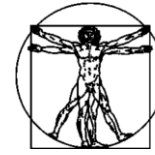


DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2018.2.06
УДК 616.31–085; 616.314.2



Российский
Журнал
Биомеханики
www.biomech.ru

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОСТНОЙ ТКАНИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ПРИ НАГРУЗКЕ НЕСЪЕМНОГО ПРОТЕЗА НА ВНУТРИКОСТНЫХ ДЕНТАЛЬНЫХ ИМПЛАНТАТАХ ПРИ ЗАМЕЩЕНИИ ТОТАЛЬНОГО ДЕФЕКТА ЗУБНОГО РЯДА

В.Н. Олесова¹, Р.С. Заславский², К.В. Шматов¹,
Е.Е. Олесов¹, А.Я. Лернер¹, А.С. Иванов³

¹ Институт повышения квалификации Федерального медико-биологического агентства России, Россия, 123098, Москва, ул. Гамалеи, 15, кор. 1, e-mail: olesova@implantat.ru

² Центр стоматологии и косметологии «Роанголи», Россия, 125080, Москва, ул. Врубеля, 8

³ Стоматологическая поликлиника г. Ростова-на-Дону, Россия, 344022, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 211

Аннотация. Целью исследования явилось трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния кортикальной костной ткани нижней челюсти при функциональных нагрузках 150 Н несъемного протеза на имплантатах при полном отсутствии зубов. Использовался метод конечно-элементного анализа. Анализировались области и величина максимальных напряжений в следующих вариантах моделирования: нагрузка бокового или фронтального отделов протеза; наличие 3, 4 и 6 внутрикостных имплантатов; разная длина имплантатов – 8,0; 12,5 и 15,0 мм; разный диаметр имплантатов – 3,5; 3,9; 4,3 и 5,0 мм; установка параллельных имплантатов или по технологии «Все на четырех». Картины распределения напряжений показывают их концентрацию в зоне контакта с имплантатами. Исходя из пределов прочности кортикальной костной ткани – 130 МПа, функциональная нагрузка несъемных протезов на имплантатах в фронтальном отделе нижней челюсти не вызывает в ней предельных напряжений, однако при наличии тонкой и недостаточно плотной кортикальной костной ткани установка имплантатов по технологии «Все на четырех» и «*Branemark Novum*» в качестве опоры несъемного протеза при полном отсутствии зубов может способствовать функциональной перегрузке периимплантатной костной ткани. Боковая нагрузка протеза в указанных ситуациях вызывает в костной ткани вокруг крайних имплантатов напряжения 39,00 и 32,12 МПа соответственно. Напряжения снижаются при увеличении числа, длины и диаметра имплантатов, а также при межкортикальной и бикортикальной установке имплантатов. Полученные биомеханические закономерности могут быть полезны при выборе методов установки имплантатов, их количества и размерных параметров для несъемного протезирования при полном отсутствии зубов.

Ключевые слова: математическое моделирование, биомеханика, протез, имплантаты, полная адентия, костная ткань.

© Олесова В.Н., Заславский Р.С., Шматов К.В., Олесов Е.Е., Лернер А.Я., Иванов А.С., 2018

Олесова Валентина Николаевна, д.м.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры клинической стоматологии и имплантологии, Москва

Заславский Роман Семенович, к.м.н., генеральный директор Центра стоматологии и косметологии «Роанголи», Москва

Шматов Константин Владимирович, к.м.н., ассистент кафедры инновационного медицинского менеджмента, Москва

Олесов Егор Евгеньевич, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой клинической стоматологии и имплантологии, Москва

Лернер Александр Яковлевич, к.м.н., ассистент кафедры клинической стоматологии и имплантологии, Москва

Иванов Александр Сергеевич, к.м.н., главный врач стоматологической поликлиники, Ростов-на-Дону

ВВЕДЕНИЕ

Традиционным методом замещения тотального дефекта зубного ряда на нижней челюсти является изготовление полного съемного протеза, который плохо удерживается на челюсти и не устраивает по своей эффективности пациентов и врачей-стоматологов. Альтернативой такому протезированию является использование внутрикостных дентальных имплантатов в качестве опоры несъемного протеза [1, 3, 5, 7]. Особенно привлекательны возможности размещения имплантатов во фронтальном отделе нижней челюсти, однако в этой зоне можно разместить не более шести имплантатов или даже меньше. В связи с этим возникает вопрос о возможной перегрузке костной ткани вокруг имплантатов при функциональной жевательной нагрузке протеза.

