февраль 2020 года, R. I. Shaadouh et al. пришли к выводу, что постоянный электрический ток низкой интенсивности является эффективным методом ускорения ортодонтического движения. Электрическое ускоряющее устройство, использованное в этом исследовании, эффективно увеличило скорость ретракции верхних передних зубов без каких-либо побочных эффектов и с высоким одобрением пациентов [36].

Кроме того, было обнаружено, что электрическая стимуляция полезна в области имплантологии, осо-

бенно для стимулирования остеоинтеграции и предотвращения периимплантита. Она была предложена в качестве средства, способствующего прямому структурному и функциональному соединению костной ткани с искусственным имплантатом, известному как остеоинтеграция.

Остеоинтеграция определяется как прямая структурная и функциональная связь между костью и поверхностью имплантата, имеет решающее значение для стабильности имплантата и считается предпосылкой для нагрузки на имплантат и долгосрочного клинического успеха зубных имплантатов.

В исследовании, проведенном с целью оценки влияния различной плотности и амплитуды электрического тока на процент контакта кость-имплантат с использованием метода конечных элементов, численные модели были выполнены на имплантатах из титана класса IV, подключенных к батарее напряжением 1,5 В с электрическим сопротивлением (R) при 150 кОм на 10 мкА или при 75 кОм на 20 мкА. Процент моделируемого контакта кость-имплантат анализировали путем изменения электрического тока от 1 до 60 мкА. Вариации применения электрического тока моделировались для корональной и апикальной областей вокруг имплантата. Результаты показали, что источник постоянного электрического тока силой менее 10 мкА не обеспечивает надлежащую плотность тока для остеоинтеграции (контакт кость-имплантат < 55 %). Однако интенсивность в диапазоне от 10 до 20 мкА приводила к увеличению остеоинтеграции выше 60 % и достигала 90 % при токе от 30 до 40 мкА. Кроме того, применение источника тока 20 мкА в апикальной периимплантатной области привело к высокому проценту остеоинтеграции — около 86,1 %. Исследователи пришли к выводу, что расположение и интенсивность источника электрического тока могут увеличить результирующую плотность электрического тока на границе раздела имплантат-кость и ускорить процесс заживления кости [37].

E. Pettersen et al. предложили модель *in vitro*, состоящую из имплантатов, предварительно культивированных преостеобластами, стимулированными в течение 72 часов при двух разных амплитудах импульса (10 мкА и 20 мкА) и на двух разных частотах (50 Гц и 100 Гц). Они обнаружили, что асимметричная импульсная электрическая стимуляция со сбалансированным зарядом улучшает выживаемость клеток и выработку коллагена в зависимости от интенсивности. Их результаты показывают, что импульсная электрическая стимуляция потенциально может улучшить выживаемость клеток и может обеспечить многообещающий подход к улучшению остеоинтеграции [38].

L. M. Bins-Ely et al. провели исследование на 90 имплантатах у 6 собак, причем имплантаты были разделены на три группы на основании электрической стимуляции: группа А — 10 мкА; группа Б — 20 мкА; группа С — контрольная. Электрический ток подавался с помощью электрического устройства, подключенного к соединению имплантата. Через 15 дней в группе В была зарегистрирована значительно более высокая площадь

контакта интерфейса кость-имплантат, чем в группах А и С ($p < 0,01$). Статистической разницы между группами А и С не наблюдалось ($p > 0,05$). таким образом, можно сделать вывод, что электрическая стимуляция зубных имплантатов может привести к увеличению площади контакта кости с имплантатом в результате формирования кости [39]. Т. М. Kumar et al. в эксперименте на собаках изучали роль электрической стимуляции постоянным током в остеоинтеграции зубных имплантатов. В исследовании на 3 собаках был использован изготовленный на заказ имплантат, который позволял врастать в кость. Электрический стимулятор, обеспечивающий постоянный ток 20 мкА, в течение 21 дня по 6 часов стимуляции в день, дал положительные результаты при денситометрических измерениях. Однако этот результат требует дальнейшей проверки с использованием большего количества образцов и включения различных электрических стимуляторов [40].

Большинство экспериментальных исследований показали преимущества электростимуляции в основных процессах, ведущих к остеоинтеграции. Однако в клинической практике такой эффект убедительно продемонстрирован не был. Оптимальные параметры стимуляции не были тщательно исследованы, что остается важной задачей на пути к клиническому воплощению этой концепции. Кроме того, существует потребность в стандартах отчетности, позволяющих проводить метаанализ научно обоснованных методов лечения.

