

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-2-127-134

УДК 616.314-089.843

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ИХ ПЕРВИЧНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ В КОСТНОЙ ТКАНИ

Мурзабеков А. И.¹, Салех К. М.², Серебряный С. В.², Добрынин И. А.³, Савинов М. С.⁴, Целиков Д. И.⁴, Климентов С. М.⁴, Сергеев Ю. А.⁵, Аванисян В. М.⁵

¹ Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления Делами Президента Российской Федерации, г. Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия

³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия

⁴ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

⁵ Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь, Россия

Аннотация

Актуальность. Дентальные имплантаты широко используются в стоматологии для восстановления зубного ряда. Первичная стабильность имплантата играет ключевую роль в успешной остеоинтеграции и долгосрочной функциональности имплантата. Исследование влияния микрорельефа поверхности имплантатов на их первичную стабильность в костной ткани имеет большое практическое значение, так как может помочь определить оптимальные характеристики поверхности имплантата для достижения наилучших результатов при его установке. **Цель исследования** – оценить влияние микрошероховатости поверхности дентальных имплантатов на торк и их первичную стабильность. **Материалы и методы.** Исследование включало использование 223 дентальных имплантатов диаметром 4,0 мм, длиной 10 мм с одинаковой геометрией. Исследуемые образцы соответствовали геометрии имплантата ИРИС ЛИКО-М (ООО «НПК Ликостом», Россия). Имплантаты были обработаны тремя различными методами и установлены в полиуретановые блоки, имитирующие костную ткань второго типа D2. Для определения усилия (торка) при установке имплантатов использовали физиодиспенсер Venton M3 (Китай); стабильность имплантатов (ISQ) после установки оценивали аппаратом Penguin PFA (Швеция). Статистический анализ данных проводился с применением критерия Краскела–Уоллиса и апостериорного критерия Данна. **Результаты исследования.** Исследование показало, что группы 2 (кислотное травление), 3 (лазерная обработка), 4 (контрольный образец) имеют нормальное распределение значений торка и ISQ, в то время как группа 1 (плазменное электролитическое окисление) не соответствует нормальному распределению. Проведенный тест Краскела–Уоллиса выявил статистически значимые различия между группами по уровню торка и стабильности (ISQ). Апостериорный тест Данна показал статистически значимые различия торка между группами 1 и 4, 2 и 4, 3 и 4, а также статистически значимые различия ISQ между группами 2 и 4, 3 и 4. **Выводы.** Поверхностные характеристики имплантатов не оказывают статистически значимого влияния на первичную стабильность, определенную по показателям торка и ISQ.

Ключевые слова: дентальные имплантаты, микрорельеф, первичная стабильность, торк, поверхность имплантатов, немедленная нагрузка

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Ахмед Исропилович МУРЗАБЕКОВ ORCID ID 0000-0002-0178-5351

стоматолог-хирург, начальник центра оказания медицинской помощи при стоматологических заболеваниях, Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления Делами Президента Российской Федерации, г. Москва, Россия
ahmedckb@yandex.ru

Карина Мустафавна САЛЕХ ORCID ID 0000-0003-4415-766X

ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
ms.s.karina@mail.ru

Сергей Владимирович СЕРЕБРЯНЫЙ ORCID ID 0009-0003-3739-0196

аспирант кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия
sevebroserge@yandex.ru

Иван Анагольевич ДОБРЫНИН ORCID ID 0009-0005-0404-1066

магистр кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Россия
ivandobrynin075@gmail.com

Максим Сергеевич САВИНОВ ORCID ID 0009-0009-0996-3165

аспирант кафедры ядерной медицины (№ 85) Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, Россия
MSSavinov@terphi.ru

Даниил Игоревич ЦЕЛИКОВ ORCID ID 0009-0002-6454-9353

аспирант кафедры ядерной медицины (№ 85) Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, Россия
DITselikov@terphi.ru

Сергей Михайлович КЛИМЕНТОВ ORCID ID 0000-0002-3632-4096

к.ф.-м.н., заместитель директора Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Москва, Россия
SMKlimentov@terphi.ru

Юрий Андреевич СЕРГЕЕВ ORCID ID 0000-0002-6183-2586

к.м.н., врач-стоматолог-ортопед, ассистент кафедры фармакологии, Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь, Россия
serg_yuriy@mail.ru

Вазген Михайлович АВАНИСЯН ORCID ID 0000-0002-0316-5957

врач-стоматолог, ординатор 2 года обучения, Ставропольский государственный медицинский университет, г. Ставрополь, Россия
avanvaz@yandex.ru

Адрес для переписки: Юрий Андреевич СЕРГЕЕВ

355003, г. Ставрополь, ул. Мира, 310

+7 (906) 4401889

serg_yuriy@mail.ru

Образец цитирования:

Мурзабеков А. И., Салех К. М., Серебряный С. В., Добрынин И. А., Савинов М. С., Целиков Д. И., Климентов С. М., Сергеев Ю. А., Аванисян В. М. СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ИХ ПЕРВИЧНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ В КОСТНОЙ ТКАНИ. Проблемы стоматологии. 2024; 2: 127-134.

