

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent629415>

# Напряжённно-деформированное состояние протетических конструкций на имплантатах при замещении дефекта зубного ряда

М.Р. Берсанова<sup>1</sup>, В.Н. Олесова<sup>2</sup>, Р.С. Заславский<sup>2</sup>, Р.У. Берсанов<sup>1</sup>, С.П. Ярилкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова, Грозный, Россия;

<sup>2</sup> Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В практике дентальной имплантологии встречаются случаи поломки и деформации протетических конструкций на имплантатах, которые требуют оценки их напряжённно-деформированного состояния под нагрузкой.

**Цель исследования** — сравнительный анализ напряжённно-деформированного состояния имплантатов и покрывающих несъёмных конструкций, замещающих дефект зубного ряда.

**Материалы и методы.** В условиях трёхмерной математической модели бокового участка нижней челюсти с отсутствующими тремя зубами изучено напряжённно-деформированное состояние вариантов замещения дефекта: тремя имплантатами с покрывающими коронками, мостовидным протезом с опорой на два имплантата, мостовидным протезом с опорой на зуб и имплантат. Нагрузку величиной 150 Н прикладывали к середине протетической конструкции в вертикальном и в наклонном направлениях; сравнивали максимальные величины напряжений и их распределение.

**Результаты.** Подтверждено негативное влияние наклонной нагрузки на величину и распределение напряжений (471,7 МПа против 90,7 МПа при вертикальной нагрузке на примере трёх имплантатов), выявлены наиболее нагруженные зоны протетических конструкций — край искусственной коронки и зона соединения имплантата. Обнаружено равномерное распределение напряжений от мостовидного протеза на два опорных имплантата и снижение величины напряжений при замене конструкции из трёх имплантатов с коронками на мостовидный протез (16,1 и 160,0 МПа). Напротив, зафиксирована перегрузка опорного имплантата при замене второго опорного имплантата зубом (1053,5 МПа при наклонной нагрузке).

**Заключение.** В сравнении с тремя имплантатами, замещающими дефект зубного ряда в связи с отсутствием трёх зубов, мостовидный протез с опорой на два имплантата снижает напряжения в имплантатах и покрывающей конструкции. Замена одного опорного имплантата зубом увеличивает напряжения в конструкции на имплантате до пределов прочности титанового сплава в абатменте.

**Ключевые слова:** протез на имплантатах; напряжённно-деформированное состояние; математическое моделирование.

## Как цитировать:

Берсанова М.Р., Олесова В.Н., Заславский Р.С., Берсанов Р.У., Ярилкина С.П. Напряжённно-деформированное состояние протетических конструкций на имплантатах при замещении дефекта зубного ряда // Российский стоматологический журнал. 2024. Т. 28, № 4. С. 432–438.

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent629415>

DOI: <https://doi.org/10.17816/dent629415>

# Stress-strain state of implant-supported restorations in tooth replacement

Makka R. Bersanova<sup>1</sup>, Valentina N. Olesova<sup>2</sup>, Roman S. Zaslavsky<sup>2</sup>, Ruslan U. Bersanov<sup>1</sup>, Svetlana P. Yarilkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russia;

<sup>2</sup> A.I. Burnazyan State Medical Research Center of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Dental implant therapy may be associated with breakage and deformation of implant-supported restorations, necessitating an assessment of their stress-strain state when applying a load.

**AIM:** To compare the stress-strain state of implants with their respective fixed restorations in tooth replacement.

**MATERIALS AND METHODS:** A 3D mathematical model of the posterior mandible with three missing teeth was used to assess the stress-strain state for the following dental restoration options: three implant-supported crowns; a two-implant-supported bridge; or a bridge supported by tooth and implant. A 150 N load was applied to the central part of a restoration in both vertical and oblique directions to compare maximum stress values and their distribution.

**RESULTS:** Oblique load was found to have a negative impact on stress intensity and distribution (471.7 MPa vs 90.7 MPa with vertical load for three implants). The most heavily loaded parts of restorations were identified: the border of the crown and the implant connection zone. A homogeneous stress distribution from a bridge to the two supporting implants was observed, along with a decrease in stress when using a bridge rather than three implant-supported crowns (160.0 MPa vs 16.1 MPa). In contrast, the load on the supporting implant increased when a bridge supported by tooth and implant was used (1,053.5 MPa with oblique load).