Заключение

Всестороннее понимание эффектов электростимуляции сложилось в области проверки жизнеспособности пульпы, раннего выявления кариеса, лечения гиперчувствительности зубов, улучшения эффекта адгезивного материала, лечения злокачественных опухолей, снятия мышечных болей в челюстно-лицевой области, ускорения ортодонтического движения зубов и улучшение процесса остеоинтеграции дентальных имплантатов. Однако терапевтическая эффективность экзогенной электростимуляции в организме остается спорной, в первую очередь из-за неоднородности существующих методов исследования. Гетерогенность как систем электростимуляции, так и клинических результатов их применения также вызывает ряд сомнений. Следовательно, сохраняется необходимость проведения крупномасштабных стандартизированных рандомизированных контролируемых клинических исследований.

Список источников

1. Alrwaily M., Schneider M., Sowa G., Timko M., Whitney S.L., Delitto A. Stabilization exercises combined with neuromuscular electrical stimulation for patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther.* 2019; 23(6): 506–515. doi: 10.1016/j.bjpt.2018.10.003
2. Miao Q., Qiang J.H., Jin Y.L. Effectiveness of percutaneous neuromuscular electrical stimulation for neck pain relief in patients with cervical spondylosis. *Medicine (Baltimore).* 2018; 97(26):e11080. doi: 10.1097/MD.00000000000011080
3. Klika A.K., Yakubek G., Piuzy N., Calabrese G., Barsoum W.K., Higuera C.A. Neuromuscular Electrical Stimulation Use after Total Knee Arthroplasty Improves Early Return to Function: A Randomized Trial. *J Knee Surg.* 2022; 35(1): 104–111. doi: 10.1055/s-0040-1713420
4. Crema A., Bassolino M., Guanziroli E., Colombo M., Blanke O., Serino A., Micera S., Molteni F. Neuromuscular electrical stimulation restores upper limb sensory-motor functions and body representations in chronic stroke survivors. *Med.* 2022; 3(1): 58–74.e10. doi: 10.1016/j.medj.2021.12.001
5. Zulbaran-Rojas A., Park C., El-Refaei N., Lepow B., Najafi B. Home-Based Electrical Stimulation to Accelerate Wound Healing-A Double-Blinded Randomized Control Trial. *J Diabetes Sci Technol.* 2023; 17(1): 15–24. doi: 10.1177/19322968211035128
6. Alghaithy R.A., Qualtrough A.J. Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. *Int Endod J.* 2017; 50(2): 135–142. doi: 10.1111/iej.12611
7. Ларичкин И.О. Методы оценки чувствительности и витальности пульпы зуба Тверской медицинский журнал. 2022; 4: 18–22.
8. Khoshbin E., Soheilifar S., Donyavi Z., Shahsavand N. Evaluation of Sensibility Threshold of Dental Pulp to Electric Pulp Test (EPT) in the Teeth under Fixed Orthodontic Treatment with 0.014 and 0.012 Initial NiTiArchwire. *J. Clin. Diagn. Res.* 2019; 13:16–19. doi: 10.7860/JCDR/2019/37722.12459
9. Khattak O., Raidullah E., Francis M.L. A comparative assessment of the accuracy of electronic apex locator (Root ZX) in the presence of commonly used irrigating solutions. *J Clin Exp Dent.* 2014; 6(1): e41–6. doi: 10.4317/jced.51230
10. Gomez J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health.* 2015; 15 Suppl 1(Suppl 1): S3. doi: 10.1186/1472-6831-15-S1-S3
11. Калайчев Н.В., Булахова Н.Н., Петрова А.П. Сравнение эффективности диагностики кариеса лазерно-флуоресцентным методом (KaVoDiagnodent) и другими стандартными и дополнительными методами диагностики. *Международный студенческий вестник.* 2018; 4–1: 147–151.
12. Гузева Н.А. Методы диагностики кариеса. *Бюллетень медицинских Интернет-конференций.* 2017; 17 (10): 1533–1535.
13. Bertolo M.V.L., Guarda M.B., Fronza B.M., Abuna G.F., Vitti R.P., Geraldini S., Sinhoreti M.A.C. Electric current effects on bond strength, nanoleakage, degree of conversion and dentinal infiltration of adhesive systems. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021; 119: 104529. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021. 104529
14. Guarda M.B., Di Nizo P.T., Abuna G.F., Catelan A., Sinhoreti M.A.C., Vitti R.P. Effect of Electric Current-assisted Application of Adhesives on their Bond Strength and Quality. *J Adhes Dent.* 2020; 22(4): 393–398. doi: 10.3290/j.jad.a44870
15. Ragit R., Fulzele P., Rathi N.V., Thosar N.R., Khubchandani M., Malviya N.S., Das S. Iontophoresis as an Effective Drug Delivery System in Dentistry: A Review. *Cureus.* 2022; 14(10): e30658. doi: 10.7759/cureus.30658