© Морозова В.В. и др., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-2-127-134

Поступила 30.05.2024. Принята к печати 01.07.2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-2-127-134

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF THE MICRORELIEF OF THE SURFACE OF DENTAL IMPLANTS ON ITS PRIMARY STABILITY IN VARIOUS TYPES OF BONE TISSUE

Murzabekov A.I.¹, Salekh K.M.², Serebryanyy S.V.², Dobrynin I.A.³, Savinov M.S.⁴, Tselikov D.I.⁴, Klimentov S.M.⁴, Sergeev Yu.A.⁵, Avanisyan V.M.⁵

¹ Central Clinical Hospital with a Polyclinic of the Office of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia

² Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

³ National Research Technological University «MISIS», Moscow, Russia

⁴ National Research Technical University «MEPhI», Moscow, Russia

⁵ Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia

Annotation

The relevance. Dental implants are widely used in dentistry to restore the dentition. The primary stability of the implant plays a key role in the successful osseointegration and long-term functionality of the implant. The study of the effect of the microrelief of the implant surface on their primary stability of bone tissue is of great practical importance, as it can help determine the optimal characteristics of the implant surface to achieve the best results during its installation. **The aim** is to evaluate the effect of the micro-roughness of the surface of dental implants on the torque and their primary stability. **Materials and methods.** The study included the use of 223 dental implants with a diameter of 4.0 mm, a length of 10 mm with the same geometry. The studied samples corresponded to the geometry of the IRIS LIKO-M implant (LLC NPK Likostom, Russia). The implants were processed by 3 different methods and installed in polyurethane blocks imitating bone tissue of the second type D2. To determine the force (torque) during implant installation, a Venton M3 physiodispenser (China) was used; implant stability (ISQ) after installation was evaluated by a Penguin PFA device (Sweden). Statistical analysis of the data was carried out using the Kruskal–Wallis criterion and the posteriori Dunn criterion. **The results of the study.** The study showed that groups 2 (acid etching), 3 (laser treatment), 4 (control sample) have a normal distribution of torque and ISQ values, while group 1 (plasma electrolytic oxidation) does not correspond to a normal distribution. The Kruskal–Wallis test revealed statistically significant differences between the groups in terms of torque and stability (ISQ). Dunn's a posteriori test showed statistically significant differences in torque between groups 1 and 4, 2 and 4, 3 and 4, as well as statistically significant differences in ISQ between groups 2 and 4, 3 and 4. **Conclusions.** The surface characteristics of the implants do not have a statistically significant effect on the primary stability determined by the torque and ISQ indicators.

Keywords: dental implants, microrelief, primary stability, torque, implant surface, immediate loading

The authors declare no conflict of interest.

Ahmed I. MURZABEKOV ORCID ID 0000-0002-0178-5351

Oral Surgeon, Head of the Center for Medical Care for Dental Diseases, Central Clinical Hospital with a Polyclinic of the Office of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia
ahmedckb@yandex.ru

Karina M. SALEKH ORCID ID 0000-0003-4415-766X

Teaching Assistant of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
salekh_km@pfur.ru

Sergey V. SEREBRYANYY ORCID ID 0009-0003-3739-0196

Postgraduate Student of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia
serebroserge@yandex.ru

Ivan A. DOBRYNIN ORCID ID 0009-0005-0404-1066

Master of the Department of Materials Science of Semiconductors and Dielectrics, National Research Technological University «MISIS», Moscow, Russia
ivandobrynin075@gmail.com

Maxim S. SAVINOV ORCID ID 0009-0009-0996-3165

Postgraduate Student of the Nuclear Medicine Department (No. 85) of Engineering Physics Institute for Biomedicine of National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia
+7 (926) 0188879
MSSavinov@mephi.ru

Daniil I. TSELIKOV ORCID ID 0009-0002-6454-9353

Postgraduate Student of the Nuclear Medicine Department (No. 85) of Engineering Physics Institute for Biomedicine of National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia
DITselikov@mephi.ru

Sergei M. KLIMENTOV ORCID ID 0000-0002-3632-4096

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director of Engineering Physics Institute for Biomedicine of National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia
SMKlimentov@mephi.ru

Yuri A. SERGEEV ORCID ID 0000-0002-6183-2586

PhD in Medical Sciences, Prosthodontist, Assistant of the Department of Pharmacology, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia
serg_yuriy@mail.ru

Vazgen M. AVANISYAN ORCID ID 0000-0002-0316-5957

Dentist, 2nd year Resident, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia
avanvaz@yandex.ru

Correspondence address: Yuri A. SERGEEV

Str. Mira, 310, Stavropol, Russia, 355003

+7 (906) 4401889

serg_yuriy@mail.ru

For citation:

Murzabekov A.I., Salekh K.M., Serebryanyy S.V., Dobrynin I.A., Savinov M.S., Tselikov D.I., Klimentov S.M., Sergeev Yu.A., Avanisyan V.M. COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF THE MICRORELIEF OF THE SURFACE OF DENTAL IMPLANTS ON ITS

PRIMARY STABILITY IN VARIOUS TYPES OF BONE TISSUE. *Actual problems in dentistry.* 2024; 2: 127-134. (In Russ.)

