Физическое материаловедение

Научная статья
УДК 620.22
DOI: https://doi.org/10.18721/JPM.15106

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРЫВА КОГЕЗИОННЫХ СВЯЗЕЙ В МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Н. В. Илясова [1] ✉, О. В. Кондракова [1], А. И. Кудюкин [2], Е. Н. Моос [2]

[1] Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, г. Рязань, Россия;

[2] Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, г. Рязань, Россия

✉ ilyasowa-natalya@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования поверхности разрыва на модельном объекте – инородном материале, который связывает компонент с костной тканью. В процессе работы использованы металлические и керамические брекеты. Фиксирование брекетов проведено в идентичных условиях с использованием одинаковых материалов по стандартному прямому методу фиксации. Участки поверхности костной ткани исследовали при снятии брекета, с помощью метода атомно-силовой микроскопии (АСМ). Благодаря применению опции «анализ», имеющейся у сканирующего зондового микроскопа, шероховатость исследуемых поверхностей была переведена в цифровую характеристику. Установлено, что среднее значение шероховатости поверхности разрыва (при снятии) для металлической брекет-системы составило 241 нм, а для керамической – 156 нм, что указывает на более чем полуторократное различие. Полученный результат может быть полезен в практической медицине при выборе брекет-системы.

Ключевые слова: брекет, костная ткань, поверхность разрыва, атомно-силовая микроскопия, поверхностное профилирование, растровое изображение

Для цитирования: Илясова Н. В., Кондракова О. В., Кудюкин А. И., Моос Е. Н. Сравнительный анализ поверхностей разрыва когезионных связей в многослойных системах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2022. Т. 15. № 1. С 62–69. DOI: https://doi.org/10.18721/ JPM.15106

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Original article
DOI: https://doi.org/10.18721/JPM.15106

SURFACES OF COHESIVE BONDS' FRACTURE IN THE MULTILAYER SYSTEMS: A COMPARATIVE ANALYSIS

N. V. Ilyasowa [1] ✉, O. V. Kondrakova [1], A. I. Kudyukin [2], E. N. Moos [2]

[1] Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia;

[2] Ryazan State University named for S. A. Yesenin, Ryazan, Russia

✉ ilyasowa-natalya@mail.ru

© Илясова Н. В., Кондракова О. В., Кудюкин А. И., Моос Е. Н., 2022. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

Abstract. Studies of the fracturing surfaces on foreign material as a model object that binds a component to bone tissue have been carried out. Metal and ceramic brackets were used during operation. Brackets were fixed using the same materials under the identical conditions, according to the standard direct fixing procedure. Areas of the bone surfaces were investigated (when brackets removed) with the aid of scanning atomic force microscopy (AFM). The studied roughness was digitized owing to the 'analysis' microscope option. As a result, the average value of the fracture surface roughness was found (when removed) to be 241 nm for the metal bracket systems and 156 nm for the ceramic ones. Ultimately, the difference was more than one and a half. This is useful in practical medicine when choosing a bracket system.

Keywords: bracket system, bone tissue, discontinuity surface, atomic force microscopy, surface profiling

For citation: Ilyasowa N. V., Kondrakova O. V., Kudyukin A. I., Moos E. N., Surfaces of cohesive bonds' fracture in the multilayer systems: A comparative analysis, St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. 15 (1) (2022) 62–69. DOI: https://doi.org/10.18721/JPM.15106

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Введение

Проблема физического материаловедения играет ключевую роль в медицинской отрасли. Известно, что существует проблема совместимости тканей живого организма с чужеродными материалами, например, при протезировании костей и суставов [1 – 7], фиксации брекет-систем. Данный аспект важен в связи с созданием многослойной структуры, основу которой представляет костная ткань, связующее вещество и металл или керамика. В настоящее время ортодонтическое лечение представлено большим выбором конструкций, в частности, для коррекции прикуса, выравнивания положения зубов применяют как съемные, так и несъемные ортодонтические аппараты [8 – 11]. Известно, что среди несъемных конструкций на стоматологическом рынке применяется эджуайз-техника (брекет-система). При их снятии существует риск повреждения зубной эмали, что может привести к появлению на ней трещин. Интерес практических врачей-ортодонтов состоит в исследовании прочности соединения и наличия остатков клея под ортодонтическими конструкциями; последнее может оказывать негативное влияние при потреблении пациентом каких-либо химических реагентов [12].

