

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 616.314-089.28:615.46]:001.891.543

Парунов В.А.<sup>1</sup>, Лебеденко И.Ю.<sup>2</sup>, Дружинин А.А.<sup>3</sup>, Яковчук А.Ю., Мороков Е.А.<sup>4</sup>

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МОСТОВИДНЫХ ЗУБНЫХ ПРОТЕЗОВ ИЗ НОВОГО РОССИЙСКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ПАЛЛАДИЯ ПАЛЛАДЕНТ УНИ

<sup>1</sup> ФГБУ «Центральный НИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, 119991, г. Москва;

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», 117198, г. Москва;

<sup>3</sup> ФГБОУ Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова Минздрава России, 127473, г. Москва;

<sup>4</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, 117997, г. Москва

*В статье показаны результаты физико-механических испытаний образцов сплава Палладент УНИ на основе палладия для металлокерамических зубных протезов. Значения этих результатов использовали для математического моделирования методом конечных элементов каркасов металлокерамических протезов. Определены минимально допустимые размеры соединений опорных коронок и промежуточных частей.*

**Ключевые слова:** стоматологические благородные сплавы; стоматологические палладиевые сплавы; металлокерамические протезы; Палладент УНИ; математическое моделирование.

**Для цитирования:** Парунов В.А., Лебеденко И.Ю., Дружинин А.А., Яковчук А.Ю., Мороков Е.А. Определение методом математического моделирования минимально допустимых параметров металлокерамических мостовидных зубных протезов из нового российского сплава на основе палладия Палладент УНИ. Российский стоматологический журнал. 2018; 22 (1): 76-78. <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-1-76-78>

*Parunov V. A., Lebedenko I. Yu., Druzhinin A. A., Yakovchuk A. Yu., Morokov E. A.*

DETERMINATION OF MINIMUM PERMISSIBLE PARAMETERS OF METAL-CERAMIC BRIDGES DENTURES FROM A NEW RUSSIAN ALLOY BASED ON PALLADIUM PALLADENT UNI BY MATHEMATICAL MODELING

<sup>1</sup> Central research Institute of dentistry and maxillofacial surgery, Ministry of health of Russia, 119991, Moscow;

<sup>2</sup> Federal state Autonomous educational institution of higher education "peoples' friendship University of Russia";

<sup>3</sup> A.I. Evdokimov Moscow state medical and dental University. Ministry of Health of Russia;

<sup>4</sup> N.M. Emanuel Institute of biochemical physics. RAS

*The article shows the results of physical and mechanical tests of samples of the alloy palladent UNI based on palladium for metal-ceramic dentures. The values of these results were used for mathematical modeling by finite element method of metal-ceramic prosthesis frames. Determined the minimum allowable size of the connection supporting crowns and intermediate parts.*

**Keywords:** dental noble alloys; dental palladium alloys; metal-ceramic prostheses; Palladent UNI; mathematical modeling.

**For citation:** Parunov V.A., Lebedenko I.Yu., Druzhinin A.A., Yakovchuk A.Yu., Morokov E.A. determination of minimum permissible parameters of metal-ceramic bridges dentures from a new Russian alloy based on palladium Palladent UNI by mathematical modeling. Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal. 2018; 22(2): 76-78. <http://dx.doi.org/10.18821/1728-2802-2018-22-2-76-78>

**For correspondence:** Vitaly A. Parunov, Cand. Med. Sci., senior researcher of the laboratory of materials science "Central research Institute of dentistry and maxillofacial surgery" of the Ministry of health of Russia, E-mail: [vparunov@mail.ru](mailto:vparunov@mail.ru)

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgments.** The study had no sponsorship.