© Murzabekov A.I. et al., 2024

DOI: 10.18481/2077-7566-2024-20-2-127-134

Received 30.05.2024. Accepted 01.07.2024

Введение

На текущий момент времени определение «торк установки» сыскало широкий интерес в практической дентальной имплантологии, обозначая момент силы, применяемый для фиксации дентального имплантата, так называемую механическую стабильность, создающую условия для последующей остеоинтеграции.

Учитывая полезную значимость данного явления, достижение первичной механической стабильности позволяет сказать об отсутствии микродвижений; в случае даже минимально выраженных смещений конструкции от 100 до 150 мкм происходит нарушение процесса взаимного структурно-функционального единства поверхности имплантата и костной ткани, что может оказать существенное влияние на околоимплантатное ремоделирование кости, с формированием фиброзной ткани, ее инкапсуляцией и дезинтеграцией имплантата в будущем. В связи с этим торк и его параметры являются определяющими при установке имплантата и непосредственно влияют на остеоинтеграционный процесс [1, 2].

Исходящим вопросом становится понимание влияния силы торка на процесс репарации костной ткани после установки дентального имплантата, а в частности, то, какая минимальная сила торка требуется для получения эффективных результатов и первичной стабильности дентального имплантата при интеграции его в заживленную и постэкстракционную костную лунку и при осуществлении протокола немедленной нагрузки. Допустимыми и не менее важными становятся клинические подходы при выборе торка и изменение показателей механической стабильности при его увеличении, с определением долгосрочного прогноза функционирования титановой опоры.

Первичная и вторичная стабильность имплантатов

Стойкое восприятие механической стабильности или первичной стабильности дентальных имплантатов обеспечивается посредством интеграции их в костной ткани при отсутствии существенных микродвижений. Важно учитывать, что достижение такого эффекта должно определяться такими характеристиками костной ткани, как плотность, процентным соотношением контакта в структуре кость — имплантат; ещё это зависит от геометрии имплантата, его микродизайна, а также значений торка в момент интеграции и особенностей хирургического протокола в момент осуществления остеоотомии. Вторичная стабильность является не менее важным аспектом в формировании понятия «остеоинтеграция», в котором предопределен процесс остеогенеза вокруг дентального имплантата [3, 4].

Эффект микродвижений имплантата

Для восстановления и сращения дефектных фрагментов сломанной кости необходимо иметь представление о теории деформации, при которой подобное

становится возможным при отсутствии или минимуме любого вида движений. Нарушение процесса остеогенеза возможно только при смещении костных сегментов, при котором происходит дегенерация тканевой (костной) пролиферации, разрушаются клеточные конгломераты, деструктурируются костные балки и кровеносные сосуды, что стимулирует остеокласты; происходит резорбция в смежных областях костной ткани, и как результат — формирование микродвижений и дезинтеграции.

Схожая ситуация становится возможной при дефиците параметров стабильности. Так, Kotsu M. и соавторы отмечают, что достижение совершенной остеоинтеграции зависит не от показателей торка, а только от отсутствия микродвижений. Подтверждая данную гипотезу, авторы интегрировали собакам в область остеоотомии дентальные имплантаты, по размерам превышающие титановые конструкции, попутно стабилизируя имплантаты при помощи фиксирующих пластин для ограничения непосредственного контакта с костной тканью. Вопреки этому, имплантаты интегрировались успешно, что подтвердило факт, что первичная стабильность является определяющей для исключения микродвижений [17].

Однако, несмотря ни на что, величина торка по-прежнему считается основным критерием механической (первичной) стабильности имплантата. В связи с этим важно иметь представление о том, какой торк рекомендован в разнообразии клинических ситуаций (в частности, при репарации гребня, в условиях немедленного протокола при одномоментной интеграции имплантатов). До сегодняшнего дня параметр гранично минимальных значений уровня торка, который обеспечивает первичную стабильность, не определен. Trisi P. и соавторы провели сравнительную оценку минимальных показателей торка (10 Нсм) и максимальных (110 Нсм) при интеграции имплантатов овцам [18]. По прошествии 6 месяцев имплантаты, установленные при минимальных значениях торка, имели высокие показатели стабильности конструкции в сравнении с теми, что устанавливались при максимальных. Различие показателей торка в 10 Нсм и 110 Нсм составляла 69,25 и 68,25 ISQ, а значение торка при изъятии конструкции — 40 Нсм и 61,33 Нсм соответственно. Стоит также учитывать соотношение контакта кость — имплантат, которое в данном случае составило 44,9% в условиях минимального торка и 50,29% при максимуме [6].

Значения торка, определяющие эффективную интеграцию в области здорового альвеолярного гребня, обусловлены качеством костной ткани, макро- и микродизайна имплантата и методики остеоотомии. В недавнем исследовании Venic и соавторов отмечен оптимальный диапазон торка в пределах от 20 Нсм до 45 Нсм. В свою очередь, Atieh M.A. и соавторы считают, что начальная величина торка должна составлять порядка 49,7 Нсм, а Grandi предложил увеличить текущий диапазон

до 30–100 Нсм со средним показателем 65 Нсм [7], основываясь на информации о том, что, помимо микротрещин и микроразрывов костной структуры, возникающих при формировании ложа имплантата, остеоденсификация также служит одним из факторов, стимулирующих остеокластогенез, что в дальнейшем запускает дифференцировку остеобластов; это является необходимым компонентом остеоинтеграции имплантата. Также Kotsakis G.A. и коллеги пришли к выводу о положительной обратной связи между качеством интеграции дентального имплантата и моментом силы, примененным при введении дентального имплантата, со значениями до 70 Нсм [8].