Однако авторам настоящей статьи неизвестны работы, касающиеся топологии поверхности разрыва, которая должна служить в качестве оценивающего параметра. Данный аспект проблемы позволяет прогнозировать эффективность тех или иных технологических приемов.

Цель данного исследования – выявить особенности поверхностей разрыва металлических и керамических брекетов.

Объекты и методы исследования

Характер разрыва поверхностей исследовали для двух брекет-систем, созданных одной компанией-производителем (3M Unitek, США): металлические Victory Series™ и керамические Clarity™. На малой выборке были подготовлены биопрепараты человеческих зубов, не пораженных кариесом и удаленных по ортодонтическим (ретинированные, дистопированные) и пародонтологическим показаниям.

Подготовку биопрепаратов осуществляли следующим образом. Поверхности всех зубов промывали в проточной воде, очищали от зубного налета при помощи циркулярных щеточек и полировочной пасты (Detartrine, Septodont). Подготовленные биопрепараты до проведения исследования хранили в физиологическом растворе (0,9%-ый раствор хлорида натрия). Фиксацию брекетов выполняли в соответствии с общепринятым

© Ilyasowa N. V., Kondrakova O. V., Kudyukin A. I., Moos E. N., 2022. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

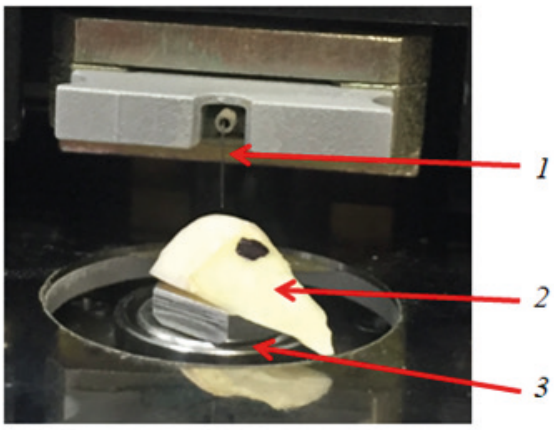

Рис. 1. Закрепленный образец зуба (*2*) на предметном столике (*3*) сканера и кантилевер (*1*) сканирующего зондового микроскопа

протоколом. Образцы зубов протравливали 37%-ым гелем ортофосфорной кислоты (ТРАВЕКС-37, Омега) в течение 30 с, затем удаляли гель с обрабатываемого участка путем обильного орошения воды и просушивали до полусухого меловидного состояния эмали.

На зубную эмаль и на основание брекета наносили праймер TRANSBOND XT (3M Unitek). Праймер активировали полимеризационной светодиодной лампой, излучающей на длинах волн 400 – 500 нм (УФ диапазон), в течение 40 с. Затем на основание брекета наносили светоотверждаемый адгезив TRANSBOND XT (3M Unitek) и фиксировали брекет на поверхности зуба, предварительно убрав избыток материала. Затем этот брекет отверждали при экспозиции светом на мезиальной, а затем на дистальной стороне брекета (в обоих случаях в течение 10 с). На одном зубе зафиксировали одновременно оба брекета (металлический и керамический). Через 7 дней производили снятие системы с помощью атравматичных специальных щипцов. Затем с помощью поверхностного профилирования методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) исследовали участки поверхности каждого зуба. На рис. 1 показан образец зуба *2*, закрепленный на предметном столике *3*. При движении кантилевера *1* по исследуемой поверхности разрыва фиксируется ее профиль, из которого формируется растровое изображение.