**CONCLUSION:** Compared to three implants replacing three missing teeth, a two-implant-supported bridge decreases stress on the implants and their respective restoration. Replacing one supporting implant with a tooth increases stress on the implant to the ultimate strength of titanium alloy in the abutment.

**Keywords:** implant-supported restoration; stress-strain state; mathematical modeling.

## To cite this article:

Bersanova MR, Olesova VN, Zaslavsky RS, Bersanov RU, Yarilkina SP. Stress-strain state of implant-supported restorations in tooth replacement. *Russian Journal of Dentistry*. 2024;28(4):432–438. DOI: <https://doi.org/10.17816/dent629415>

Received: 25.03.2024

Accepted: 24.06.2024

Published online: 24.07.2024

## ВВЕДЕНИЕ

Теория замещения дефектов зубных рядов на имплантатах отдаёт предпочтение протезированию по принципу «за каждый отсутствующий зуб — отдельный имплантат» [1–5]. Вместе с тем в практике имплантологии для замещения дефектов зубных рядов широко используют мостовидные протезы на имплантатах. Из понимания того факта, что выбор количества опорных имплантатов обусловлен их сопротивляемостью функциональным нагрузкам, а также выносливостью окружающей костной ткани к нагрузкам, возникает необходимость биомеханического сравнения указанных вариантов замещения дефектов зубных рядов.

**Цель исследования** — сравнительный анализ напряжённо-деформированного состояния имплантатов и покрывающих несъёмных конструкций, замещающих дефект зубного ряда.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Трёхмерная математическая модель представляла собой боковой участок нижней челюсти с отсутствующими тремя жевательными зубами [6–13]. Функциональную нагрузку величиной 150 Н прикладывали к середине протетической конструкции в вертикальном и наклонном направлениях. Сравнению подвергались три протетических варианта замещения дефекта зубного ряда протяжённостью три зуба:

- тремя имплантатами с покрывающими коронками;
- мостовидным протезом с опорой на два имплантата;
- мостовидным протезом с опорой на зуб и имплантат (рис. 1).

**Таблица 1.** Физико-механические параметры математической модели

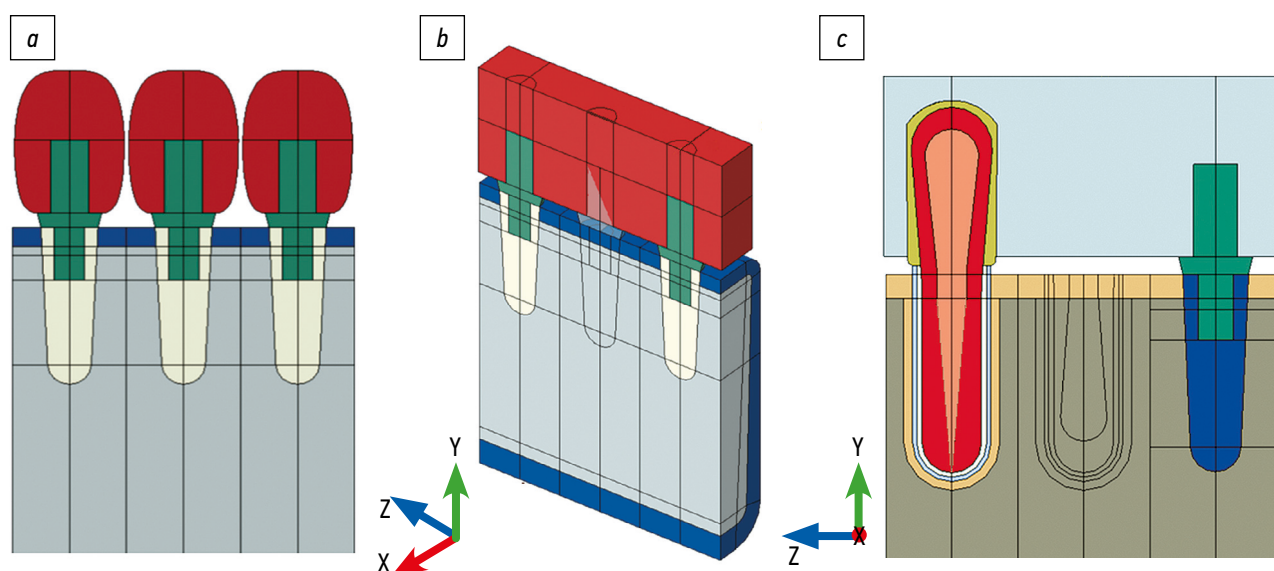
**Table 1.** Physical and mechanical parameters of the mathematical model

