

**ВОЗМОЖНОСТЬ КЛИНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСЪЕМНЫХ ОРТОПЕДИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СИНТЕРИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ПОСЛЕ ИХ
ОБРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА
(ИССЛЕДОВАНИЕ *IN VITRO*)**

Б.Р. ШУМИЛОВИЧ, В.В. РОСТОВЦЕВ, С.Н. КРЮКОВА, Е.С. СТАНИСЛАВЧУК, А.М. ФОНШТЕЙН

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Минздрава
России, ул. Студенческая, д. 10, г. Воронеж, 394036, Россия, e-mail: bogdanshum@gmail.com

Аннотация. Введение. Диоксид циркония обладает высокой механической стойкостью, кроме того он является полностью биосовместимым материалом. Развитие CAD/CAM технологий сделало возможным клиническое использование конструкций из диоксида циркония в стоматологии. Физические и механические свойства диоксида циркония обуславливают особенности его механической обработки в клинической стоматологической практике при необходимости проведения манипуляций непосредственно в полости рта. **Цель исследования** – определить характер механического воздействия на структуру образцов из керамики на основе диоксида циркония при её обработке различными алмазными инструментами, и оценка пригодности инструмента с различным способом фиксации абразива при многократном применении для дальнейшего использования. **Материалы и методы исследования.** Образцы на основе метастабильного тетрагонального диоксида циркония, изготовленные в зуботехнической лаборатории и стандартизированные по толщине (1 мм). Оценку влияния механических напряжений на структуру и свойства исходного материала проводили методом перфорации образца алмазными борами, содержащими специальный абразив для обработки циркония. Исследовались боры с различным типом фиксации абразива: №1 – цельноспеченный алмазный бор с синтетическим абразивом, закрепленным по типу ERA; №2 – алмазный бор с композитной фиксацией абразива; №3 – алмазный бор с нанесением и фиксацией абразива методом гальванопластики. Методом сканирующей электронной микроскопии получали изображения результатов механического воздействия боров на образцы диоксида циркония при однократном использовании бора. **Результаты и их обсуждение.** Даже при однократном применении только цельноспеченные боры полностью сохраняют микроструктуру диоксида циркония, что позволяет в дальнейшем работать с образцами с использованием адгезивной техники. Боры с композитным креплением абразива вызывают частичное разрушение кристаллической решетки диоксида циркония с возможностью использования ортопедической конструкции в виде временного протеза. Гальванопластические боры полностью разрушают кристаллическую решетку и структуру образца диоксида циркония.

Ключевые слова: стоматология, диоксид циркония, алмазный инструмент, несъемное протезирование.

**THE POSSIBILITY OF CLINICAL USE OF FIXED ORTHOPEDIC STRUCTURES MADE
OF SINTERED ZIRCONIUM DIOXIDE AFTER THEIR TREATMENT WITH VARIOUS TYPES
OF DIAMOND TOOLS (IN VITRO STUDY)**

B.R. SHUMILOVICH, V.V. ROSTOVTSSEV, S.N. KRYUKOVA, E.S. STANISLAVCHUK, F.M. FONSTEIN

N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Studencheskaya Str., 10, Voronezh, 394036, Russia,
e-mail: bogdanshum@gmail.com

Abstract. Introduction. Zirconium dioxide has a high mechanical resistance and it is completely biocompatible. The development of CAD/CAM technology has made possible the clinical use of zirconium dioxide structures in dentistry. But, all of the above physical and mechanical properties of zirconium dioxide determine the features of its mechanical processing in clinical dental practice, if it is necessary to carry out manipulations directly in the oral cavity. **The research purpose** was to determine the nature of the mechanical impact on the structure of samples made of ceramides based on zirconium dioxide when it is processed with various diamond tools, and to assess the suitability of tools with different methods of fixing the abrasive with multiple applications for further use. **Material and methods.** The material of the study is samples based on metastable tetragonal zirconium dioxide manufactured in a dental laboratory and standardized in thickness (1 mm). The influence of mechanical stresses on the structure and properties of the source material was evaluated by perforating the sample with diamond bores containing a special abrasive for processing zirconium. Bores with different types of abrasive fixation were studied: №1-diamond boron with synthetic abrasive fixed by ERA type; №2-diamond boron with composite fixing of imported abrasive; №3 – edematous diamond boron with applying and fixing the

abrasive by electroplating. Scanning electron microscopy was used to obtain images of the results of mechanical action of boron on samples of zirconium dioxide with a single and five-fold use of boron. We investigated the structure of the diamond tool itself for its suitability for further use. **Results and discussion.** Even with a single use, only solid-sintered burs completely retain the microstructure of zirconium dioxide, which allows further work with samples using the adhesive technique. Burs with a composite abrasive attachment cause partial destruction of the crystal lattice of zirconium dioxide with the possibility of using an orthopedic construction in the form of a temporary prosthesis. Electroforming burs completely destroy the crystal lattice and structure of the zirconium dioxide sample.

