

## СТАБИЛЬНОСТЬ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ОСТЕОИНТЕГРАЦИИ ПО ДАННЫМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Остапович Алексей Андреевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии  
Белорусского государственного медицинского университета, Минск

Ивашенко Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор кафедры ортопедической стоматологии  
Белорусского государственного медицинского университета, Минск

Дрик Федор Григорьевич, кандидат технических наук, кафедра ортопедической стоматологии  
Белорусского государственного медицинского университета, Минск

Шпак Иван Ильич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленной электроники  
Белорусского государственного университета радиоэлектроники, Минск

Aliaksei Astapovich, PhD, Associate Professor of the Department of Prosthetic Dentistry of the Belarusian State Medical University, Minsk  
Sergei Ivashenka, MD, Professor of the Department of Prosthetic Dentistry of the Belarusian State Medical University, Minsk  
Fjodor Drik, PhD, Associate Professor of the Department of Prosthetic Dentistry of the Belarusian State Medical University, Minsk  
Ivan Shpak, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Electronics of the Belarusian State University of Radio Electronics, Minsk

Stability of dental implants during their osseointegration according to holographic interferometry data

**Цель.** Исследовать стабильность дентальных имплантатов в процессе их остеоинтеграции методом голографической интерферометрии.

**Materials and methods.** Экспериментальным животным (кроликам шиншилла) сбоку от центральных резцов нижней челюсти устанавливали винтовой дентальный имплантат 3x5 мм из титана GRADE4 с пассивной резьбой и гладкой поверхностью. После окончания эксперимента их выводили из опыта под наркозом на 1-е, 10-е, 30-е, 45-е, 60-е и 90-е сутки. Для оценки стабильности имплантатов в процессе их остеоинтеграции брали фрагмент нижней челюсти опытных животных с дентальным имплантатом. Стабильность дентальных имплантатов исследовали методом голографической интерферометрии на встречных пучках при частоте лазера – 0,632 Нм. **Заключение.** Установлено, что стабильность дентальных имплантатов изменяется в процессе остеоинтеграции и нормализуется через 90 суток после дентальной имплантации. Через 90 суток после операции дентальной имплантации соединение «кость – имплантат» воспринимает нагрузки до 1050 грамм. Нагружать дентальные имплантаты (изготавливать постоянную ортопедическую конструкцию с опорой на дентальном имплантате) следует не ранее, чем через 3 месяца после дентальной имплантации.

**Ключевые слова:** дентальная имплантация, костная ткань, остеоинтеграция, стабильность, голографическая интерферометрия.

Современная стоматология. – 2021. – №2. – С.

**Objective.** To investigate the stability of dental implants in the process of their osseointegration by the method of holographic interferometry.

**Materials and methods.** Experimental animals (chinchilla rabbits) were placed on the side of the central incisors of the lower jaw with a 3x5 mm screw dental implant made of GRADE4 titanium with a passive thread and a smooth surface. After the end of the experiment, they were removed from the experiment under anesthesia on the 1st, 10th, 30th, 45th, 60th and 90th days. To assess the stability of the implants during their osseointegration, a fragment of the lower jaw of experimental animals with a dental implant was taken. The stability of dental implants was investigated by the method of holographic interferometry on colliding beams at a laser frequency of 0.632 Nm.

**Conclusion.** It was found that the stability of dental implants changes in the process of osseointegration and normalizes 90 days after the dental implantation operation. 90 days after the dental implantation operation, the bone-implant connection takes up loads of up to 1050 grams. Dental implants should be loaded (to make a permanent orthopedic structure supported on a dental implant) no earlier than 3 months after the dental implantation operation.

**Keywords:** dental implantation, bone tissue, osseointegration, stability, holographic interferometry.

Sovremennaya stomatologiya. – 2021. – N2. – P.

Использование дентальных имплантатов у пациентов с частичной или полной адентией представляется перспективной альтернативой изготовлению съемных конструкций и мостовидных протезов с опорой на зубах. При этом одним из факторов, ограничивающих возможности протезирования с опорой на дентальных имплантатах, является их длительная стабильность. Под стабильностью понимают способность

костной ткани на поверхности дентального имплантата воспринимать нагрузку, которая прикладывается к имплантату. Стабильность зависит от срока и качества остеоинтеграции, величины нагрузки на имплантат, типа костной ткани, дизайна дентального имплантата [1, 11].