У сканирующего зондового микроскопа есть опция «анализ», которая позволила перевести шероховатость исследуемой поверхности в цифровую характеристику.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты вышеописанной измерительной процедуры представлены на рис. 2 – 4. По окончании сканирования поверхностей разрыва связующей системы многослойной структуры (зубная эмаль – клеящая система – брекет) был проведен сравнительный анализ растровых изображений по двум ортогональным направлениям. На всех указанных иллюстрациях показаны линии сканирования кантилевера, вдоль которых измерялась шероховатость.

Сканирование велось по линиям *1* – *6*, которые указаны на рис. 2, *a*, *b* и 3, *a*, *b*. Выявлены перепады высот порядка 200 нм вдоль одного профиля. В частности, при сканировании вдоль выбранного направления профиля *1* установлено, что при значении координаты $x = 0{,}036$ происходит скачок по высоте y в диапазоне значений 0,63 – 0,84 (рис. 2, *c*). При сканировании вдоль профиля *4* наблюдался скачок по высоте y в диапазоне значений 0,16 – 0,43 при значении координаты $x = 0{,}037$ (рис. 3, *c)*.

Далее, на рис. 4, *a*,*b* представлены рельефы поверхностей (в декартовой системе координат), полученные после снятия металлического (4,*a*) и керамического (4,*b*) брекетов.

В таблице приведены значения средней шероховатости поверхности разрыва от металлических и керамических брекетов. На рис. 5 представлена диаграмма значений средней шероховатости поверхности зуба, которая показывает значительные вариации данной характеристики. Мы наблюдали неровности (пики и впадины) от 575,8 до –836,0 нм.

Сравнительный анализ результатов, представленных в таблице, показывает, что значения средней шероховатости поверхностей разрыва зубной эмали лежат в диапазоне от 143,4 до 212,0 нм у керамических брекетов и в диапазоне от 180,4 до 253,6 нм у металлических. Интегральный же результат средней шероховатости поверхности разрыва составил еще большую разницу: в диапазоне 74,79 – 212,0 нм у керамических и 143,4 – 391,6 нм у металлических. При одинаковом выборе материала и метода фиксации, металлическая брекет-система при снятии приводит к появлению неровности, значения