Область модели	Модуль упругости Е, МПа	Коэффициент Пуассона
Титан	116 000	0,32
Керамика	200 000	0,22
Кость кортикальная	20 500	0,32
Кость пористая	3500	0,34
Эмаль	81 700	0,28
Дентин	23 300	0,31

Длина имплантата составляла 11 мм, диаметр — 3 мм; материал имплантата — титан, материал коронки — керамика. Необходимые для математического моделирования параметры слоёв модели представлены в табл. 1. Сравнивали величины интегральных напряжений в протетической конструкции и имплантатах (МПа) по анализу картин распределения напряжений (рис. 2).

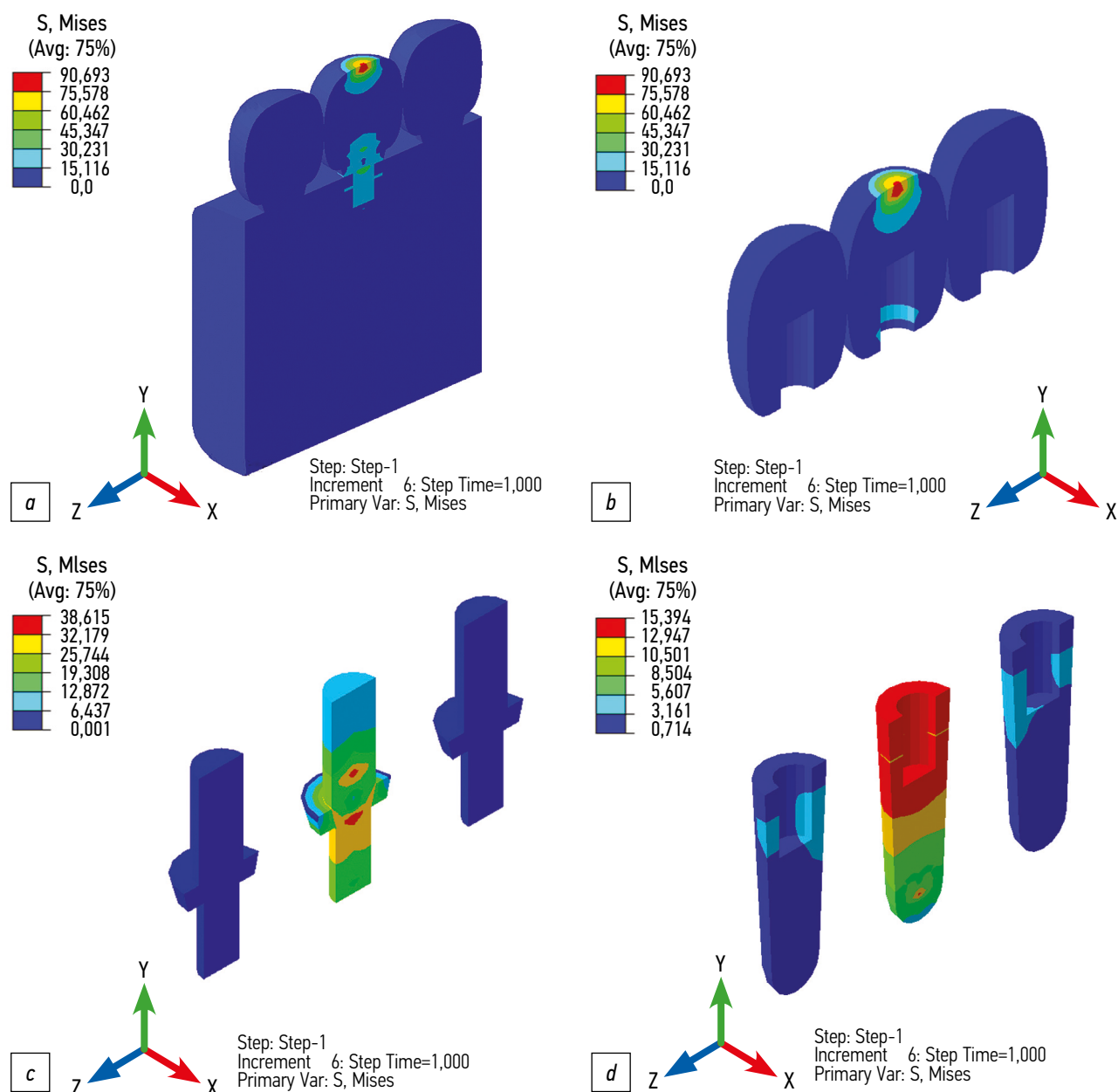
## РЕЗУЛЬТАТЫ

Вертикальная нагрузка трёх коронок на трёх имплантатах вызывает максимальные напряжения: 90,693 МПа — по окклюзионной поверхности при вертикальной нагрузке, 471,702 МПа — при наклонной нагрузке (по контакту абатмента и имплантата) (табл. 2). В искусственной коронке соответствующие напряжения составляли 90,693 МПа по окклюзионной поверхности и 212,002 МПа по краю коронки; в абатменте — 38,612 МПа в шахте



**Рис. 1.** Трёхмерная математическая модель конструкций на имплантатах при замещении дефекта зубного ряда: а — коронки на трёх имплантатах, б — мостовидный протез на двух имплантатах, с — мостовидный протез на зубе и имплантате.

**Fig. 1.** A three-dimensional mathematical model of structures on implants for the replacement of a dentition defect: а — crowns on three implants, б — a bridge prosthesis on two implants, с — a bridge prosthesis on a tooth and an implant.



**Рис. 2.