Известно, что стабильность дентальных имплантатов в процессе их остеоинтеграции делится на первичную и вторичную. Первичная, или механическая, стабиль-

ность достигается за счет соединения дентального имплантата с костной тканью. Для достижения высоких показателей первичной стабильности необходимы высокая плотность костной ткани, качественное выполнение хирургических манипуляций при остеотомии, максимальный контакт поверхности дентального имплантата с костной тканью. Данный показатель в процессе остеоинтеграции дентального имплантата снижается и

достигает минимальных значений на пике остеокондукции [5, 11]. Именно по этой причине многие авторы подвергают сомнению первичную нагрузку дентальных имплантатов. Возможны такие осложнения, как дезинтеграция дентальных имплантатов, их миграция в верхнечелюстную пазуху при операции синус-лифтинга. Также не рекомендуется проводить одномоментную операцию синус-лифтинга при дефиците кости дна пазухи менее 4 мм [8].

Вторичная или биологическая стабильность дентального имплантата обеспечивается в период формирования молодой костной ткани на поверхности дентального имплантата и достигает максимальных значений после завершения структурной перестройки костной ткани (через три – четыре месяца после операции двухэтапной дентальной имплантации). В дальнейшем стабильность дентальных имплантатов изменяется незначительно и зависит от нагрузки на дентальный имплантат и общих процессов, протекающих в организме (эндокринные заболевания, беременность, COVID-19, прием медикаментов влияют на состояние костной ткани) [8, 9].

Определить стабильность дентальных имплантатов можно *in vivo* и *in vitro*. Для врачей-стоматологов-хирургов и ортопедов наиболее доступным способом является измерение торка с помощью динамометрического ключа. Перед установкой формирователя десневой манжетки или временной коронки врач-стоматолог пытается выкрутить дентальный имплантат при усилении до 40 Нсм. Отсутствие движений дентального имплантата свидетельствует о высокой его стабильности [7].

Иные методы клинического определения стабильности дентальных имплантатов требуют приобретения дополнительного диагностического оборудования. Так, для оценки эффективности остеоинтеграции и определения степени подвижности зубов применяют аппарат Перитест-М (Siemens Gulden Medizintechnik Bensheim, Germany), определяющий прочность крепления и демпфирующий эффект зуба. Основу метода составляет регистрация механических колебаний, конвертированных в электрический импульс. Установле-

но, что чем меньше показатель аппарата, тем имплантат устойчивее. Значения интерпретируются следующим образом:  $\leq 0$  – хорошая стабильность дентального имплантата, от 0 до +9 – нужен клинический контроль,  $> 10$  означает отторжение дентального имплантата [7].

Наиболее достоверным клиническим методом оценки стабильности дентальных имплантатов считается метод частотно-резонансного анализа – RFA-техника. В клинической практике используется прибор «Osstell ISQ™» (Integration Diagnostics, Savedalen, Швеция). Метод основан на регистрации резонансных электромагнитных колебаний имплантата, окружающей кости при воздействии на них электромагнитного поля посредством электронного датчика. Результаты исследования отображаются на дисплее аппарата в виде значения ISQ – коэффициента стабильности имплантата (КСИ). Интерпретация значений:  $< 50$  – недостаточная стабильность; 50–60 – адекватная стабильность; 60–75 – превосходная стабильность;  $> 75$  – ишемия, риск развития некроза кости [5].

Методы определения стабильности дентальных имплантатов *in vitro* применимы для научных исследований и позволяют с высокой точностью описать происходящие процессы. Одним из таких методов является голографическая интерферометрия [2].

**Цель работы** – исследовать стабильность дентальных имплантатов в процессе их остеоинтеграции методом голографической интерферометрии.

#### Материалы и методы

Эксперимент проведен на 30 кроликах породы шиншилла, самцах, статистически не различающихся по весу и возрасту. Животные разделены на 6 групп (по 3 кролика в каждой). В первой группе исследовали качество соединения «кость – имплантат» сразу после установки дентального имплантата, во второй – на 10-е сутки после операции дентальной имплантации, в третьей – на 30-е, в четвертой – на 45-е, в пятой – на 60-е и в шестой – на 90-е сутки.