16. Karpinski T.M. Selected Medicines Used in Iontophoresis. *Pharmaceutics*. 2018; 10(4): 204. doi: 10.3390/pharmaceutics10040204
17. Кабытова М.В., Старикова И.В., Чаплиева Е.М. Эффективность применения назубного электрофореза при лечении гиперчувствительности зубов. *Colloquium-Journal*. 2019; 19–2 (43): 59–60.
18. Kraft O., Hartmann A.K., Hoenke S., Serbian I., Csuk R. Madecassic Acid-A New Scaffold for Highly Cytotoxic Agents. *Int J Mol Sci*. 2022; 23(8): 4362. doi: 10.3390/ijms23084362
19. Yu H.G., McLaughlin S., Newman M., Brundage K., Ammer A., Martin K., Coad J. Altering calcium influx for selective destruction of breast tumor. *BMC Cancer*. 2017; 17(1): 169. doi: 10.1186/s12885-017-3168-x
20. Hasegawa H., Kano M., Hoshi N., Watanabe K., Satoh E., Nakayama B., Suzuki T. An electrochemotherapy model for rat tongue carcinoma. *J Oral Pathol Med*. 1998; 27(6): 249–254. doi: 10.1111/j.1600-0714.1998.tb01951.x
21. Guo J., Wang Y., Wang J., Zhang J., Fang J. Radiosensitization of oral tongue squamous cell carcinoma by nanosecond pulsed electric fields (nsPEFs). *Bioelectrochemistry*. 2017; 113: 35–41. doi: 10.1016/j.bioelechem.2016.09.002
22. Wang J., Guo J., Wu S., Feng H., Sun S, Pan J., Zhang J., Beebe S.J. Synergistic effects of nanosecond pulsed electric fields combined with low concentration of gemcitabine on human oral squamous cell carcinoma in vitro. *PLoS One*. 2012; 7(8): e43213. doi: 10.1371/journal.pone.0043213
23. Fagade O.O., Obilade T.O. Therapeutic effect of TENS on post-IMF trismus and pain. *Afr J Med Med Sci*. 2003; 32(4): 391–394.
24. Fagade O.O., Oginni F.O., Obilade T.O. Comparative study of the therapeutic effect of a systemic analgesic and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on post-IMF trismus and pain in Nigerian patients. *Niger Postgrad Med J*. 2005; 12(2): 97–101.
25. Serrano-Muñoz D, Beltran-Alacreu H, Martín-Caro Álvarez D, Fernández-Pérez JJ, Aceituno-Gómez J., Arroyo-Fernández R., Avendano-Coy J. Effectiveness of Different Electrical Stimulation Modalities for Pain and Masticatory Function in Temporomandibular Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pain*. 2023; 24(6): 946–956. doi: 10.1016/j.jpain.2023.01.016
26. Saranya B., Ahmed J., Shenoy N., Ongole R., Sujir N., Natarajan S. Comparison of Transcutaneous Electric Nerve Stimulation (TENS) and Microcurrent Nerve Stimulation (MENS) in the Management of Masticatory Muscle Pain: A Comparative Study. *Pain Res Manag*. 2019; 2019: 8291624. doi: 10.1155/2019/8291624
27. Lopez-Martos R., Gonzalez-Perez L.M., Ruiz-Canela-Mendez P., Urresti-Lopez F.J., Gutierrez-Perez J.L., Infante-Cossio P. Randomized, double-blind study comparing percutaneous electrolysis and dry needling for the management of temporomandibular myofascial pain. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2018; 23(4): e454–e462. doi: 10.4317/medoral.22488
28. Al-Sibaie S., Hajeer M.Y. Assessment of changes following en-masse retraction with mini-implants anchorage compared to two-step retraction with conventional anchorage in patients with class II division 1 malocclusion: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. 2014; 36(3): 275–283. doi: 10.1093/ejo/cjt046
29. Khlef H.N., Hajeer M.Y., Ajaj M.A., Heshmeh O. Evaluation of Treatment Outcomes of *En masse* Retraction with Temporary Skeletal Anchorage Devices in Comparison with Two-step Retraction with Conventional Anchorage in Patients with Dentoalveolar Protrusion: A Systematic Review and Meta-analysis. *Contemp Clin Dent*. 2018; 9(4): 513–523. doi: 10.4103/ccd.ccd_661_18
30. Khlef H.N., Hajeer M.Y., Ajaj M.A., Heshmeh O., Youssef N., Mahaini L. The effectiveness of traditional corticotomy vs flapless corticotomy in miniscrew-supported en-masse retraction of maxillary anterior teeth in patients with Class II Division 1 malocclusion: A single-centered, randomized controlled clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020; 158(6): e111–e120. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.08.008
31. Alfawal A.M., Hajeer M.Y., Ajaj M.A., Hamadah O., Brad B. Effectiveness of minimally invasive surgical procedures in the acceleration of tooth movement: a systematic review and meta-analysis. *Prog Orthod*. 2016; 17(1): 33. doi: 10.1186/s40510-016-0146-9
32. Miles P. Accelerated orthodontic treatment –what’s the evidence? *Aust Dent J*. 2017; 62 Suppl 1: 63–70. doi: 10.1111/adj.12477
33. Spadari G.S., Zaniboni E., Vedovello S.A., Santamaria M.P., do Amaral M.E., Dos Santos G.M., Esquisatto M.A., Mendonca F.A., Santamaria M. Jr. Electrical stimulation enhances tissue reorganization during orthodontic tooth movement in rats. *Clin Oral Investig*. 2017; 21(1): 111–120. doi: 10.1007/s00784-016-1759-6
34. Bhad Patil W.A., Karemore A.A. Efficacy of pulsed electromagnetic field in reducing treatment time: A clinical investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2022; 161(5): 652–658. doi: 10.1016/j.ajodo.2020.12.025
35. Showkatbakhsh R., Jamilian A., Showkatbakhsh M. The effect of pulsed electromagnetic fields on the acceleration of tooth movement. *World J Orthod*. 2010; 11(4): e52–6.
36. Shaadouh R.I., Hajeer M.Y., Al-Sabbagh R., Alam M.K., Mahmoud G., Idris G. A Novel Method to Accelerate Orthodontic Tooth Movement Using Low-Intensity Direct Electrical Current in Patients Requiring en-Masse Retraction of the Upper Anterior Teeth: A Preliminary Clinical Report. *Cureus*. 2023; 15(5): e39438. doi: 10.7759/cureus.39438
37. Bins-Ely L., Suzuki D., Magini R., Benfatti C.A.M., Teughels W., Henriques B., Souza J.C.M. Enhancing the bone healing on electrical stimuli through the dental implant. *Comput Methods Biomech Biomed*