** Распределение напряжений в трёх имплантатах с покрывающими коронками при вертикальной нагрузке: *a* — сборная конструкция, *b* — коронки, *c* — абатменты, *d* — имплантаты.

**Fig. 2.** Stress distribution in three implants with covering crowns under vertical load: *a* — prefabricated structure, *b* — crowns, *c* — abutments, *d* — implants.

при вертикальной нагрузке и 471,702 МПа — по уступу абатмента при наклонной; в имплантате при вертикальной нагрузке — 15,394 МПа в верхней половине имплантата и 248,127 МПа — в шейке имплантата.

Замещение дефекта на три зуба мостовидным протезом на два имплантата существенно снижает напряжения в имплантатах и покрывающем мостовидном протезе в сравнении с коронками на трёх имплантатах. Так, в сборной конструкции, в коронках мостовидного протеза, абатментах и в самих имплантатах при вертикальной нагрузке напряжения составляют 16,101; 7,547; 16,101; 9,999 МПа, что меньше конструкции на трёх имплантатах на 82,2; 91,7; 58,3; 46,0% соответственно.

При наклонной нагрузке уменьшение напряжений в указанных составляющих по сравнению с тремя имплантатами составляет 66,1; 69,2; 66,1; 49,5% (160,019; 65,297; 160,019; 125,367 МПа соответственно). Картина распределения напряжений в мостовидном протезе и опорных имплантатах меняется в сравнении с картиной в трёх имплантатах: при вертикальной нагрузке максимальные напряжения возникают по контакту имплантата и абатмента (в сборной конструкции), по краю коронки, по краю уступа абатмента, по шейке имплантата; при наклонной нагрузке — в указанных составляющих соответственно по краям коронки, уступа абатмента и по шейке имплантата.