Всем животным под наркозом тиопентала натрия проводили разрез слизистой оболочки нижней челюсти сбоку от центральных резцов, обеспечивали оперативный доступ к

альвеолярному отростку челюсти. Используя физиодиспенсер с низкой скоростью вращения (800–1500 об./мин.) и интенсивным орошением зоны препарирования физиологическим охлаждающим раствором, пилотным сверлом задавали направление для сверления ложа дентального имплантата. Сверлом соответствующего диаметра создавали ложе для дентального имплантата. Устанавливали зарегистрированный винтовой дентальный имплантат фирмы ООО «Верлайн», 3x5 мм из титана GRADE4 с пассивной резьбой и гладкой поверхностью. Устанавливали заглушку внутрикостной части имплантата, края раны ушивали шовным материалом. Для профилактики воспалительных гнойных осложнений животным однократно внутримышечно вводили 1 200 000 единиц Бициллин-3.

Животные находились на стандартном рационе вивария. После окончания эксперимента их выводили из опыта под наркозом на 10-е, 30-е, 45-е, 60-е и 90-е сутки. При выведении экспериментальных животных 2-й и 3-й групп с другой стороны от уже установленных дентальных имплантатов выполняли операцию дентальной имплантации для исследования процессов, протекающих в первые сутки.

Стабильность дентальных имплантатов исследовали методом голографической интерферометрии на встречных пучках при частоте лазера – 0,632 Нм. С помощью голографической интерферометрии можно с высокой точностью сравнить качество остеоинтеграции дентальных имплантатов в зависимости от сроков с момента операции их установки и проводимых процедур, направленных на повышение качества остеоинтеграции. Голографические интерферограммы получали при возрастающей и убывающей нагрузке. В каждом случае подсчитывали количество интерференционных полос (рис. 1). По суммарному количеству прямых и обратных полос кусочно-непрерывным способом строились графики для каждого образца.

Для проведения исследования нагрузочный стенд переоборудован под гиревые нагрузки (рис. 2). Приемлемой разницей нагрузки принята величина в 150 г.

Результаты исследования обработаны с помощью прикладных программ STATIS-

TICA 6.0 и Microsoft Excel с вычислением средней арифметической величины (M), стандартной ошибки (m), критериев достоверности Стьюдента (t), вероятности достоверности сравниваемых величин (p). Различия рассматривались как достоверные при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение**

В 1-й день после операции дентальной имплантации дентальный имплантат стабилен при невысоких нагрузках. Так, первоначальное число интерференционных полос составило 12 при 150 г, что указывает на высокую способность костной ткани воспринимать нагрузку от дентального имплантата за счет их плотного соединения. При увеличении нагрузки от 150 до 600 г наблюдалось увеличение интерференционных полос от 12 до 17, что указывает на высокое качество соединения дентального имплантата с костной тканью. Дальнейшее увеличение нагрузки привело к уменьшению среднего числа интерференционных полос до 8,4 при 900 г и до 1,4 при 1050 г. Это свидетельствует о несостоятельности соединения «кость – имплантат» при высоких нагрузках сразу после дентальной имплантации.

Очертания кривой при убывающей нагрузке повторяют очертания кривой возрастающей нагрузки, однако среднее число интерференционных полос значительно меньше. Так, при снижении нагрузки до 600 г среднее число интерференционных полос составило 8,6, что

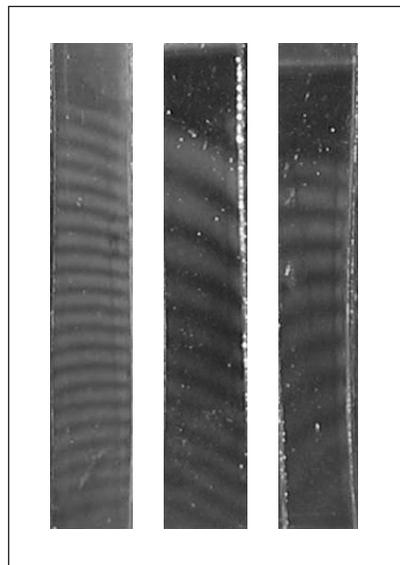


Рис. 1. Голографические интерферограммы с выраженными интерференционными полосами



Рис. 2. Нагрузочный стенд

в 1,97 раза меньше, чем при аналогичной возрастающей нагрузке. Дальнейшее снижение нагрузки привело к уменьше-

нию среднего числа интерференционных полос до 7,2 (рис. 3).