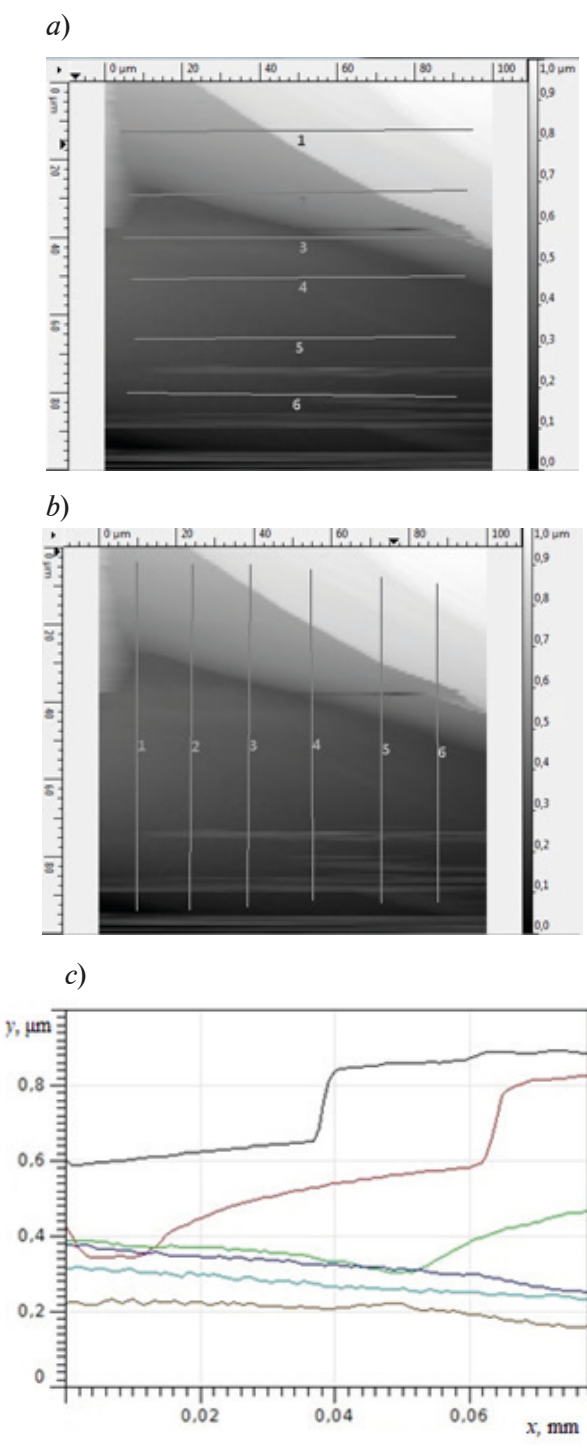

Рис. 2. Зависимости высоты рельефа от координаты сканирования по двум ортогональным направлениям (*a*, *b*) и график сканирования поверхности после снятия керамического брекета (*c*)