Keywords: dentistry, zirconium dioxide, diamond instrument, non-removable prosthetics.

Введение. В последнее десятилетие идет стремительное развитие CAD/CAM технологий в стоматологии, в первую очередь – при изготовлении циркониевых коронок. Циркониевая коронка создается практически без участия человека, что исключает риск возникновения врачебной ошибки в процессе производства конструкции [2, 3]. Циркониевые коронки обладают превосходными свойствами – высокой механической прочностью и максимальной эстетикой: легкой прозрачностью, свойственной натуральной зубной ткани, способность в точности повторять естественные оттенки эмали, создавая идеальную улыбку [4-6]. Циркониевые коронки имеют небольшую толщину, и это позволяет минимизировать обточку эмали [7]. Неудивительно, что циркониевые коронки занимают все большую долю в стоматологии, и постепенно вытесняют с рынка менее прогрессивные материалы [8].

Основным сырьем для производства диоксида циркония является минерал циркон ($ZrSiO_4$) [8]. Циркон ($ZrSiO_4$) это материал, принадлежащий к классу минералов солей кремниевой кислоты, который был открыт М.Г. Клапротом в 1789 г.

Диоксид циркония получают из него путем химической обработки с помощью добавок. Полученный реагентный порошок смешивается с присадками. Разграничивают агломерационные присадки, которые оказывают воздействие на характеристики спекания и характеристики готовой керамики, и вспомогательные материалы, которые способствуют формообразованию. Соответственно, заготовки из диоксида циркония изготавливаются путем различных методик [9].

В то время, как агломерирующие добавки остаются в диоксиде циркония, вспомогательные материалы, которые, кроме воды, являются в основном легкоиспаряющимися органическими соединениями, удаляются из отливки диоксида циркония перед процессом агломерации, не оставляя никаких следов [10-12]. И хотя этот материал подвергается процессу предварительного спекания, материал остается способным к обработке с помощью боров, сделанных из карбида вольфрама. Объект вырезается фрезой из блока циркона, мягкого как мел, размер которого примерно на 25% больше, чем размер планируемого объекта. Потом выполняется окончательная агломерация при температуре 1500 °C, и, таким образом, достигается его конечная консистенция. Во время этого процесса объект дает усадку на 20% [10]. Только в процессе окончательной агломерации структуры действительно приобретают свои подлинные характеристики. Уплотнение частиц порошка диоксида циркония происходит путем уменьшения удельной поверхности. Данный процесс достигается с помощью термозависимых диффузионных процессов с изменением частоты поверхности, межзеренной границы и диффузионного объема. Если твердотельная диффузия проходит слишком медленно, процесс агломерации может проводиться под давлением [12]. Это называется горячим прессованием или горячим изостатическим прессованием («HIP процесс») циркона. Характеристики такой цирконовой керамики зависят в большей степени от химического состава материала и процесса изготовления (по данным *Enzo Luciano*) [3, 13].

Таким образом, диоксид циркония (ZrO_2) это соединение элемента циркония, встречающегося в природе, который применяется в ортопедической стоматологии уже на протяжении 10-15 лет. Он частично стабилизируется иттрием и обогащается алюминием [3]. Это дает ему такие положительные характеристики, как прочность на изгиб (> 1400 МПа*), жесткость (1200 Твердость по Виккерсу*) и модуль Вейбулла 15,84 (значение для *ICE Zirconia Translucent*) [4, 14].

Кроме того, что циркон обладает высокой стойкостью, он еще и является полностью биосовместимым материалом [10]. Вот почему он все больше и больше используется в медицине (области органов слуха, ортопедии) и стоматологии (штифты, коронки, реставрация зубных протезов, имплантаты). В промышленности он используется уже в течение более 40 лет. Белый основной цвет циркона, возможность окрашивания в цвета дентина и биотехнологические характеристики позволяют изготавливать биосовместимые, высококачественные и эстетические стоматологические конструкции.