Цель исследования – анализ максимальных напряжений в кортикальной костной ткани вокруг опорных имплантатов при несъемном протезировании тотального дефекта зубного ряда нижней челюсти.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В математической модели беззубой нижней челюсти, идентичной по размеру, структуре и физико-механическим свойствам натуральной, изучено напряженно-деформированное состояние кортикальной костной ткани при распределенной вертикальной нагрузке 150 Н, приложенной во фронтальном или боковом отделе несъемной металлокерамической конструкции на титановых имплантатах с укороченным зубным рядом (рис. 1, 2, табл. 1) [2, 4, 6]. Изучались напряжения

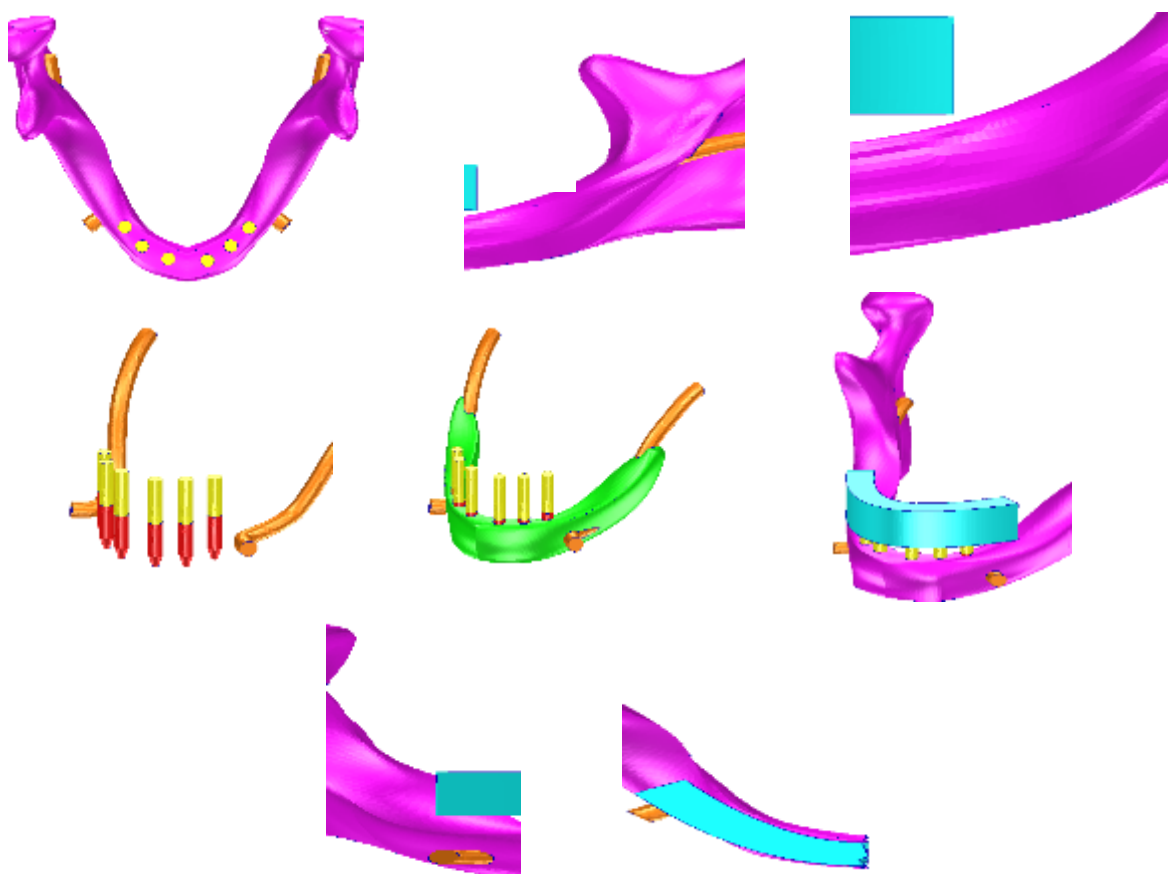


Рис. 1. Ракурсы трехмерной математической модели нижней челюсти с несъемным протезом на имплантатах во фронтальном отделе (на примере шести имплантатов)