Received 19.01.18

Accepted 16.02.18

## Введение

В рамках реализации стратегии развития отечественного стоматологического материаловедения в об-

**Для корреспонденции:** Парунов Виталий Анатольевич, канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории материаловедения ЦНИИС и ЧЛХ, E-mail: [vparunov@mail.ru](mailto:vparunov@mail.ru)

ласти благородных металлов сотрудниками ЦНИИС и ЧЛХ и АО «НПК «Суперметалл» создан новый усовершенствованный сплав на основе палладия для металлокерамических зубных протезов Палладент УНИ [1, 2]. Изучены основные физико-механические, коррозионные и технологические свойства нового сплава [3]. Возросшие эстетические требования приводят к

созданию ажурных каркасов металлокерамических зубных протезов. Это может быть причиной поломки каркасов и сколов керамической облицовки. В ряде работ, посвящённым золотым и палладиевым сплавам для профилактики поломок мостовидных протезов из сплавов благородных металлов в клинической практике указано, что необходимо использовать научно обоснованные минимально допустимые размеры соединений опорных коронок и промежуточных фасеток. Известны такие работы по сплавам Суперпал (Палладент), Супер КМ (Плагодент) и Плагодент Плюс (все работы выполнены в России) [4].

**Цель настоящей работы** – определение минимально допустимых размеров соединений элементов мостовидного протеза из сплава Палладент УНИ в зависимости от протяжённости замещённого дефекта.

### Материал и методы

Объект исследования – новый сплав на основе палладия Палладент УНИ для металлокерамических зубных протезов, состоящий из 50,9% палладия, 23,4% золота, 21,7% меди и 4% олова.

Для проведения математического анализа методом конечных элементов нам были необходимы значения модуля Юнга, коэффициента Пуассона и условного предела текучести при изгибе образцов из сплава Палладент УНИ после литья и керамических покрытий.

В качестве средних значений модуля Юнга, коэффициента Пуассона и условного предела текучести при изгибе керамических покрытий мы взяли значения, определённые ранее и описанные в работе Парунова В.А с соавт. [4], которые составили  $E=70,58$ ,  $\mu=0,21$  и 80 МПа соответственно.

Для проведения экспериментов в лаборатории «Стильдент» методом литья по выплавляемым восковым моделям подготовлено 6 образцов из сплава Палладент УНИ в виде плоскопараллельных пластин размером  $5 \times 5 \times 0,3$  мм для сканирующей микроскопии и 6 образцов цилиндрической формы из того же сплава длиной 22 мм и диаметром 2,5 мм.

Изучение модуля Юнга и коэффициента Пуассона сплава Палладент УНИ выполняли при помощи сканирующей импульсной акустической микроскопии (СИАМ) в лаборатории акустической микроскопии института биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН (ИБХФ РАН).

Сканирующую микроскопию плоских образцов сплава Палладент УНИ выполняли на аппарате СИАМ-1 (Россия), который сканировал образцы ультракороткими импульсами высокочастотного фокусированного пучка ультразвука. Программное обеспечение микроскопа позволило зафиксировать и разделить эхо-сигналы, отражённые на разной глубине образцов, определить временные задержки продольных, продольно-поперечных и поперечных волн. Из вычисленных средних скоростных характеристик сплава и керамических масс были найдены модули Юнга ( $E$ ) и коэффициенты Пуассона ( $\mu$ ) для всех 6 образцов.

Изучение предела текучести при изгибе сплава Палладент УНИ проводили механическим способом в

лаборатории механических испытаний Центра коллективного пользования «Материаловедение и металлургия» НИТУ МИСиС на универсальной испытательной машине Z250 (Германия). В качестве программного обеспечения использовали программу Test Xpert v12.2. Исследование выполняли под постоянной скоростью нагружения (2 мм/мин), сосредоточенной нагрузкой посередине между неподвижными опорами. Расстояние между опорами составляло 14,5 мм.

Полученные значения модулей Юнга, коэффициента Пуассона и предела текучести при изгибе статистически обработаны и получены средние значения.

Для определения напряженно-деформированного состояния и минимально допустимых размерных параметров металлокерамических мостовидных зубных протезов мы использовали метод математического моделирования конечных элементов.

В качестве виртуальной модели применяли модель, описанную в работе В.А. Парунова с соавт. [4] и доработанную в программе Geomagic Design X. Изучено 4 варианта мостовидных протезов различной протяжённости: 1) мостовидный протез из трёх единиц с фасеткой вместо премоляра; 2) мостовидный протез из трёх единиц с фасеткой вместо моляра; 3) мостовидный протез из четырёх единиц с фасетками вместо двух премоляров; 4) мостовидный протез из четырёх единиц с фасетками вместо премоляра и моляра.