Через 10 суток после операции дентальной имплантации среднее число интерференционных полос значительно уменьшилось при сравнении с их количеством сразу после установки дентального имплантата. Так, при увеличении нагрузки до 450 г среднее число интерференционных полос уменьшилось с 5 до 1,8. При дальнейшем увеличении нагрузки интерференционные полосы не выявлялись. Это указывает на низкую способность костной ткани воспринимать нагрузку от дентального имплантата через 10 суток после его установки.

При снижении нагрузки с 450 до 150 г среднее количество интерференционных полос увеличивается с 0,4 до 1,8, что в 2,78 раза меньше, чем при возрастающей нагрузке (рис. 4).

Через 30 суток после операции дентальной имплантации среднее количество интерференционных полос статистически достоверно не отличалось от их числа в предыдущей группе. При этом при увеличении нагрузки до 900 г среднее число интерференционных полос уменьшилось с 6,2 до 3,2. Дальнейшее увеличение нагрузки до 1050 г снизило среднее число интерференционных полос до 0,4.

Кривая графика убывающей нагрузки отдаленно повторяет очертания графика возрастающей нагрузки. Так, при снижении нагрузки с 1050 до 150 г среднее количество интерференционных полос

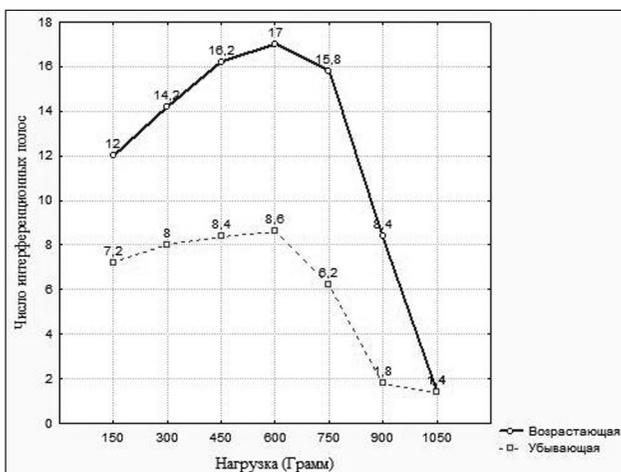


Рис. 3. График стабильности дентального имплантата в 1-й день после операции дентальной имплантации

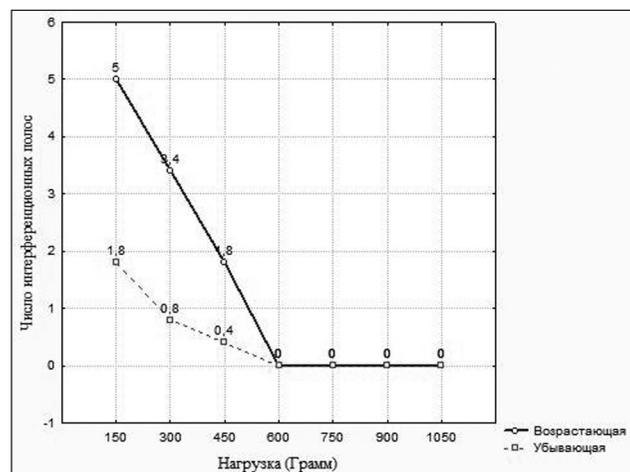


Рис. 4. График стабильности дентального имплантата через 10 суток после операции дентальной имплантации

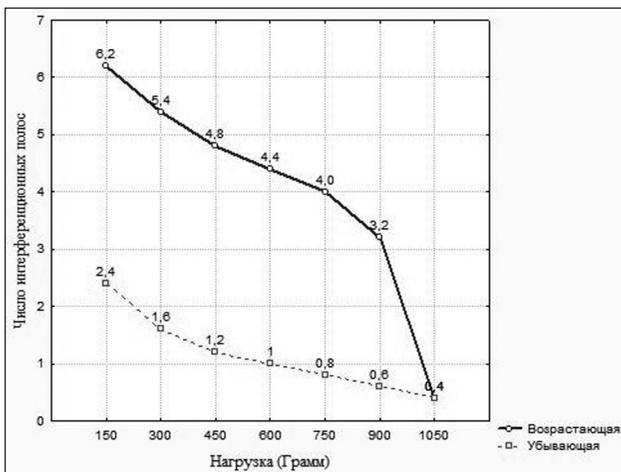


Рис. 5. График стабильности дентального имплантата через 30 суток после операции дентальной имплантации