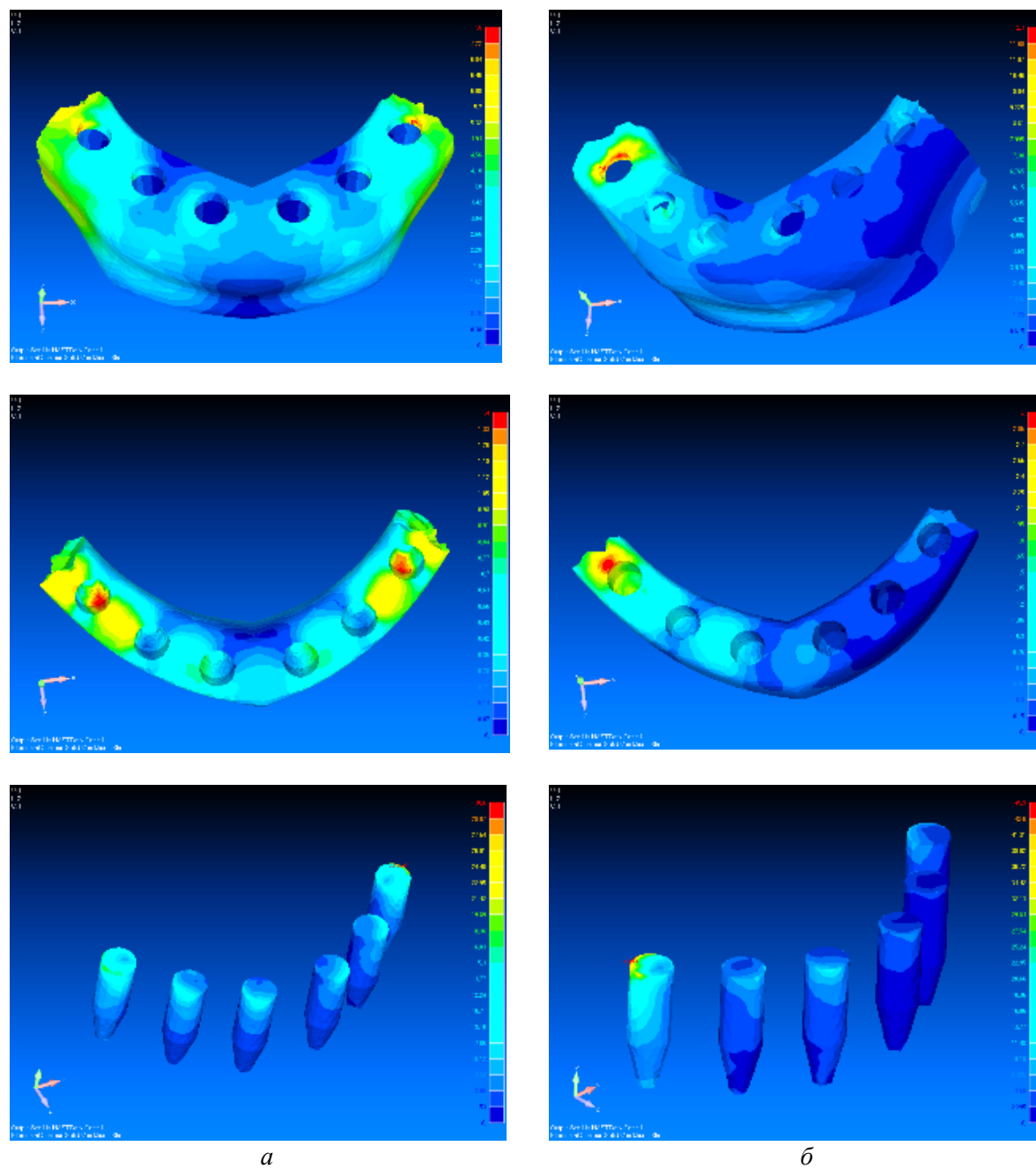


Рис. 2. Картины распределения напряжений при функциональной нагрузке несъемного металлокерамического протеза на шести имплантатах длиной 12,5 мм во фронтальном отделе нижней челюсти: *а* – фронтальная нагрузка: кортикальная кость, губчатая кость, имплантаты; *б* – боковая нагрузка: кортикальная кость, губчатая кость, имплантаты