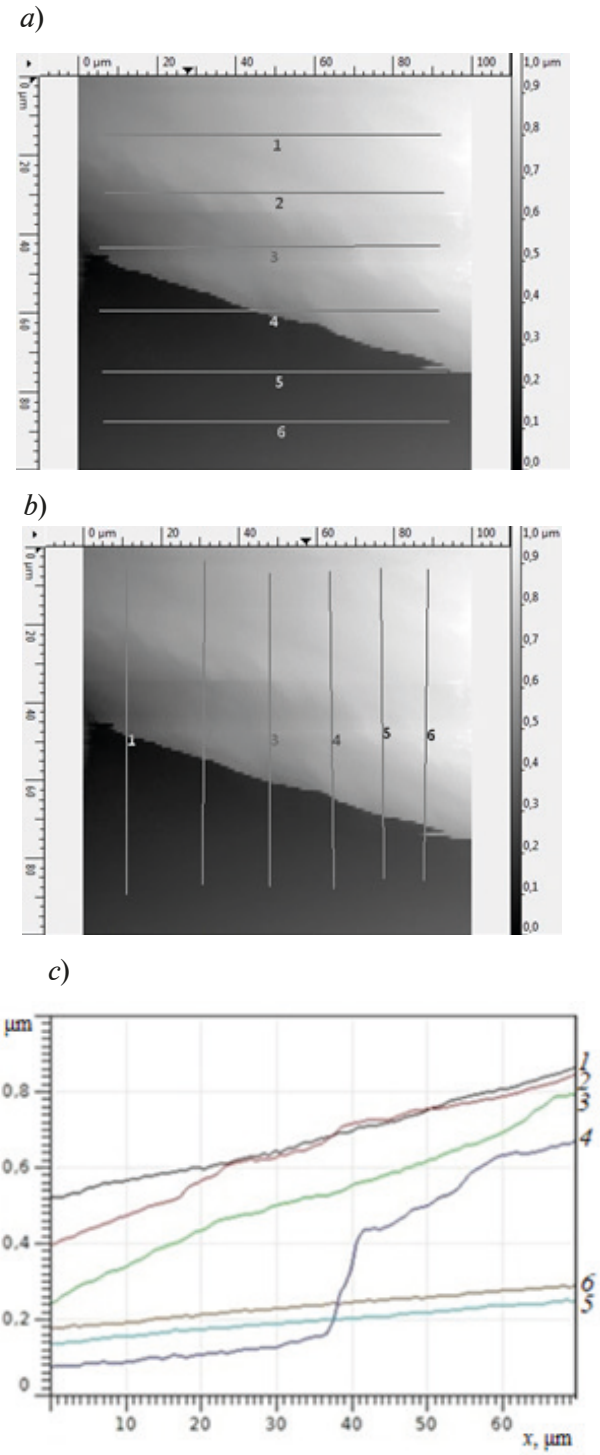

Рис. 3. То же, что на рис. 2, но для металлического брекета

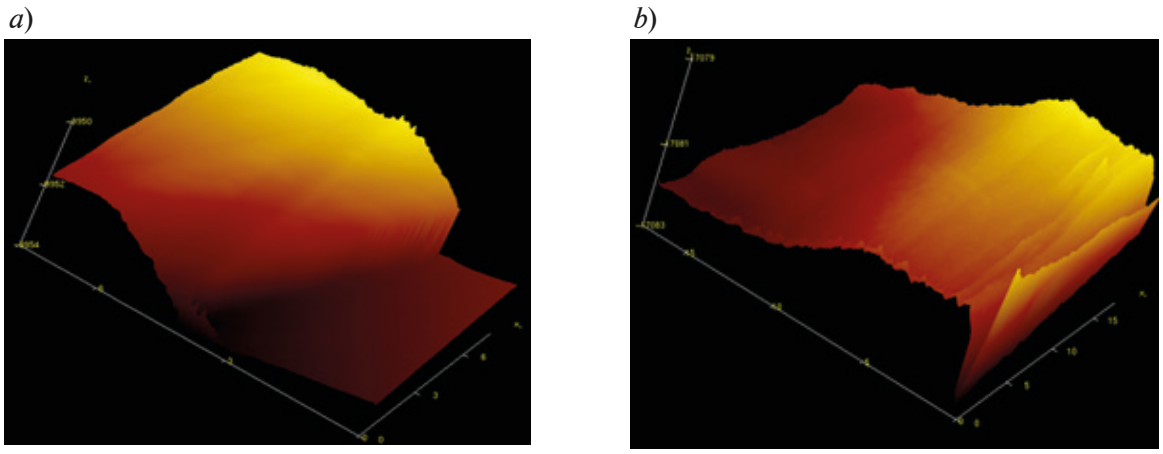

Рис. 4. Растровые 3D-изображения поверхностей, полученные после снятия металлического (*a*) и керамического (*b*) брекетов

Таблица

Результаты измерения средней шероховатости поверхности разрыва при снятии двух типов брекетов

Номер образца	Средняя шероховатость поверхности, нм	
	Металлический брекет	Керамический брекет
1	253,6	212,0
2	232,8	155,8
3	255,7	140,0
4	391,6	74,79
5	180,5	138,2
6	228,9	190,9
7	180,4	143,4

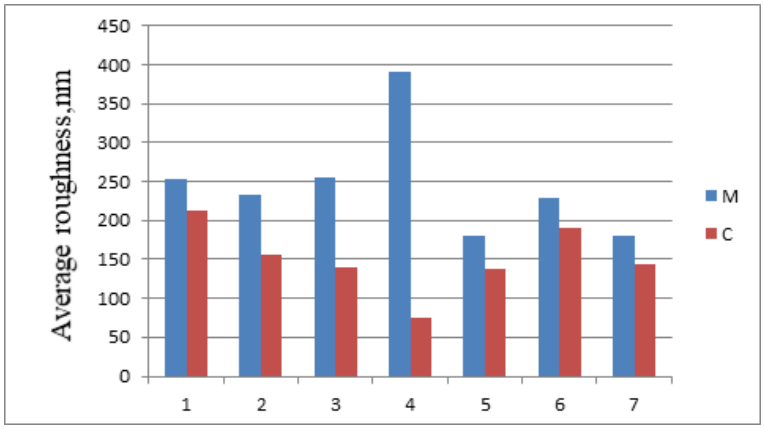

Рис. 5. Диаграмма значений средней шероховатости поверхностей зубов после снятия металлической (М) и керамической (С) брекет-систем. По горизонтальной оси отложены номера образцов (см. таблицу)

которой превышают таковую для керамической более чем в полтора раза. Развитость шероховатости, выраженная в числах, указывает на то, насколько прочным будет процесс сцепления в трехслойных композициях.