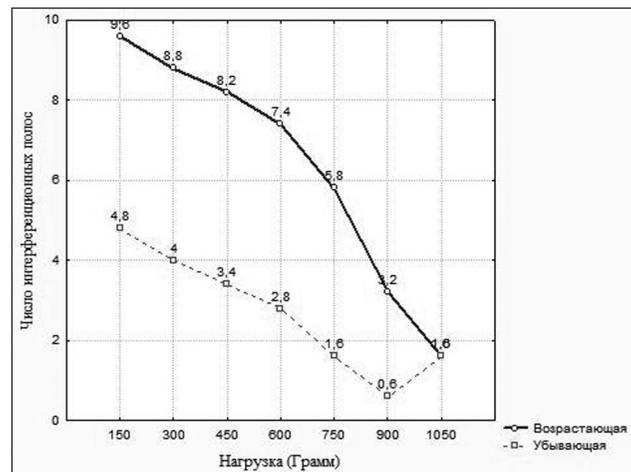


Рис. 6. График стабильности дентального имплантата через 45 суток после операции дентальной имплантации

увеличивается до 2,4, что в 2,58 раза меньше среднего числа интерференционных полос при возрастающей нагрузке.

Полученные значения указывают на улучшение способности костной ткани воспринимать небольшую нагрузку от дентального имплантата при сравнении с группой «10 суток после операции дентальной имплантации» (рис. 5).

Через 45 суток после операции дентальной имплантации кривая способности костной ткани воспринимать нагрузку на дентальный имплантат статистически не отличается от предыдущего случая. При этом незначительно увеличилось среднее число интерференционных полос, что свидетельствует об улучшении соединения «кость – имплантат». Так,

при увеличении нагрузки от 150 до 600 г среднее число интерференционных полос уменьшилось с 9,8 до 7,4. Дальнейшее увеличение нагрузки до 900 г снизило среднее число интерференционных полос до 3,2, а при нагрузке 1050 г среднее число интерференционных полос составило 1,6. График при убывающей нагрузке повторяет график при возрастающей нагрузке. Так, при снижении нагрузки на дентальный имплантат с 1050 до 150 г среднее число интерференционных полос увеличивалось до 4,8, что в 2 раза меньше, чем при возрастающей нагрузке (рис. 6).

Через 60 суток после операции дентальной имплантации среднее число интерференционных полос увеличилось при сравнении с предыдущим случаем. То есть увеличилась способность соеди-

нения «кость – имплантат» воспринимать нагрузку. Так, при увеличении нагрузки до 750 г среднее число интерференционных полос статистически недостоверно уменьшилось с 15,2 до 12. Дальнейшее увеличение нагрузки привело к резкому ослаблению соединения «кость – имплантат» и снижению среднего числа интерференционных полос до 7,8 при 900 г и до 3 при 1050 г. При этом при 900 г среднее число интерференционных полос через 60 суток после дентальной имплантации увеличилось в 2,4 раза по сравнению с средним числом интерференционных полос через 30 и 45 суток после дентальной имплантации.

Кривая графика убывающей нагрузки повторяла кривую графика возрастающей нагрузки, но располагалась

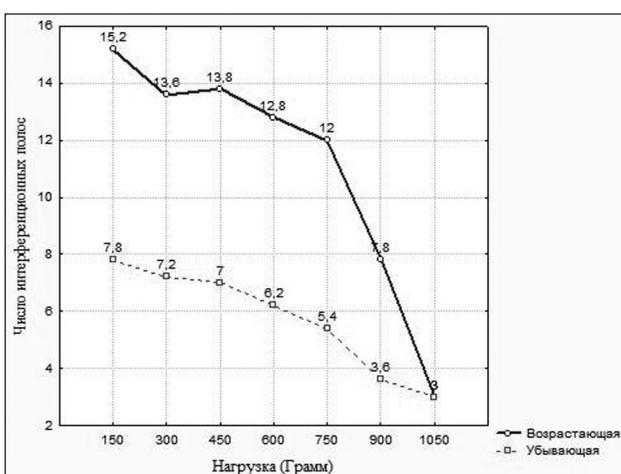


Рис. 7. График стабильности дентального имплантата через 60 суток после операции дентальной имплантации