Торк при установке конусных дентальных имплантатов, согласно рекомендации Rabel, должен составлять 25,9 Нсм. В соответствии с данными Alsaadi, рекомендуемый показатель варьируется в районе 30 Нсм, а Turkyilmaz & McGlumphу считают, что допустимым значением является диапазон вплоть до 37 Нсм. При установке дентальных имплантатов в исследованиях Norton были распределены показатели; так, в 47 случаях имплантаты устанавливали при торке в 25 Нсм, в 11 случаях — при 20 Нсм, в 7 — при 15 Нсм и в 3 — при 10 Нсм, однако однозначный показатель не утвержден, несмотря на значимое число респондентов, указывающих на значение ≥ 30 Нсм, что не может быть принято за истину в силу ряда особенностей пациентов и локализации области установки.

Величина торка, необходимая для немедленной нагрузки

Немедленный протокол при установке дентальных имплантатов соответствует моменту протезирования на имплантатах спустя 1 неделю после их интеграции. Исходя из этого, логичным в данном случае является достижение максимально допустимых показателей торка для успешной стабильности имплантата в лунке, сразу после экстракции зуба. Это предположение становится значимым в случаях, когда не удалось достичь необходимой поддержки титановой опоры при остеотомии, минимизировав эффект микродвижений. Согласно результатам большого числа научных исследований, провизорные конструкции при немедленном протоколе в условиях полной адентии имели минимальные значения торка, которые варьировали в диапазоне ≥ 30 –35 Нсм, при частичной адентии — ≥ 30 Нсм (от 15 до 45 Нсм). В исследовании Ottoni и соавторов успешная интеграция дентальных имплантатов обеспечивалась при уровне торка ≥ 32 Нсм, тогда как дезинтеграция порядка 90% имплантатов отмечалась при их установке в пределах 20 Нсм. Противоположный вариант клинических исследований демонстрирует, что дентальные имплантаты, подверженные немедленной нагрузке, имели высокие показатели остеоинтеграции при значительно более низких значениях торка. Некоторые авторы стремились обеспечить шинирование интраоссальных

конструкций, интегрированных на низких показателях торка, для повышения стабильности [9].

Walter A. и соавторы показали, что имплантологическое лечение может быть успешным при расширении ложа экспандерами с уровня плотности костной ткани, соответствующей торку в 5–7 Нсм, до показателей плотности, соответствующих 79,4 Нсм [10].

Высокие показатели торка при установке имплантата и их влияние на первичную стабильность

Одной из основных причин дезинтеграции имплантатов является нехватка первичной стабильности. По этой причине ряд исследований свидетельствует о важности высоких показателей торка при установке имплантатов для их лучшей стабильности.

Carг B.R. и соавторы ретроспективно показали, что имплантаты, установленные с низкими значениями момента силы, продемонстрировали в 14 раз больший процент неудач в сравнении с аналогичными, введенными с усилиями 30 Нсм и более [1]. Liu Q. и коллеги пришли к таким же выводам: отсутствие погружения и недостаточный торк ведут к неудачам и отсутствию остеоинтеграции [11].

Верификация данной гипотезы обеспечивалась исследованием Falco A. и соавт., которые интегрировали 120 интраоссальных опор в костную ткань крупного рогатого скота, дифференцированную в соотношении плотности, при этом были выбраны различные силы торка в диапазоне от 20 до 100 Нсм. По их данным, повышение пиковых значений торка позволяет минимизировать влияние микродвижений, наиболее выраженных в случае с костной тканью мягкой плотности. При достижении показателей в 45 Нсм различий в объеме микродвижений практически не отмечалось, что подтверждает зависимость минимизации эффекта микродвижений при увеличении торка, но стоит отметить, что данный результат не был единым в области всех имплантатов и наблюдался не при всех методиках их установки.

В частности, при высокой плотности костной ткани повышение пиковых значений не создает дополнительных преимуществ в сравнении с низкой плотностью костной ткани при аналогичных условиях. В таком случае незначительное увеличение в костной ткани низкой плотности является эффективным процессом с уменьшением числа микродвижений; для достижения схожей цели необходимо также использовать имплантаты конусной формы, конструкция которых позволяет достичь высоких показателей стабильности титановой опоры [6].

Gehrke S.A. и коллеги, измеряя показатель ISQ, определили, что показатель торка не всегда коррелировал с повышением цифрового значения первичной стабильности сразу после введения имплантата, и пришли к выводу, что на показатели ISQ в значительной степени влияют особенности макродизайна

имплантата, такие, как его длина, диаметр и форма резьбы [5].

Результаты чрезмерно высоких показателей торка

Показатели торка 40–45 Нсм, являясь высокими, могут спровоцировать деструкцию костной ткани, нивелируя процесс микроциркуляции. Такого рода эффект способствует возникновению некроза с последующей дезинтеграцией имплантата. Для определения этого взаимоотношения Falco A. и коллеги оценивали показатели торка в челюстных костях овец и сделали вывод, что высокие показатели (порядка 150 Нсм) не влияют на процесс остеогенеза и формирование некроза, а как следствие — и на дезинтеграцию имплантата [6].