**Таблица 2.** Величина максимальных напряжений в титановых дентальных имплантатах и покрывающих конструкциях при замещении дефекта зубного ряда, МПа**Table 2.** The value of maximum stresses in titanium dental implants and covering structures during replacement of a dentition defect (MPa)

Условия нагрузки и область анализа	Вертикальная нагрузка	Наклонная нагрузка
Замещение дефекта тремя имплантатами		
Конструкция в сборке	90,693	471,702
Керамический протез	90,693	212,002
Абатменты	38,615	471,702
Имплантаты	15,394	248,127
Замещение дефекта мостовидным протезом на двух имплантатах		
Конструкция в сборке	16,101	160,019
Керамический протез	7,547	65,297
Абатменты	16,101	160,019
Имплантаты	9,999	125,367
Замещение дефекта мостовидным протезом на имплантате и зубе		
Конструкция в сборке	172,016	1053,476
Керамический протез	119,667	400,456
Абатменты	265,337	1053,476
Имплантаты	57,844	207,020

С другой стороны, мостовидный протез с опорой на имплантат и на зуб резко повышает напряжения в имплантате. При вертикальной нагрузке напряжения в мостовидном протезе, коронке, абатменте и имплантате составляют 172,016; 119,667; 265,337; 57,844 МПа, что в сравнении с протезом на имплантатах больше на 90,3; 93,7; 93,9; 82,7% соответственно. При наклонной нагрузке напряжения в сборной конструкции составляют 1053,476 МПа, в коронке — 400,456 МПа, в абатменте — 1053,476 МПа, в имплантате — 207,020 МПа, что на 84,8; 83,7; 84,8; 39,5% больше в сравнении с мостовидным протезом на имплантатах. Максимальные напряжения в коронке, абатменте и имплантате локализуются как при вертикальной, так и при наклонной нагрузках соответственно по краю коронки, по краю уступа абатмента, шейке имплантата; в сборной конструкции при вертикальной нагрузке максимальные напряжения наблюдаются в имплантате, при наклонной нагрузке — в абатменте.

## ОБСУЖДЕНИЕ

В пределах возможностей трёхмерной математической модели установлены закономерности распределения функциональных напряжений в трёх титановых имплантатах и покрывающих керамических коронках при замещении дефекта зубного ряда нижней челюсти протяжённостью в три зуба. Подтверждено негативное влияние наклонной нагрузки на величину и распределение напряжений, выявлены наиболее нагруженные зоны протетической конструкции — край искусственной коронки и зона соединения имплантата и абатмента у среднего имплантата. Обнаружено

равномерное распределение напряжений от мостовидного протеза на два опорных имплантата и снижение величины напряжений при замене конструкции из трёх имплантатов с коронками на мостовидный протез. Напротив, зафиксирована перегрузка опорного имплантата при замене второго опорного имплантата зубом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сравнении с тремя имплантатами, замещающими дефект зубного ряда в связи с отсутствием трёх зубов, мостовидный протез с опорой на два имплантата снижает напряжения в имплантатах и покрывающей конструкции. Замена одного опорного имплантата зубом увеличивает напряжения в конструкции на имплантате до пределов прочности титанового сплава в абатменте.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени принимали участие в написании статьи. Наибольший вклад распределён следующим образом: М.Р. Берсанова — обобщение результатов математического моделирования и формулирование выводов; В.Н. Олесова — обоснование и разработка плана исследования, редактирование статьи; Р.С. Заславский — написание статьи; Р.У. Берсанов — организация



исследования, выбор программы математического моделирования; С.П. Ярилкина — написание статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дентальная имплантация: национальное руководство / под ред. А.А. Кулакова [интернет]. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. Дата обращения: 25.07.2004. Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970473269.html>
2. Ортопедическая стоматология. Том 1: национальное руководство: в 2 т. / под ред. И.Ю. Лебедеенко, С.Д. Арутюнова, А.Н. Ряховского. 2-е издание, переработанное и дополненное. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2022. 520 с.
3. Иванов А.С., Олесева В.Н., Максьюков С.Ю., и др. Структура протетических конструкций с опорой на дентальные имплантаты в динамике за 20 лет // Российский вестник дентальной имплантологии. 2021. № 3-4. С. 93–98. EDN: VVOYRC
4. Карабушин В.А. Результаты дентальной имплантации у пациентов с ожирением и различной выраженностью кардиометаболического риска: дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 2021. 132 с. EDN: ZXNSTW
5. Музыкин М.И. Патофизиологическое обоснование стоматологического лечения с использованием имплантатов при атрофии альвеолярных отростков (частей) челюстей: дис. ... д-ра мед. наук. Краснодар, 2022. 336 с. EDN: AQQGVY
6. Мураев А.А. Инновационная российская система дентальных имплантатов: разработка, лабораторные исследования и клиническое внедрение: дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2019. 294 с. EDN: URZZAX
7. Олесов Е.Е., Заславский Р.С., Лернер А.Я., и др. Сравнительное исследование современных дентальных имплантатов: экспериментально-клинические и технологические аспекты: учебное пособие. Москва: ИПК ФМБА России, 2018. 24 с.