Развитие CAD/CAM технологий сделало возможным клиническое использование конструкций из цельного циркона.

Все вышеперечисленные физические и механические свойства диоксида циркония обуславливают особенности его механической обработки в клинической стоматологической практике.

В условиях зуботехнической лаборатории заготовки обрабатываются в фрезероальных системах с помощью специальных фрез из карбид вольфрамовой стали. В камере системы создаются оптимальные

условия для фрезерования (температурный режим, подача охлаждающего спрея, сила подачи ротационного инструмента и т.д.) [11-13].

Однако главное преимущество диоксида циркония, как его высокая прочность – становится его серьезным недостатком, который проявляется при необходимости повторного лечения каналов зуба. Множество клиницистов по всему миру сталкиваются с необходимостью сделать отверстие в циркониевой коронке или мосте при перелечивании [5, 6].

В отдельных случаях этим локальным вмешательством обойтись невозможно и требуется полный съем коронки или мостовидного протеза, что ставит сложную задачу по распиливанию циркония в полости рта.

Существующие на рынке инструменты – алмазные боры и фрезы, изготовленные гальваническим способом – с большим трудом справляются с этой задачей. Циркон – материал очень твердый и прочный, процедура сверления или разрезания чрезвычайно трудоемкая. Врач тратит много времени, при этом стираются 4-5 алмазных боров, а в отдельных случаях выполнить операцию вообще невозможно. Также, видимо, есть риск повредить роторную часть турбинного наконечника и вывести из строя дорогостоящее оборудование [6].

Для пациента процедура перфорации коронки крайне неприятная, занимает много времени (до 10-15 минут), и сам процесс причиняет серьезные страдания пациенту. А главное – в результате происходит перегрев материала коронки и тканей зуба, возникает сеть микротрещин в коронке. Это ведет к ухудшению ее эстетического вида – в микротрещины попадают остатки пищи, меняется их цвет. Но главная проблема в данном случае – это риск расцементирования и последующая травма рядом стоящих зубов [15].

Какова доля случаев, требующих перелечивания зубов, покрытых циркониевыми коронками? Перелечивание каналов необходимо через разные сроки по окончанию лечения, Точный процент высчитать сложно, можно только сделать примерную оценку. По существующим данным исследователей, успех первичной эндодонтии составляет 95% (67-70% по данным *S. Koen*) в витальных зубах и 85% (45) в зубах с апикальным периодонтитом, соответственно от 5 до 15% случаев создают необходимость в перелечивании. Но так как большинство исследований проводили специалисты, то среди обычных стоматологов эти цифры совсем другие [16, 17].

Цель исследования – определить характер механического воздействия на структуру образцов несъемных ортопедических конструкций из диоксида циркония при их обработке различными алмазными инструментами, и оценка пригодности обработанной конструкции для дальнейшего клинического использования.

Материалы и методы исследования. В качестве исследуемого материала использовали образцы, изготовленные в зуботехнической лаборатории и стандартизированные по толщине (1 мм). Оценка микроструктуры исходного материала проводили после перфорации образцов алмазными борами. Для исследования применялись три типа алмазных боров: №1 – цельноспеченный алмазный бор с синтетическим абразивом; №2 – специализированный алмазный бор с композитной фиксацией абразива и №3 – стандартный алмазный бор с нанесением и фиксацией абразива методом гальванопластики. Соответственно образец №1 обрабатывался бором №1, образец №2 – бором №2 и образец №3 – бором №3 соответственно. Образец №0 не обрабатывался (контрольный).

Методом сканирующей электронной микроскопии, в котором используется сканирование по исследуемой поверхности сфокусированного пучка электронов, были получены изображения результатов механического воздействия боров на образцы диоксида циркония при однократном и пятикратном использовании бора.

Исследовался 31 образец диоксида циркония. 1 образец служил контрольным, остальные 30 подверглись обработке борами. Образцы после обработки бором (по 10 образцов для каждой группы, всего 30 образцов) изучались по описанной выше методике при увеличениях $\times 2000$, $\times 5000$ и $\times 10000$. Статистическая обработка проводилась по методике наложения изображений на соответствующих увеличениях по дистанционным маркерам с расчетом когерентного накопления.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлено изображение контрольного (механически не поврежденного) образца диоксида циркония при различных уровнях магнификации.