Увеличение торка инициировало формирование значительного числа микротрещин, которые подвергались репарации спустя 4 недели после установки дентального имплантата. Однако экспериментальные данные в таком случае сложно экстраполировать на человека, что является основной проблемой верификации данного предположения. В свою очередь, Khayat были проведены исследования в двух группах пациентов; группы разделяли в зависимости от величины торка, где контрольной группе устанавливали имплантаты при значениях в диапазоне от 30 до 50 Нсм, а опытной — от 70 Нсм до 176 Нсм. В опытной группе, по мнению авторов, признаков нарушения остеоинтеграции не отмечалось, в сравнении с контрольной. В текущий момент времени, основываясь на огромном пуле исследований, можно свидетельствовать о клинически применимых показателях торка, превышающих либо равных 50 Нсм, при которых развитие резорбции костной массы возникает сравнительно редко [12].

Ramesh R. и соавторы с использованием методов гистологического исследования обнаружили возможность возникновения остеонекроза плотной кости даже при введении имплантата с усилием порядка 35–50 Нсм, что может натолкнуть на мысль о целесообразности использования высоких торков в изначально плотный тип кости [13].

Особенности низких показателей стабильности имплантата и способы их коррекции

Интеграция дентальных имплантатов, как ранее было обозначено, зависит от большого числа факторов. Суммируя сказанное, дентальные имплантаты, установленные при низком торке, являются своеобразными «волчками». Такое возможно, когда супраконструкции не прилегают к боковым стенкам и прокручиваются в случае полной посадки в постэкстракционную лунку. Опоры такого рода обладают слабой остеоинтеграцией, но не все имеют клинически негативный исход.

Walker в исследовании, осуществленном на протяжении 3-х лет, оценивал возможность достижения высокого торка (15 Нсм). По его мнению, кумулятивный показатель выживаемости дентальных имплантатов близок к 90%, а при торке в 30 Нсм выжива-

емость составляет 96% и более. Аналогичное по дизайну исследование Rodrigo предлагает классификацию дентальных имплантатов по степени их стабильности. Они были разделены на стабильные (уровень выживаемости 99,1%) и нестабильные (выживаемость не более 94,1%) [13].

Создание первичной стабильности обеспечивается посредством углубления участка остеотомии, выбором более широкого по диаметру имплантата при условии значительного объема костной ткани. Иногда решение данного вопроса сводится к проведению аугментации и конденсации кости перед инсталляцией имплантата. В ряде случаев возможно достижение схожего эффекта при применении сверл малого размера для уплотнения и конденсации кости, которая окружает конструкцию, стабилизируя ее.

Возникновение «волчка» не дает возможности работать по немедленному протоколу, из-за чего достижение высоких показателей остеоинтеграции возможно только по прошествии 3–6 месяцев. Покрытые гидроксипатитом имплантаты в исследовании Greenstein G. и соавт. демонстрируют высокие показатели выживаемости (91,7%) в сравнении с другими имплантатами без покрытия (70,0%) [19]. Balshi считает, что имплантаты с выраженным микродизайном характеризуются значительно более высокой выживаемостью, что предполагает наличие связи между поверхностью имплантата и первичной стабильностью [20]. Однако консенсус в отношении данной проблемы не достигнут; вследствие этого предполагается, что морфология поверхности существенного влияния на первичную стабильность не оказывает. Без сомнения, данный вопрос открывает перспективы для дальнейших исследований.

Wach T. и коллеги показали повышенную вероятность убыли костной массы, также связанной со стабильностью имплантата при введении имплантата с усилием более 40 Нсм, что было особенно актуально для переднего отдела нижней челюсти, однако не все авторы представили схожие результаты. Например, Roca-Millan E. и соавторы показали отсутствие убыли кости вне зависимости от показателей момента силы при введении имплантата [14, 15].

Цель: оценить влияние микрошероховатости поверхности дентальных имплантатов на торк при их установке в костную ткань 2 типа и их первичную стабильность.

Материалы и методы

Поверхности дентальных имплантатов

Исследование включало использование 223 дентальных имплантатов диаметром 4,0 мм, длиной 10 мм с одинаковой геометрией. Исследуемые образцы соответствовали геометрии имплантата ИРИС ЛИКО-М (ООО «НПК Ликостом», Россия). Имплантаты были обработаны 3-мя различными методами: плазменное электролитическое оксидирование (микрошероховатость