## REFERENCES

1. Kulakov AA, editor. Dental implantation: national guidelines [Internet]. Moscow: GEOTAR-Media; 2022 [cited: 2004 Jul 25]. Available from: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970473269.html> (In Russ.).
2. Lebedenko IY, Arutyunov SD, Ryakhovsky AN, editors. *Orthopedic dentistry. Volume 1: National leadership: in 2 volumes. 2<sup>nd</sup> ed., reprint and add.* Moscow: GEOTAR-Media; 2022. 520 p. (In Russ.).
3. Ivanov AS, Olesova VN, Maksyukov SYu, et al. The structure of prosthetic structures based on dental implants in dynamics over 20 years. *Russian Bulletin of Dental Implantology*. 2021;(3-4):93–98. EDN: VVOYRC
4. Karabushin VA. *Results of dental implantation in patients with obesity and varying severity of cardiometabolic risk* [dissertation]. Saratov; 2021. 132 p. (In Russ.). EDN: ZXNSTW
5. Muzikin MI. *Pathophysiological justification of dental treatment using implants for atrophy of the alveolar processes (parts) of the jaws* [dissertation]. Krasnodar; 2022. 336 p. (In Russ.). EDN: AQQGVY

**Authors' contributions.** All authors were equally involved in the writing of the article. M.R. Bersanova — generalization of the results of mathematical modeling and formulation of conclusions; V.N. Olesova — substantiation and development of a research plan, editorial board of the article; R.S. Zaslavsky — writing an article; R.U. Bersanov — organization of research, selection of a mathematical modeling program; S.P. Yarikina — writing an article.

8. Jiang X, Yao Y, Tang W, et al. Design of dental implants at materials level: an overview // *J Biomed Mater Res A*. 2020. Vol. 108, N 8. P. 1634–1661. doi: 10.1002/jbm.a.36931
9. Hingsammer L, Pommer B, Hunger S, et al. Influence of implant length and associated parameters upon biomechanical forces in finite element analyses: a systematic review // *Implant Dent*. 2019. Vol. 28, N 3. P. 96–305. doi: 10.1097/ID.0000000000000879
10. Prados-Privado M, Martínez-Martínez C, Gehrke S.A., Prados-Frutos J.C. Influence of bone definition and finite element parameters in bone and dental implants stress: a literature review // *Biology (Basel)*. 2020. Vol. 9, N 8. P. 224. doi: 10.3390/biology9080224
11. Ichikawa H, Yoda N, Ogawa T, et al. Impact of implant location on load distribution of implant-assisted removable partial dentures: a review of in vitro model and finite-element analysis studies // *Int J Implant Dent*. 2023. Vol. 9, N 1. P. 31. doi: 10.1186/s40729-023-00500-3
12. Розов Р.А., Трезубов В.Н., Гветадзе Р.Ш., и др. Экспериментальное моделирование функциональной нагрузки нижней челюсти при протезировании с опорой на имплантаты в неблагоприятных клинических условиях // Стоматология. 2022. Т. 101, № 6. С. 28–34. EDN: KKPPHB doi: 10.17116/stomat202210106128
13. Стрекалов А.А. обоснование применения окклюзионных параметров коронок несъемных конструкций с опорой на дентальные имплантаты при восстановлении концевых дефектов зубных рядов: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2021. 169 с. EDN: DOWQFL