при наличии шести, четырех или трех опорных имплантатов (последний вариант соответствовал технологии «*Branemark Novum*»). При указанном количестве имплантатов моделировались разные их размеры по длине: 15,0; 12,5 и 8,0 мм (диаметром 3,9 мм). В варианте с длиной имплантатов 15,0 мм дополнительно моделировалась методика размещения имплантатов с упором в базальную кортикальную пластину нижней челюсти; в варианте конструкции на четырех имплантатах 12,5 мм моделировалась технология «Все на четырех» с расположением

Таблица 1

Физико-механические свойства материалов модели

| Наименование | Модуль Юнга E , МПа | Коэффициент Пуассона, ν |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Компактная кость | 18 000 | 0,30 |
| Пористая кость | 3500 | 0,34 |
| Титан | 120 000 | 0,30 |
| Керамика | 200 000 | 0,30 |

крайних имплантатов с наклоном 45° ; в варианте несъемного протеза на четырех параллельных имплантатах 8,0 мм моделировалась методика межкортикальной установки имплантатов между вестибулярной и язычной кортикальными пластинками нижней челюсти; в варианте несъемной конструкции на четырех параллельных имплантатах 12,5 мм моделировались разные диаметры имплантатов: 3,5; 4,3 и 5,0 мм. В статье приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния кортикальной костной ткани как наиболее уязвимой области для перегрузки при протезировании на имплантатах.

Метод конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния реализован с помощью компьютерных программ *Solidworks 2016* и *MSC Patran 2012*. Количество узлов в модели – 122 598, количество элементов – 582 033. Нагрузка задавалась как распределённая сила по верхней поверхности протеза для двух вариантов нагружения: вертикальная нагрузка на резы и на боковую часть протеза.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Напряжения в кортикальной костной ткани зависят в разной степени от области нагрузки несъемного протеза (фронтального или бокового отделов), от длины и диаметра имплантатов, количества и направления установки опорных имплантатов, межкортикальной или бикортикальной установки имплантатов в челюстях (табл. 2).

С уменьшением количества имплантатов под несъемным протезом напряжения в кортикальной кости увеличиваются (см. рис. 2). При использовании имплантатов длиной 15,0 мм в количестве шесть, четыре и три в условиях фронтальной нагрузки протеза напряжения равны 7,55; 11,14 и 11,97 МПа. При боковой нагрузке напряжения при наличии шести, четырех и трех имплантатов длиной 15,0 мм составили 21,00; 22,95 и 24,58 МПа. При длине имплантатов 12,5 мм, количестве имплантатов шесть, четыре и три и фронтальной нагрузке установлены напряжения соответственно 7,60; 12,23 и 13,82 МПа, при боковой нагрузке – 21,72; 22,97 и 25,88 МПа. При длине имплантатов 8,0 мм, количестве шесть, четыре и три, фронтальной нагрузке напряжения равны 10,33; 13,42 и 14,83 МПа; при боковой нагрузке – соответственно 28,12; 29,90 и 32,12 МПа.

Определенное значение имеет длина внутрикостной части имплантата. При количестве имплантатов шесть и длине 15,0; 12,5 и 8,0 мм напряжения при нагрузке фронтальной части протеза 7,55; 7,60 и 10,33 МПа, в условиях боковой нагрузки напряжения с изменением длины имплантатов (15,0; 12,5; 8,0 мм) – 21,00; 21,72 и 28,12 МПа. При четырех имплантатах динамика изменения напряжений при указанном изменении длины имплантатов и при нагрузке фронтального отдела 11,14; 12,23 и 13,42 МПа в условиях нагрузки бокового отдела напряжения у имплантатов 15,0; 12,5 и 8,0 мм – 22,95; 22,97 и 29,90 МПа. При наличии трех имплантатов напряжения с изменением длины имплантата от 15,0 до 8,0 мм составляют 11,97; 13,82