Описывая характер микроструктуры образцов диоксида циркония представленной на рис. 2-4, необходимо отметить, что только цельноспеченные и специализированные алмазные боры с композитной фиксацией абразива обладают достаточной эффективностью в плане сохранения микроструктуры образца. Образец №1, который обрабатывался цельноспеченным бором имеет наиболее отвесные края перфорационного отверстия по сравнению с образцами №2 и №3, что свидетельствует о более высоких абразивных характеристиках данного бора. Воронкообразность перфорации указывает на присутствие при механической обработке значительного внешнего усилия для обеспечения режущих характеристик инструмента. Также на образце №1 наблюдается наименьшее нарушение целостности микроструктуры, что особенно наглядно определяется при увеличениях $\times 2000$ -5000.

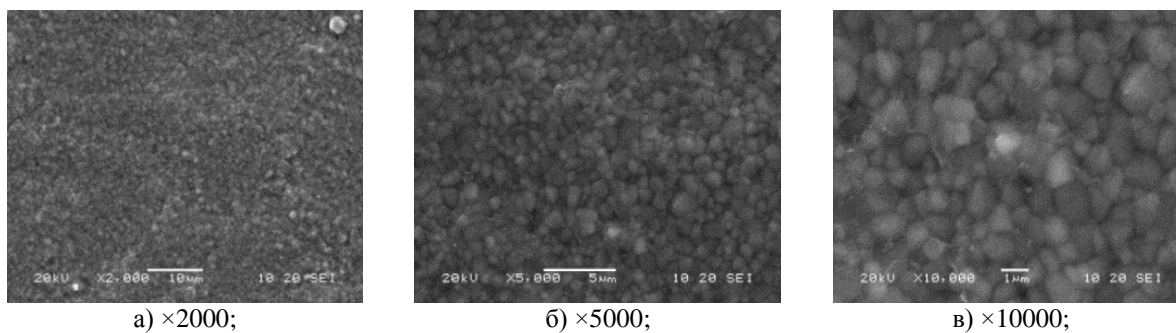


Рис. 1. СЭМ контрольного образца диоксида циркония (образец №0)

На рис. 2-4 представлены образцы после использования применяемых алмазных боров.

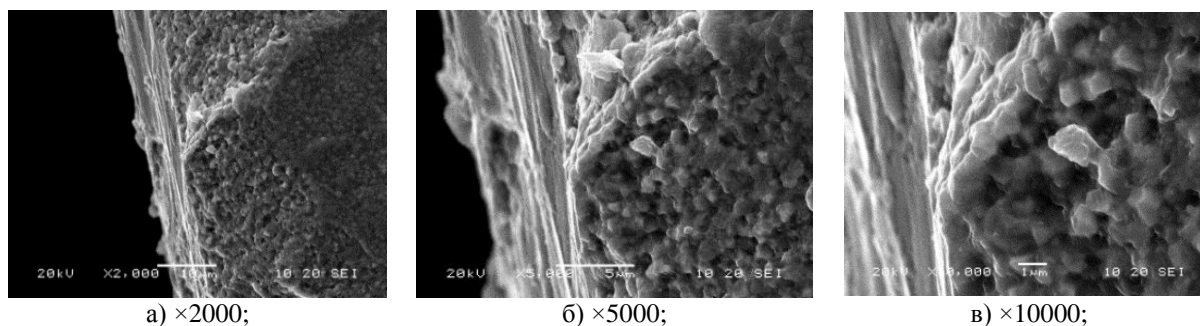


Рис. 2. СЭМ образца диоксида циркония после обработки цельноспеченным алмазным бором (образец №1)