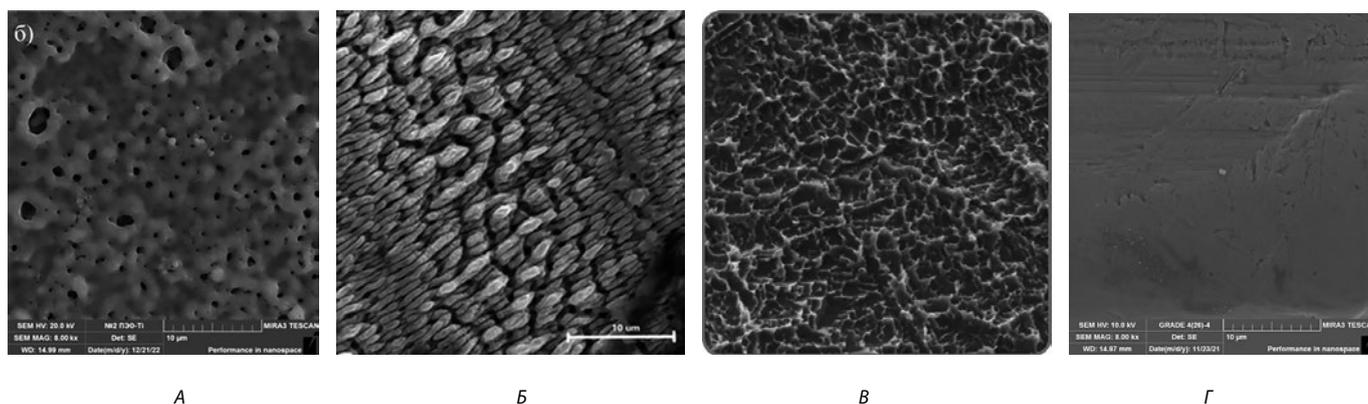


Рис. 1. Электронная микроскопия поверхности исследуемых имплантатов.
А) ПЭО, Б) Лазерная обработка, В) Кислотное травление, Г) Гладкая поверхность
Fig. 1. Electron microscopy of the surface of the implants under study.
A) PEO, B) Laser treatment, C) Acid etching, D) Smooth surface

200 нм — 3 мкм), кислотное травление (1–3 мкм), обработка ультракороткими лазерными импульсами в воздухе (0,5–3,0 мкм, продолговатые ориентированные структуры), а также контрольный образец с гладкой поверхностью.

Имплантаты устанавливали в полиуретановые блоки, имитирующие костную ткань второго типа D2. Для измерения и записи усилия (торка) при установке имплантатов использовали физиодиспенсер Venton M3 (Китай). Измерение стабильности имплантатов (ISQ) после установки производили аппаратом Penguin PFA (Швеция). В качестве контрольного образца был использован имплантат после фрезеровки с гладкой, необработанной поверхностью. На рис. 1 представлены микрофотографии поверхности исследуемых имплантатов, полученные методом электронной микроскопии.

Имплантаты устанавливали в полиуретановые блоки, которые соответствовали 2 типу костной ткани (рис. 2).

Первичная стабильность и резонансно-частотный анализ имплантата

Установку имплантатов осуществляли с использованием углового наконечника и физиодиспенсера Venton M3 (Китай) с регистрацией торка при их установке (рис. 3).

Коэффициент стабильности имплантата (ISQ) является объективным мировым стандартом для измерения стабильности имплантатов. Клинический диапазон ISQ обычно составляет 55–80. Более высокие значения обычно наблюдаются в нижней челюсти. Шкала ISQ имеет нелинейную корреляцию с микромобильностью. На основе исследований, опубликованных в 1400 научных статьях, было установлено, что высокую стабильность имеют имплантаты с ISQ >70, среднюю — имплантаты с ISQ 60–69, низкую стабильность — имплантаты с ISQ < 60. Если начальное значение ISQ высокое, небольшое снижение стабильности обычно нивелируется со временем. Значительное снижение стабильности следует воспринимать как предупрежда-

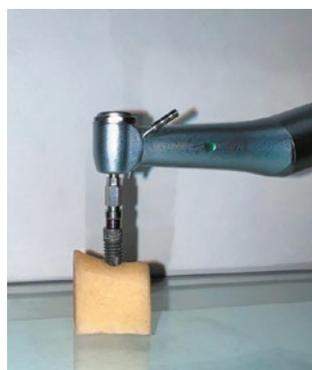


Рис. 2. Полиуретановые блоки, имитирующие костную ткань типа D2 с кортикальным слоем
Fig. 2. Polyurethane blocks imitating D2 type bone tissue with a cortical layer



Рис. 3. Физиодиспенсер Venton M3
Fig. 3. Venton M3 Physiodispenser

дающий знак. Ожидается, что более низкие значения становятся выше после периода заживления. Обратное может быть признаком неудачной установки имплантата, и следует обдумать соответствующие действия.

Статистический анализ данных

Для имплантатов каждой группы измеряли торк при установке и показатель ISQ сразу после. Измеряли переменные среднего значения, медианы и стандартного отклонения. Нормальность переменной проверяли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для определения статистических различий между группами применялся критерий Краскела–Уоллиса, а для обнаружения различий между группами использовался апостериорный критерий Данна.