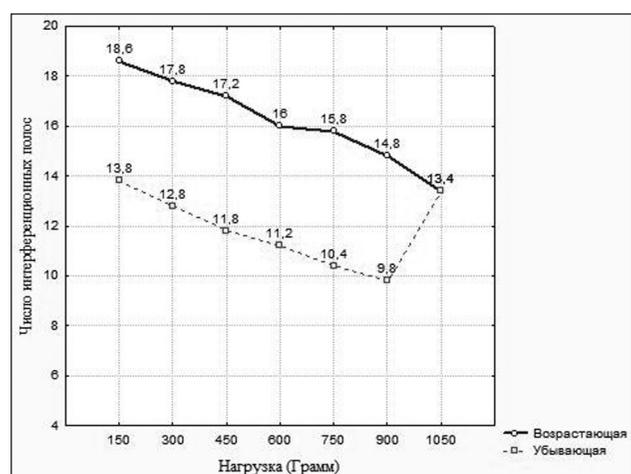


Рис. 8. График стабильности дентального имплантата через 90 суток после операции дентальной имплантации

несколько ниже. Так, при уменьшении нагрузки с 1050 до 150 г среднее число интерференционных полос равномерно увеличилось от 3 до 7,8 (рис. 7).

Через 90 суток после операции дентальной имплантации наблюдалось усиление способности костной ткани на поверхности дентального имплантата воспринимать нагрузку. Это проявлялось в увеличении среднего количества интерференционных полос при малых и высоких нагрузках, при сравнении с предыдущими случаями. Так, при увеличении нагрузки до 600 г среднее число интерференционных полос уменьшилось с 18,6 до 16. Дальнейшее увеличение нагрузки уменьшило среднее число интерференционных полос до 15,8 при 750 г, до 14,8 при 900 г и до 13,4 при 1050 г. При сравнении с группой «60 суток после операции дентальной имплантации» среднее число интерференционных полос увеличилось в 1,2 раза при 150 г нагрузки, в 1,3 раза при 300 г нагрузки, в 1,2 раза при 450 г нагрузки, в 1,3 раза при 600 г нагрузки, в 1,3 раза при 750 г нагрузки, в 1,9 раза при 900 г нагрузки и в 4,5 раза при 1050 г нагрузки (рис. 8).

Таким образом, стабильность дентального имплантата в 1-е сутки после

операции дентальной имплантации возможна при невысоких нагрузках. Высокие нагрузки приводят к резкому снижению качества соединения «кость – имплантат». Через 10 суток после операции дентальной имплантации стабильность дентального имплантата характеризуется низкими значениями уже при нагрузках до 450 г. При нагрузках более 450 г происходит разрушение соединения «кость – имплантат», что негативно влияет на качество последующей остеоинтеграции. Отсутствие стабильности в этот период связано с протекающими вокруг дентального имплантата воспалительными процессами, резорбирующими некротизированную костную ткань. К 30-м суткам после операции дентальной имплантации на поверхности имплантата формируется молодая костная ткань, что способствует улучшению его стабильности при нагрузках 450 г, что недостаточно для полноценного функционирования. Через 45 суток после операции дентальной имплантации стабильность дентального имплантата незначительно усиливается при сравнении с предыдущим случаем. Через 60 суток после операции имплантации дентальный имплантат стабилен при на-

грузках до 600 г. При нагрузках более 600 г качество соединения «кость – имплантат» ненадежное. Средних значений в 70% при малых и высоких нагрузках стабильность дентального имплантата достигает к 90-м суткам после операции дентальной имплантации качество соединения «кость – имплантат» статистически не изменяется при нагрузках до 1050 г.

#### Выводы:

1. Стабильность дентальных имплантатов изменяется в процессе остеоинтеграции и через 90 суток после операции дентальной имплантации достигает значений, при которых возможна нагрузка дентального имплантата.

2. Через 90 суток после операции дентальной имплантации соединение «кость – имплантат» способно воспринимать нагрузки до 1050 г.

3. Через 10 суток после операции дентальной имплантации соединение «кость – имплантат» разрушается при нагрузках более 450 г и плохо выдерживает нагрузки до 450 г.