- Engin. 2020; 23(14): 1041–1051. doi: 10.1080/10255842.2020.1785437
38. Pettersen E., Shah F.A., Ortiz-Catalan M. Enhancing osteoblast survival through pulsed electrical stimulation and implications for osseointegration. *Sci Rep.* 2021; 11(1): 22416. doi: 10.1038/s41598-021-01901-3
39. Bins-Ely L.M., Cordero E.B., Souza J.C.M., Teughels W., Benfatti C.A.M., Magini R.S. In vivo electrical application on titanium implants stimulating bone formation. *J Periodontal Res.* 2017; 52(3): 479–484. doi: 10.1111/jre.12413
40. Kumar T.M., Velayudhan Nair K.N., Paulose N.G., Chandrasekharan Nair K. Role of Direct Current Electrical Stimulation in Dental Implant Osseointegration. A Pilot Study. *Acta Scientific Dental Sciences.* 2023; 7 (6): P.40–46. doi: 10.31080/ASD.2023.07.1640

Ебрахим Мария (контактное лицо) — аспирант кафедры ортопедической стоматологии ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России; 170100, Тверь, ул. Советская, д. 4; maria.ibrahim@gmail.com

Поступила в редакцию / The article received 16.05.2024.

Принята к публикации / Was accepted for publication 02.09.2024.