Результаты исследования

Для определения средних значений показателей торка и ISQ было использовано программное обеспечение Microsoft Excel. Данные этих величин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения показателей торка и ISQ

Table 1. The average values of the torque and ISQ indicators

| | Торк | ISQ |
|--------------------------|-------|-------|
| Г1 (ПЭО) | 41,20 | 76,20 |
| Г2 (Кислотное травление) | 38,75 | 75,25 |
| Г3 (Лазерная обработка) | 44,00 | 75,25 |
| Г4 (Гладкий имплантат) | 32,10 | 80,40 |

Таблица 2

Результаты теста Шапиро–Уилка. Торк

Table 2. Shapiro–Wilk Test Results. Torque

| | <i>H</i> | <i>P</i> |
|--------------------------|----------|----------------------------|
| Г1 (ПЭО) | 0,8732 | 0,0002 |
| Г2 (Кислотное травление) | 0,5905 | 1,7316*10 ^{^(-9)} |
| Г3 (Лазерная обработка) | 0,6806 | 2,7973*10 ^{^(-8)} |
| Г4 (Гладкий имплантат) | 0,9021 | 2,1014*10 ^{^(-5)} |

Таблица 3

Результаты теста Шапиро–Уилка. ISQ

Table 3. Shapiro–Wilk Test Results. ISQ

| | <i>H</i> | <i>P</i> |
|--------------------------|----------|----------|
| Г1 (ПЭО) | 0,8754 | 0,0002 |
| Г2 (Кислотное травление) | 0,8438 | 5,2801 |
| Г3 (Лазерная обработка) | 0,7913 | 2,9077 |
| Г4 (Гладкий имплантат) | 0,7404 | 2,3511 |

Таблица 4

Статические значения торка по тесту Данна

Table 4. Static values of the torque according to the Dunn test

| Апостериорный теста Данна торк | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 |
| Г1 (ПЭО) | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,69E-08 |
| Г2 (Кислотное травление) | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,43E-08 |
| Г3 (Лазерная обработка) | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 5,63E-10 |
| Г4 (Гладкий имплантат) | 1,69E-08 | 1,43E-08 | 5,63E-10 | 1,00E+00 |

Таблица 5

Статические значения ISQ по тесту Данна

Table 5. Static ISQ values according to the Dunn test

| Апостериорный теста Данна ISQ | | | | |
|-------------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Г1 | Г2 | Г3 | Г4 |
| Г1 (ПЭО) | 1 | 2,08E-01 | 9,18E-02 | 3,37E-03 |
| Г2 (Кислотное травление) | 0,208463 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 2,76E-10 |
| Г3 (Лазерная обработка) | 0,091796 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 2,58E-11 |
| Г4 (Гладкий имплантат) | 0,003367 | 2,76E-10 | 2,58E-11 | 1,00E+00 |

Для определения нормальности распределения выборок для каждой группы был проведен тест Шапиро–Уилка для значений торка (табл. 2) и значений ISQ (табл. 3). Полученные значения ($p > 0,05$) в группах 2, 3, 4 указывают на нормальность распределения в группах и для значений торка, и для значений ISQ. В группе 1 отсутствует нормальное распределение и для торка, и для ISQ.

Был применен тест Краскела–Уоллиса для определения статистических различий между группами по уровню ISQ и торка. Полученные значения $p = 1,8002 \cdot 10^{(-15)}$ ($H = 84,3267$), $p = 1,1489 \cdot 10^{(-13)}$ ($H = 75,4741$) соответственно для ISQ и торка указывают на присутствие статистически значимых различий между группами. Согласно результатам апостериорного теста Данна, проводимого для определения групп, между которыми имеются статистически значимые различия, статистически значимые различия торка есть между группами 1 и 4, 2 и 4, 3 и 4 (табл. 4), а статистически значимые различия ISQ — между группами 2 и 4, 3 и 4 (табл. 5). Цветом выделены пересечения групп, между которыми имеются статистические различия.

Выводы

Исходя из результатов тестов, проведенных для групп с различными поверхностями имплантатов и показателей первичной стабильности (торк и ISQ) в различных группах, можно сделать следующие выводы: группы имплантатов с различными поверхностями не показали статистически значимого влияния на первичную стабильность, что было определено измерениями торка и ISQ. Однако статистически значимые различия были выявлены при сравнении этих групп с контрольной группой (Г4, гладкая поверхность). Таким образом, поверхностные характеристики имплантатов могут оказывать влияние на первичную стабильность только при сравнении с определенными контрольными параметрами, а между собой эти параметры не имеют статистически значимых различий. У гладких имплантатов торк при их установке в среднем составил $32,00 \pm 5,10$ Н/см, ISQ — микрошероховатость имплантатов в пределах 1–10 мкм при соблюдении протокола установки обеспечивает торк в пределах $39,00 \pm 5,40$; $39,00 \pm 5,75$; $46,50 \pm 5,00$; для Г1 — Г4 соответственно, и первичную стабильность $76,00 \pm 3,40$; $75,00 \pm 4,75$; $73,50 \pm 3,75$; $78,00 \pm 5,00$, соответствующую высокой по показателю ISQ.