Заключение

Различие используемых конструкций и материалов, последовательность операций и приемов фиксации брекетов как на подготовительных, так и на основных этапах процедуры позволяет построить и предложить совершенствование технологического процесса, осуществляемого в стоматологической практике. Полученные в работе и представленные в статье результаты могут принести пользу в практической медицине при выборе брекет-системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Синани И. Л., Щурик А. Г., Осоргин Ю. К., Бушуев В. М.** Углерод-углеродные материалы для ортопедии и травматологии // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16. № 2. С. 74–82.

2. **Гаврюшенко Н. С., Батраков С. Ю., Баламетов С. Г.** Сравнительная характеристика механико-прочностных свойств углеродного наноструктурного имплантата и нативной кости // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2020. Т. 19. № 1. С. 108–115.

3. **Федосеев А. В., Литвинов А. А., Чекушин А. А., Филоненко П. С., Аль Мансур А. Ю., Юрчикова Е. Е.** Качество жизни пациентов после тотального цементного и бесцементного эндопротезирования тазобедренного сустава // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2014. Т. 22. № 4. С. 121–125.

4. **Шевцов В., Мушкин А., Сергеев К., Скрябин В., Шатохин В., Эргашев О.** Углерод: новые грани его использования в медицине // Медицинская газета. № 86 от 19 ноября 2014. С. 7–10.

5. **Назаров Е. А., Рябова М. Н.** Применение отечественных имплантатов в эндопротезировании тазобедренного сустава // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2007. Т. 15. № 2. С. 13–20.

6. **Кузьманин С. А., Назаров Е. А., Веснов И. Г.** Экспериментальное исследование сил сцепления композиционного материала из фосфата кальция и германия с костью // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2016. Т. 24. № 2. С. 92–100.

7. **Рябова М. Н., Назаров Е. А., Зубов А. А., Подъяблонская И. А.** Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава при двухстороннем анкилозе // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2017. № 2. С. 265–270.

8. **Chetan P., Tandon P., Singh G. K., Nagar A., Prasad V., Chugh V. K.** Dynamics of a smile in different age groups // The Angle Orthodontist. 2013. Vol. 83. No. 1. Pp. 90–96.

9. **Sarver D. M.** Interactions of hard tissues, soft tissues, and growth over time, and their impact on orthodontic diagnosis and treatment planning // American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. 2015. Vol. 148. No. 3. Pp. 380–386.

10. **Pitts T. R.** Bracket positioning for smile arc protection // Journal of Clinical Orthodontics. 2017. Vol. 51. No. 3. Pp. 142–156.

11. **Proffit W., Fields H., Larson B., Sarver D.** Contemporary orthodontics. 6th ed. Philadelphia, USA: Elsevier, 2018. 160 p.

12. **Pulgaonkar R., Chitra P.** Stereomicroscopic analysis of microleakage, evaluation of shear bond strengths and adhesive remnants beneath orthodontic brackets under cyclic exposure to commonly consumed commercial "soft" drinks // Indian Journal of Dental Research. 2021. Vol. 32. No. 1. Pp. 98–103.

REFERENCES

1. **Sinani I. L., Shchurik A. G., Osorgin Yu. K., Bushuev V. M.,** Carbon-carbon composites for orthopaedics and traumatology, Russian Journal of Biomechanics. 16 (2(56)) (2012) 66–73.

2. **Gavryushenko N. S., Batrakov S. Yu., Balametov S. G.,** Comparative characteristic of mechanical strength properties of the carbon nanostructural implant and native bone, Vestnik of the Smolensk State Medical Academy. 19 (1) (2020) 108–115 (in Russian).

3. **Fedoseev A. V., Litvinov A. A., Chekushin A. A., et al.,** Quality of life in patients after total cement or cementless hip arthroplasty, I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald. 22 (4) (2014) 121–125 (in Russian).