4. Нагружать дентальные имплантаты следует не ранее, чем через 3 месяца после операции дентальной имплантации. Ранняя нагрузка дентальных имплантатов приведет к нарушению процесса остеоинтеграции.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Grishin P.G., Kalinnikova Ye.A., Savranskiy F.Z., Chigarina S.Ye., Khaykin M.B. Vliyaniye makro- i mikrostruktury poverkhnosti implantatov na protsessy osteointegratsii i stabilizatsii [Influence of the macro- and microstructure of the implant surface on the processes of osseointegration and stabilization]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*, 2020, vol.68, no.4, pp.44–48. (in Russian)
- Gusev M.Ye., Voronin A.A., Gurevich V.S., Isayev A.M., Alekseyenko I.V., Redkorechev V.I. Metody tsifrovoy golograficheskoy interferometri i ikh primeneniye dlya izmereniya nanopere meshcheniy [Methods of digital holographic interferometry and their application for measuring nanodisplacements]. *Nanosistemy: fizika, khimiya, matematika*, 2011, no.1, pp.23–39. (in Russian)
- Zagorskiy V.A., Utyuzh A.S., Yumashev A.V. *Sistemy (bloki) dental'nykh implantatov, ikh stabilizatsiya i fiksatsiya v kostnoy tkani pri raspredelenii nagruzok ot proteznykh konstruksiy: Uchebno-metodicheskoye posobiye* [Systems (blocks) of dental implants, their stabilization and fixation in the bone tissue during the distribution of loads from prosthetic structures]. M., 2018, 54 p. (in Russian)
- Kulakov A.A., Kasparov A.S., Khamrayev T.K., Porfenchuk D.A. Stabil'nost' implantatov s ranney funktsional'noy nagruzkoj [Stability of implants with early functional loading]. *Klinicheskaya stomatologiya*, 2019, vol.90, no.2, pp.50–54. (in Russian)
- Luk'yanenko A.A., Kazantseva I.A. Opyt primeneniya rezonansno-chastotnogo metoda dlya otsenki stabil'nosti i osteointegratsii dental'nykh implantatov [Experience of using the resonant frequency method for assessing the stability and osseointegration of dental implants]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no.4, p.291. (in Russian)
- Mel'nik C.V., Kochiyeru G.P. Nemedlennaya implantatsiya i nemedlennaya

- funktional'naya nagruzka na dental'nyye implantaty [Immediate implantation and immediate functional load on dental implants]. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy*, 2015, vol.5, no.8, pp.1086–1090. (in Russian)
- Mikhailchenko D.V., Makedonova Yu.A., Salyamov Kh.Yu. *Sovremennyye metody diagnostiki postproteticheskikh oslozhneniy pri dental'noy implantatsii* [Modern methods of diagnostics of post-prosthetic complications in dental implantation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*, 2020, vol.74, no.2, pp.72–76. (in Russian)
- Paraskevich V.L. *Dental'naya implantologiya: osnovy teorii i praktiki* [Dental Implantology: Foundations of Theory and Practice]. M.: MIA, 2006, 399 p. (in Russian)
- Jensen O.T. Dental extraction, immediate placement of dental implants, and immediate function. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*, 2015, vol.27, no.2, pp.273–282.
- Sakka S., Baroudi K., Nassani M.Z. Factors associated with early and late failure of dental implants. *J Invest Clin Dent*, 2012, vol.4, no.3, pp.258–261.
- Sawai A.A., Labib H. Success of immediate loading implants compared to conventionally-loaded implants: a literature review. *J Invest Clin Dent*, 2016, vol.7, no.3, pp.217–224.
- Sheridan R.A., Decker A.M., Plonka A.B., Wang H.L. The Role of Occlusion in Implant Therapy: A Comprehensive Updated Review. *Implant Dent*, 2016, vol.25, no.6, pp.829–838.

#### Конфликт интересов

Согласно заявлению авторов, конфликт интересов отсутствует.

Поступила 21.10.2020  
Принята в печать 24.04.2021

#### Адрес для корреспонденции

Кафедра ортопедической стоматологии  
Белорусский государственный медицинский университет  
г. Минск, ул. Сухая, 28  
220004, Республика Беларусь  
тел.: + 375 17 200-54-72  
Остапович Алексей Андреевич, e-mail: ortopedstom@bsmu.by

#### Address for correspondence

Department of Orthopedic Dentistry  
Belarusian State Medical University  
28, Sukhaya street, Minsk  
220004, Republic of Belarus  
phone: + 375 17 200-54-72  
Aliaksei Astapovich, e-mail: ortopedstom@bsmu.by