Исследование напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов проводили в программе Ansys R 18.0, в которую загрузили виртуальную модель, и свойства материалов, найденные ранее (модуль Юнга, коэффициент Пуассона и предел текучести при изгибе). Задали граничные условия и нагрузку. Виртуальную модель нагружали вертикально в середине окклюзионной поверхности ( $90^\circ$  к окклюзионной поверхности) и под углом  $45^\circ$  к окклюзионной плоскости в области язычных бугров с силой, равной 300 Н (ссылка). Подвижность опорных зубов не учитывали.

Размеры соединений в мостовидном протезе, при которых возникали напряжения, превышающие условный предел текучести при изгибе сплава Палладент УНИ, считали непригодными. Полученные результаты математического моделирования и изучения напряженно-деформированного состояния позволили создать таблицы минимально-допустимых размерных параметров соединений опорных коронок и фасеток металлокерамических мостовидных протезов из сплава на основе палладия Палладент УНИ.

### Результаты

По результатам импульсной акустической микроскопии образцов из сплава Палладент УНИ определены средние значения модуля Юнга ( $E$ ) и коэффициента Пуассона ( $\mu$ ), которые составили  $172,25 \pm 11,20$  ГПа и  $0,31 \pm 0,023$  соответственно.

По результатам механических испытаний предел текучести при изгибе образцов из сплава Палладент УНИ составил  $440 \pm 34,38$  МПа.

Полученные значения упругих свойств сплава Палладент УНИ и керамических покрытий использовали при дальнейших расчётах.

**Минимально допустимые параметры сочленения металлокерамических мостовидных зубных протезов из нового российского сплава на основе палладия Палладент УНИ при различных вариантах дефектов зубных рядов**

Высота (h), мм	Ширина (b), мм			
	премоляр		премоляр/премоляр	премоляр/моляр
1,3	1,6	1,6	X	X
1,4	≥1,5	≥1,5	X	X
1,5	≥1,5	≥1,5	X	X
1,6	≥1,5	≥1,5	X	X
1,7	≥1,5	≥1,5	X	X
1,8	≥1,5	≥1,5	2,1	2,2
1,9	≥1,5	≥1,5	2,0	2,1
2,0	≥1,5	≥1,5	1,9	2,0
2,1	≥1,5	≥1,5	1,9	1,9

В результате математического моделирования мы получили картину распределения напряжений в объёме металлокерамического протеза с возможностью оценки произвольного сечения модели см. рисунок на вклейке).

Наиболее деформируемые участки мостовидных зубных протезов находятся в местах соединения опорных коронок и промежуточных частей (фасеток), что было установлено ранее в диссертации А.И. Лебеденко. Применение металлокерамических зубных протезов на каркасах из золотого сплава «Супер КМ» подтверждено в работе В.А. Парунова с соавт. [4].

В отличие от золотых сплавов Плагодент и Плагодент Плюс, когда напряжения при нагрузке в 45° всегда превышали напряжения при нагрузке в 90° для всех вариантов фасеток, у палладиевого сплава Палладент УНИ в случае применения одиночных фасеток (премоляров и моляров) напряжения при нагрузке в 90° превышали напряжения при нагрузке в 45°. Это, по-видимому, связано с тем, что при меньших размерах сечения соединений фасеток и коронок, которые определяются высокими физико-механическими свойствами палладиевых сплавов, основным видом напряжения при нагрузке становится напряжение сдвига и кручения, а влияние изгиба становится меньше.

Поэтому для определения минимальных значений размерных параметров каркасов металлокерамических мостовидных протезов из сплава Палладент УНИ мы использовали значения напряжений, полученные при нагрузке в 90° для одиночных фасеток (премоляр или моляр) и при нагрузке в 45° для двойных фасеток (премоляр/премоляр и премоляр/моляр).

Полученные минимально допустимые размеры каркасов металлокерамических протезов из сплава Палладент УНИ мы свели в единую таблицу.