6. Muraev AA. *Innovative Russian dental implant system: development, laboratory research and clinical implementation* [dissertation]. Moscow; 2019. 294 p. (In Russ.). EDN: URZZAX
7. Olesov EE, Zaslavsky RS, Lerner AY, et al. Comparative study of modern dental implants: experimental, clinical and technological aspects: textbook. Moscow: IPK FMBA Rossii; 2018. 24 p. (In Russ.).
8. Jiang X, Yao Y, Tang W, et al. Design of dental implants at materials level: an overview. *J Biomed Mater Res A*. 2020;108(8):1634–1661. doi: 10.1002/jbm.a.36931
9. Hingsammer L, Pommer B, Hunger S, et al. Influence of implant length and associated parameters upon biomechanical forces in finite element analyses: a systematic review. *Implant Dent*. 2019;28(3):296–305. doi: 10.1097/ID.0000000000000879
10. Prados-Privado M, Martínez-Martínez C, Gehrke SA, Prados-Frutos JC. Influence of bone definition and finite element parameters in bone and dental implants stress: a literature review. *Biology (Basel)*. 2020;9(8):224. doi: 10.3390/biology9080224

11. Ichikawa H, Yoda N, Ogawa T, et al. Impact of implant location on load distribution of implant-assisted removable partial dentures: a review of in vitro model and finite-element analysis studies. *Int J Implant Dent.* 2023;9(1):31. doi: 10.1186/s40729-023-00500-3

12. Rozov RA, Trezubov VN, Gvetadze RSh, et al. Experimental modeling of the functional load of the mandible

during prosthetics based on implants in adverse clinical conditions. *Stomatology.* 2022;101(6):28–34. EDN: KKPPHB doi: 10.17116/stomat202210106128

13. Strekalov AA. *Justification of the use of occlusal parameters of crowns of fixed structures based on dental implants in the restoration of terminal defects of dentition* [dissertation]. Moscow; 2021. 169 p. (In Russ.). EDN: DOWQFL

## ОБ АВТОРАХ

**\* Берсанова Макка Руслановна;**

адрес: Россия, 364024, Чеченская Республика, Грозный,  
ул. А. Шерипова, д. 32;  
ORCID: 0009-0004-6150-148X;  
e-mail: bersanova99@bk.ru

**Олесова Валентина Николаевна, д-р мед. наук, профессор;**

ORCID: 0000-0002-3461-9317;  
eLibrary SPIN: 6851-5618;  
e-mail: olesova@implantat.ru

**Заславский Роман Семёнович;**

ORCID: 0000-0002-2217-8745;  
eLibrary SPIN: 5826-0269;  
e-mail: mbufmbc@mail.ru

**Берсанов Руслан Увайсович, д-р мед. наук, профессор;**

ORCID: 0009-0005-1557-7130;  
eLibrary SPIN: 3746-6283;  
e-mail: bersanovr@mail.ru

**Ярилкина Светлана Павловна, канд. мед. наук, доцент;**

ORCID: 0000-0001-6182-3965;  
eLibrary SPIN: 8663-0213;  
e-mail: yarilkina@mail.ru

## AUTHORS' INFO

**\* Makka R. Bersanova;**

address: 32 A. Sheripova street, 364024 Grozny, Chechen Republic,  
Russia;  
ORCID: 0009-0004-6150-148X;  
e-mail: bersanova99@bk.ru

**Valentina N. Olesova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;**

ORCID: 0000-0002-3461-9317;  
eLibrary SPIN: 6851-5618;  
e-mail: olesova@implantat.ru

**Roman S. Zaslavsky;**

ORCID: 0000-0002-2217-8745;  
eLibrary SPIN: 5826-0269;  
e-mail: mbufmbc@mail.ru

**Ruslan U. Bersanov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;**

ORCID: 0009-0005-1557-7130;  
eLibrary SPIN: 3746-6283;  
e-mail: bersanovr@mail.ru

**Svetlana P. Yarilkina, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor;**

ORCID: 0000-0001-6182-3965;  
eLibrary SPIN: 8663-0213;  
e-mail: yarilkina@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author