Литература/References

1. Carr B.R., Jeon-Slaughter H., Neal T.W., Gulko J.A., Kolar N.C., Finn R.A. Low Insertional Torque and Early Dental Implant Failure // *J Oral Maxillofac Surg.* – 2022;80(6):1069-1077. doi: 10.1016/j.joms.2022.02.001.
2. Haseeb S.A., Rajendra K., Manual L., Kochhar A.S., Dubey D., Dang G.S. Comparative Evaluation of Implant Stability, Insertion Torque, and Implant Macrogeometry in Different Bone Densities Using Resonance Frequency Analysis // *J Contemp Dent Pract.* – 2021;22(6):665-668. PMID: 34393124.
3. Monje A., Ravidà A., Wang H.L., Helms J.A., Brunski J.B. Relationship Between Primary/Mechanical and Secondary/Biological Implant Stability // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2019;34:s7-s23. doi: 10.11607/jomi.19suppl.g1.
4. Raz P., Meir H., Levartovsky S., Sebaoun A., Beitlitum I. Primary Implant Stability Analysis of Different Dental Implant Connections and Designs-An In Vitro Comparative Study // *Materials (Basel).* – 2022;15(9):3072. doi: 10.3390/ma15093072.
5. Gehrke S.A., Cortellari G.C., de Oliveira Fernandes G.V., Scarano A., Martins R.G., Cançado R.M., Mesquita A.M.M. Randomized Clinical Trial Comparing Insertion Torque and Implant Stability of Two Different Implant Macrogeometries in the Initial Periods of Osseointegration // *Medicina (Kaunas).* – 2023;59(1):168. doi: 10.3390/medicina59010168.
6. Falco A., Berardini M., Trisi P. Correlation Between Implant Geometry, Implant Surface, Insertion Torque, and Primary Stability: In Vitro Biomechanical Analysis // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2018;33(4):824-830. doi: 10.11607/jomi.6285.
7. Atieh M.A., Baqain Z.H., Tawse-Smith A., Ma S., Almoselli M., Lin L., Alsabeeha N.H.M. The influence of insertion torque values on the failure and complication rates of dental implants: A systematic review and meta-analysis // *Clin Implant Dent Relat Res.* – 2021;23(3):341-360. doi: 10.1111/cid.12993.
8. Kotsakis G.A., Romanos G.E. Biological mechanisms underlying complications related to implant site preparation // *Periodontol 2000.* – 2022;88(1):52-63. doi: 10.1111/prd.12410.
9. Huang C.Y., Wu A.Y., Wu Y.L., Lin C.P., Lung H., Auyeung L. A Retrospective Analysis of Implants with Low Insertion Torque in Immediately Loaded Full-Arch Fixed Prostheses with Corresponding Occlusal Schemes // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2022;37(3):485-493. doi: 10.11607/jomi.9274.
10. Walter A., de la Iglesia F., Winsauer H., Ploder O., Wendl B., Puigdollers Perez A. Evaluation of expansion forces of five pure bone-borne maxillary expander designs anchored with orthodontic mini-implants: An in vitro study // *J Orthod.* – 2023;50(4):335-343. doi: 10.1177/14653125231152502.
11. Liu Q., Yang J., Wang R., Yuan L., Yu K. Dental implant failure rates with low insertion torque with a nonsubmerged surgical approach: A retrospective clinical study // *Clin Implant Dent Relat Res.* – 2023;25(1):118-123. doi: 10.1111/cid.13159.
12. Lemos C.A.A., Verri F.R., de Oliveira Neto O.B., Cruz R.S., Luna Gomes J.M., da Silva Casado B.G., Pellizzer E.P. Clinical effect of the high insertion torque on dental implants: A systematic review and meta-analysis // *J Prosthet Dent.* – 2021;126(4):490-496. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.06.012.
13. Ramesh R., Sasi A., Mohamed S.C., Joseph S.P. "Compression Necrosis" - A Cause of Concern for Early Implant Failure? Case Report and Review of Literature // *Clin Cosmet Investig Dent.* – 2024;16:43-52. doi: 10.2147/CCIDE.S453798.
14. Rodrigo D., Aracil L., Martín C., Sanz M. Diagnosis of implant stability and its impact on implant survival: a prospective case series study // *Clin Oral Implants Res.* – 2010;21(3):255-261. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01820.x.
15. Wach T., Skorupska M., Trybek G. Are Torque-Induced Bone Texture Alterations Related to Early Marginal Jawbone Loss? // *J Clin Med.* – 2022;11(20):6158. doi: 10.3390/jcm11206158.
16. Roca-Millan E., González-Navarro B., Domínguez-Mínguez J., Mari-Roig A., Jané-Salas E., López-López J. Implant insertion torque and marginal bone loss: A systematic review and meta-analysis // *Int J Oral Implantol (Berl).* – 2020;13(4):345-353. PMID: 33491366.
17. Kotsu M., Urbizo Velez J., Bengazi F. et al. Healing at implants installed from ~ 70- to < 10-Ncm insertion torques: an experimental study in dogs // *Oral Maxillofac Surg.* – 2021;25(1):55-64. doi:10.1007/s10006-020-00890-3
18. Trisi P., Todisco M., Consolo U., Travaglini D. High versus low implant insertion torque: a histologic, histomorphometric, and biomechanical study in the sheep mandible // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2011;26(4):837-849. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21841994/>
19. Greenstein G., Cavallaro J. Implant Insertion Torque: Its Role in Achieving Primary Stability of Restorable Dental Implants // *Compend Contin Educ Dent.* – 2017;38(2):88-96. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28156122/>
20. Balshi S.F., Wolfinger G.J., Balshi T.J. Analysis of 164 titanium oxide-surface implants in completely edentulous arches for fixed prosthesis anchorage using the pterygomaxillary region // *Int J Oral Maxillofac Implants.* – 2005;20(6):946-952. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16392353/>