Таблица 2

Максимальные напряжения в кортикальной костной ткани нижней челюсти при нагрузке несъемного протеза на имплантатах во фронтальном отделе нижней челюсти при полном отсутствии зубов, МПа

| Условия моделирования имплантатов | Фронтальная нагрузка | Боковая нагрузка |
|---|----------------------|------------------|
| $h = 15,0$ мм; $n = 6$, межкортикально | 6,10 | 10,51 |
| $h = 15,0$ мм; $n = 6$ | 7,55 | 21,00 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 6$ | 7,60 | 21,72 |
| $h = 8,0$ мм; $n = 6$ | 10,33 | 28,12 |
| $h = 15,0$ мм; $n = 4$, межкортикально | 8,20 | 17,72 |
| $h = 15,0$ мм; $n = 4$ | 11,14 | 22,95 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 4$ | 12,23 | 22,97 |
| $h = 8,0$ мм; $n = 4$ | 13,42 | 29,90 |
| $h = 8,0$ мм; $n = 4$, бикортикально | 11,10 | 26,87 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 4$, «Все на четырех» | 13,30 | 39,00 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 4$, $\varnothing = 5,0$ мм | 8,86 | 15,74 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 4$, $\varnothing = 4,3$ мм | 10,71 | 20,27 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 4$, $\varnothing = 3,5$ мм | 12,90 | 22,99 |
| $h = 15,0$ мм; $n = 3$, межкортикально | 9,95 | 19,50 |
| $h = 15,0$ мм; $n = 3$ | 11,97 | 24,58 |
| $h = 12,5$ мм; $n = 3$ | 13,82 | 25,88 |
| $h = 8,0$ мм; $n = 3$ | 14,83 | 32,12 |

и 14,83 МПа при фронтальной нагрузке, при боковой нагрузке – 24,58; 25,88 и 32,12 МПа. Как видно, повышение напряжения в костной ткани при анализе влияния длины имплантатов отмечается только при уменьшении длины имплантата от 12,5 до 8,0 мм, а также при нагрузке бокового отдела и наличии трех имплантатов при сравнении всех размеров имплантатов: 15,0; 12,5 и 8,0 мм.

Влияние диаметра при его уменьшении от 5,0 до 4,3 и 3,5 мм изучено на примере ситуации несъемного протеза на четырех имплантатах. При фронтальной нагрузке протеза напряжения в кости с уменьшением диаметра становятся 8,86; 10,71 и 12,90 МПа; при нагрузке бокового отдела увеличение напряжений с уменьшением диаметра имплантата равно 15,76; 20,27 и 22,99 МПа.

Межкортикальная установка имплантатов с упором в базальный край челюсти моделировалась при их размере 15,0 мм. При наличии шести имплантатов их обычная и межкортикальная установка при нагрузке фронтального отдела протеза вызывает напряжения в костной ткани 7,55 и 6,10 МПа, при наличии пластмассовой облицовки – 7,67 и 5,68 МПа; при боковой нагрузке соответственно 21,00 и 10,50 МПа. При опоре на четыре имплантата обычная и межкортикальная имплантация вызывает напряжения при нагрузке фронтального отдела 11,14 и 8,20 МПа; при нагрузке бокового отдела соответственно 22,95 и 17,72 МПа. Величина напряжений при трех опорных имплантатах соответственно 11,97 и 9,95 МПа, 24,58 и 19,50 МПа.

На примере четырех имплантатов длиной 8,0 мм под несъемным протезом показано влияние их установки с упором в вестибулярную и язычную стенку альвеолярной части нижней челюсти. При нагрузке фронтального отдела протеза соответствующие напряжения с упором равны 11,10 и 13,42 МПа, при нагрузке бокового отдела протеза – 26,87 и 29,90 МПа.