4. **Shevtsov V., Mushkin A., Sergeyev K., et al.,** Uglerod: novyye grani yego ispolzovaniya v meditsine [Carbon: New facets of its use in medicine], Meditsinskaya gazeta [Medical Newspaper], No. 86, November 19, 2014 (in Russian).

5. **Nazarov E. A., Ryabova M. N.,** Application domestic implants in total hip arthroplasty, I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald. 15 (2) (2007) 13–20 (in Russian).

6. **Kuzmanin S. A., Nazarov E. A., Vesnov I. G.,** Composite material based on calcium phosphate and germanium (experimental study), I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald. 24 (2) (2016) 92–100 (in Russian).

7. **Ryabova M. N., Nazarov E. A., Zubov A. A., Podyablonskaya I. A.,** Total hip replacement in bilateral ankyloses, Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium). (2) (2017) 271–276.

8. **Chetan P., Tandon P., Singh G., et al.,** Dynamics of a smile in different age groups, Angle Orthod. 83 (1) (2013) 90–96.

9. **Sarver D. M.,** Interactions of hard tissues, soft tissues, and growth over time, and their impact on orthodontic diagnosis and treatment planning, Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 148 (3) (2015) 380–386.

10. **Pitts T. R.,** Bracket positioning for smile arc protection, J. Clin. Orthod. 51 (3) (2017) 142–156.

11. **Proffit W., Fields H., Larson B., Sarver D.,** Contemporary orthodontics, 6th ed., Elsevier, Philadelphia, 2018.

12. **Pulgaonkar R., Chitra P.,** Stereomicroscopic analysis of microleakage, evaluation of shear bond strengths and adhesive remnants beneath orthodontic brackets under cyclic exposure to commonly consumed commercial "soft" drinks, Indian J. Dent. Res. 32 (1) (2021) 98–103.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ИЛЯСОВА Наталья Викторовна – *ординатор кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии Рязанского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова, г. Рязань, Россия.*
390026, Россия г. Рязань, Высоковольтная ул., 9
ilyasowa-natalya@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8248-4309

КОНДРАКОВА Ольга Владимировна – *кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии и ортодонтии, врач-ортодонт Рязанского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова, г. Рязань, Россия.*
390026, Россия г. Рязань, Высоковольтная ул., 9
kov0177@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4889-5566

КУДЮКИН Александр Игоревич – *аспирант кафедры общей и теоретической физики и методики преподавания физики Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина, г. Рязань, Россия.*
390000, Россия, г. Рязань, ул. Свободы, 46
a.kudykin@rsu.edu.ru
ORCID: 0000-0002-1213-4837

МООС Евгений Николаевич – *доктор технических. наук, профессор кафедры общей и теоретической физики и методики преподавания физики Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина, г. Рязань, Россия.*
390000, Россия, г. Рязань, ул. Свободы, 46
e_moos@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3831-7882

THE AUTHORS

ILYASOWA Natalya V.
Ryazan State Medical University
9, Vysokovol'tnaya St., Ryazan, 390026, Russia
ilyasowa-natalya@mail.ru
ORCID: 0000-0001-8248-4309

KONDRAKOVA Olga V.
Ryazan State Medical University
9, Vysokovol'tnaya St., Ryazan, 390026, Russia
kov0177@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4889-5566

KUDYUKIN Aleksandr I.
Ryazan State University named for S. A. Yesenin
40, Svobody St., Ryazan, 390000, Russia
a.kudykin@rsu.edu.ru
ORCID: 0000-0002-1213-4837

MOOS Evgeniy N.
Ryazan State University named for S. A. Yesenin
40, Svobody St., Ryazan, 390000, Russia
e_moos@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3831-7882

Статья поступила в редакцию 14.11.2021. Одобрена после рецензирования 15.12.2021. Принята 15.12.2021.
Received 14.11.2021. Approved after reviewing 15.12.2021. Accepted 15.12.2021.

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2022