**Заключение.** Проведение физико-механических испытаний и математического моделирования методом конечных элементов позволило определить минимально допустимые параметры размеров соединения опорных коронок и промежуточных частей каркасов из нового отечественного сплава на основе палладия Палладент УНИ для металлокерамических мостовидных зубных протезов и рекомендовать их использование для клинического использования.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### ЛИТЕРАТУРА

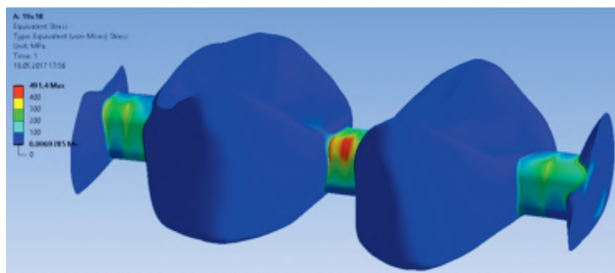
1. Парунов В.А. Стратегия развития отечественного стоматологического материаловедения в области сплавов благородных металлов. Часть 3. *Российский стоматологический журнал*. 2016; 20(5): 245—7.
2. Парунов В.А., Карева М.А., Тыкочинский Д.С., Лебеденко И.Ю. Разработка нового металлокерамического сплава на основе палладия в рамках практической реализации концепции развития отечественного стоматологического материаловедения. *Российский стоматологический журнал*. 2017; 21(3): 126—8.
3. Парунов В.А., Козлов О.В., Козлов В.А. Исследование физико-механических свойств нового сплава на основе палладия для несъемных зубных протезов «ПАЛЛАДЕНТ-УНИ». *Российский стоматологический журнал*. 2014; 18(2): 2: 9—11.
4. Парунов В.А., Колесов П.А., Быкова М.В., Выбор рациональных параметров сочленения элементов мостовидных протезов из нового сплава «Плагодент-Плюс». *Российский стоматологический журнал*. 2014; 18(6): 28—32.

#### REFERENCES

1. Parunov V.A. Development strategy of Russian dental materials chemistry in the field of noble metal alloys. Part 2. *Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal*. 2016; 20(5): 245—7. (in Russian)
2. Parunov V.A., Kareva M.A., Tykochinskij D.S., Lebedenko I.Y. The development of a new metal alloy based on palladium within the framework of practical implementation of the concept of development of the domestic dental materials science. *Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal*. 2017; 21(3): 126—8. (in Russian)
3. Parunov V.A., Kozlov O.V., Kozlov V.A. Study of physico-mechanical properties of a new alloy based on palladium for nonremovable dentures "Palladint UNI". *Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal*. 2014; 18(2): 9—11. (in Russian)
4. Parunov V.A., Kolesov P.A., Bykova M.V. Choice of rational parameters of articulation elements of bridges from the new alloy "PRAGODENT-PLUS". *Rossiyskii stomatologicheskii zhurnal*. 2014; 18(6): 28—32. (in Russian)

Поступила 19.01.18  
Принята в печать 16.02.18

К ст. В.А. Парунова и соавт.



Напряжение, возникающее в мостовидном протезе с двумя фасетками вместо премоляров, при нагрузке под углом 45°.

К ст. В.В. Афанасьева и соавт.