Установка имплантатов по методике «Все на четырех» увеличивает напряжения в кортикальной кости на имплантатах, размещенных с наклоном: при размере имплантата 12,5 мм указанная имплантация вызывает напряжения 13,30 МПа против 12,23 МПа при обычной установке при нагрузке фронтального отдела протеза, 39,00 МПа по сравнению с 22,97 МПа при нагрузке бокового отдела протеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из пределов прочности кортикальной костной ткани – 130 МПа, функциональная нагрузка несъемных протезов на имплантатах во фронтальном отделе нижней челюсти не вызывает в ней предельных напряжений, однако при наличии тонкой и недостаточно плотной кортикальной костной ткани установка имплантатов

по технологии «Все на четырех» и «*Branemark Novum*» в качестве опоры несъемного протеза при полном отсутствии зубов может способствовать функциональной перегрузке периимплантатной костной ткани. Напряжения снижаются при увеличении числа, длины и диаметра имплантатов, а также при межкортикальной и бикортикальной установке имплантатов. Полученные биомеханические закономерности могут быть полезны при выборе методов установки имплантатов, их количества и размерных параметров для несъемного протезирования при полном отсутствии зубов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн Д.А., Олесов Е.Е., Заславский Р.С., Узунян Н.А., Шматов К.В., Лобанов С.А. Результаты ортопедической реабилитации пациентов с полным отсутствием зубов в зависимости от конструкции протезов на денальных имплантатах // Российский вестник денальной имплантологии. – 2017. – № 2. – С. 45–49.
2. Протезирование при полной адентии / под общ. ред. В.А. Загорского. – Изд. 2-е, доп. – М.: Бином, 2017. – 440 с.
3. Разумный В.А. Анализ результатов мостовидного протезирования с опорой на имплантаты при полном отсутствии зубов // Российский стоматологический журнал. – 2015. – № 1. – С. 38–42.
4. Шашмурина В.Р. Ошибки и осложнения лечения больных с применением денальных имплантатов и полных съемных протезов. – М.: МЕДпресс-информ, 2017. – 96 с.
5. Misch С.Е. Dental implant prosthetics. – 2nd ed. – St. Louis: Elsevier, 2015.– 1008 p.
6. O'Brien W.J. Dental materials and their selection. – 3rd ed. – Carol Stream: Quintessence Publishing Co, Inc., 2002.–569 p.
7. Rolf F.I., Christiansen M. Restoration of an edentulous mandible with an existing denture using WeldOne // Dentsply Implant. – 2014. – № 2. – P. 34–35.

STRESS-STRAIN STATE OF BONE TISSUE OF THE MANDIBLE AT LOADING OF THE NONREMOVAL PROSTHESIS ON INTRAOSSEOUS DENTAL IMPLANTS AT THE SUBSTITUTION OF THE TOOTH DEFECT OF THE TEETH RANGE

V.N. Olesova, R.S. Zaslavsky, K.V. Shmatov, E.E. Olesov,
A.Y. Lerner (Moscow, Russia), A.S. Ivanov (Rostov-on-Don, Russia)

The aim of the study was three-dimensional mathematical modelling of the stress-strain state of the cortical bone tissue of the lower jaw with functional loads of 150 N non-removable prosthesis on implants with complete absence of teeth. The finite element method was used. The regions and magnitude of maximum stresses in the following modelling variants were analyzed: the load of the lateral or frontal parts of the prosthesis; presence of 3, 4 and 6 intraosseous implants; different length of implants – 8.0; 12.5 and 15.0 mm; different diameters of implants – 3.5; 3.9; 4.3 and 5.0 mm; installation of parallel implants or "All for Four" technology. The stress distribution patterns show their concentration in the area of contact with the implants. Based on the strength limits of cortical bone tissue – 130 MPa, the functional load of nonremovable prostheses on implants in the frontal part of the mandible does not cause marginal stresses in it, however, in the presence of thin and insufficiently dense cortical bone tissue, implant installation using the "All for Four" and "Branemark Novum" as a support of a permanent prosthesis with complete absence of teeth can promote functional overload of periimplant bone tissue. The lateral load of the prosthesis in these situations causes stresses 39.00 and 32.12 MPa, respectively, in the bone tissue around the extreme implants. Stresses decrease with increasing number, length and diameter of implants, as well as with intercortical and bicortical implant placement. The obtained biomechanical regularities can be useful in choosing the methods of implant installation, their number and size parameters for permanent prosthetics with complete absence of teeth.

Key words: mathematical modelling, biomechanics, prosthesis, implants, complete adentia, bone tissue.

Получено 18 мая 2018