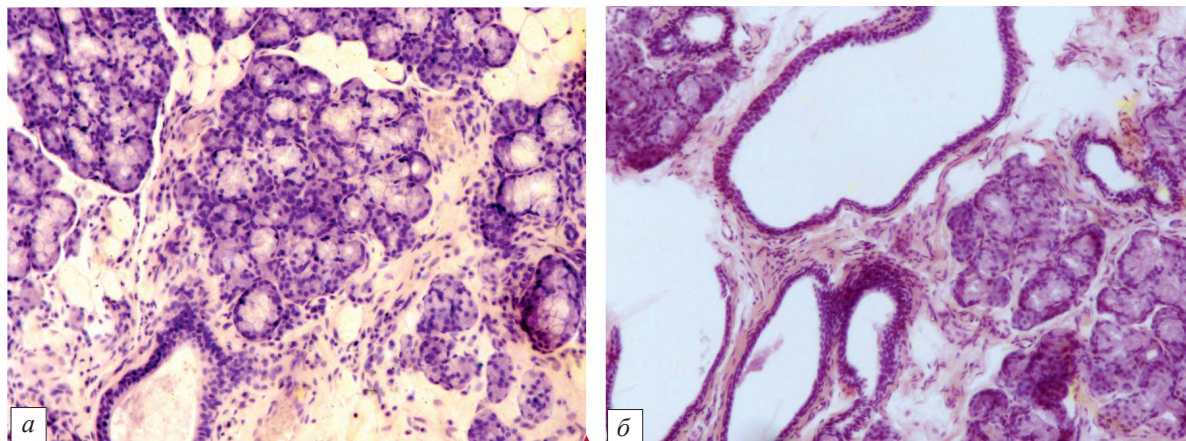


Рис. 1. Малая слюнная железа.

Паренхиматозный сиаладеноз. Паренхиматозные дольки разной величины и формы, атрофичны, с интралобулярным склерозом и липоматозом. Секреторная дисхрония и признаки дисфункции сиалоцитов. Выражены склероз и отёк перидуктальной и междольковой стромы с фрагментацией паренхиматозных долек, очаги липоматоза стромы и паренхимы, полнокровие микроциркуляторного сосудистого русла. Дилатация внутри- и междольковых протоков с уплощением выстилающего их эпителия. В строме умеренно выражена диффузная лимфоидная и лимфо-макрофагальная инфильтрация, местами с её распространением на паренхиматозные дольки. Окраска гематоксилином и эозином. Ув.120.

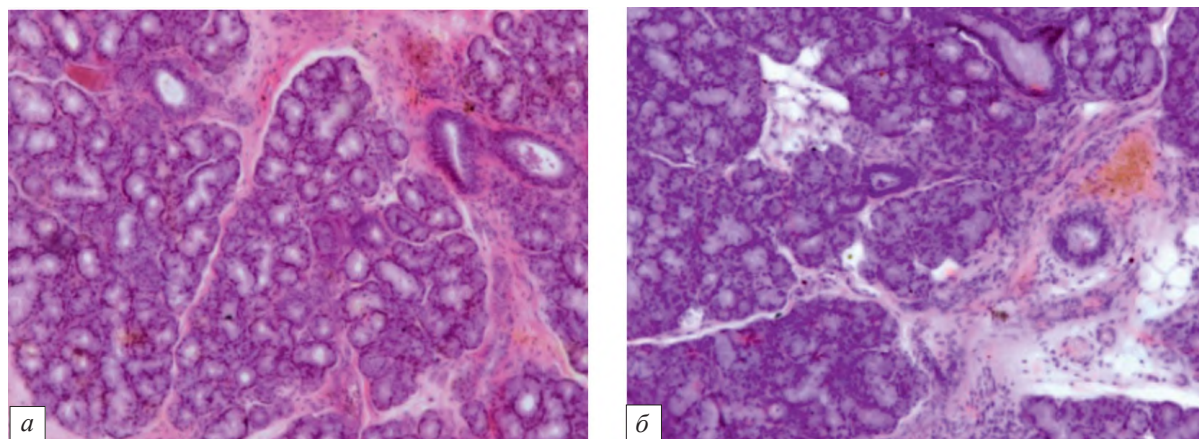


Рис. 2. Малая слюнная железа.

Интерстициальный сиаладеноз. Паренхиматозные дольки крупные, округлой формы, без признаков интралобулярного склероза, атрофии или липоматоза. Секреторная дисхрония и признаки дисфункции сиалоцитов. Слабо или умеренно выражены склероз и отек перидуктальной и междольковой стромы, иногда с фрагментацией паренхиматозных долек, очаги липоматоза стромы, выражено полнокровие микроциркуляторного сосудистого русла. Дилатация отдельных внутри- и междольковых протоков. В строме слабо или умеренно выраженная диффузная лимфоидная и лимфо-макрофагальная инфильтрация без её распространения на паренхиматозные дольки. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 120.