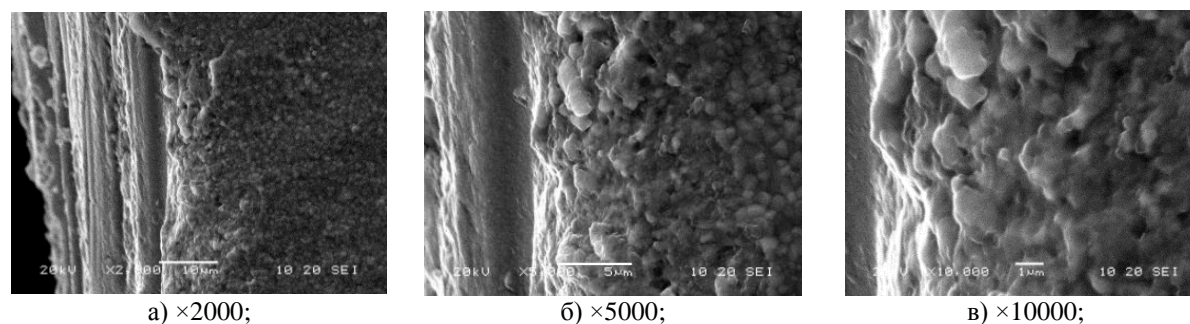


Рис. 3. СЭМ образца диоксида циркония после обработки алмазным бором с композитной фиксацией (образец №2)

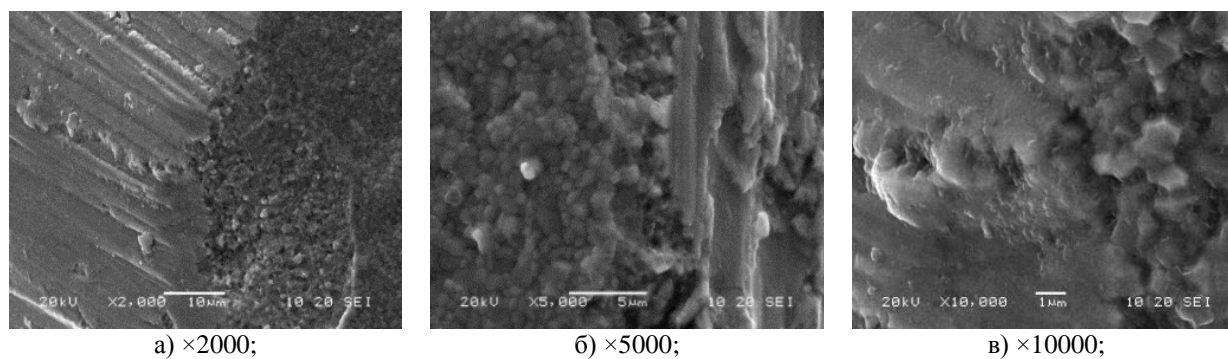


Рис. 4. СЭМ образца диоксида циркония после обработки алмазным бором с гальванопластической фиксацией (образец №3)

На образце №2, где применялся специализированный алмазный бор с композитной фиксацией абразива, отмечается незначительное нарушение монолитности кристаллической структуры диоксида циркония без нарушения ее целостности ($\times 2000-10000$). Целостность микроструктуры, определяемая при различных уровнях магнификации при исследовании образцов №1 и №2, позволяет применять адгезивные технологии при реставрации дефекта с сохранением и дальнейшим клиническим использованием стоматологической конструкции. Наибольшее нарушение микроструктуры диоксида циркония с нарушением целостности кристаллической решетки и наличием трещин, что делает адгезивную подготовку образца невозможной, определяли при исследовании образца №3.

Общий вид образцов диоксида циркония с различной кратностью увеличения после механической обработки алмазным инструментом представлен на рис. 2-4. Структура обработанной поверхности характеризуется совокупностью впадин и выступов, образованных в процессе деформации алмазными зернами инструмента. Его рельеф наглядно характеризует степень абразивности применяемого бора. Отличительной особенностью морфологии образцов в зависимости от применяемого инструмента является размер и структура зерен керамики в материале конструкции после ее обработки. Боры с использованием композитной технологии фиксации абразива дают более четкую границу отверстия, отсутствие зерен на обрабатываемой поверхности, но впадины и выступы более глубокие, шаг выступов и впадин несколько больше по сравнению с цельноспечеными алмазными борами. Наилучшее применение показали боры на основе фиксации алмазного абразива по технологии ERA (цельноспеченные). Отверстие имеет практически отвесные края, видоизмененные зерна на поверхности отверстия отсутствуют, выступы и выемки имеют практически одинаковый размер.

В целом необходимо отметить удовлетворительное состояние микроструктуры вышеуказанных исследуемых образцов и их несомненную пригодность для дальнейшей работы с использованием адгезивной техники.

Результаты электронной микроскопии исследуемых образцов показали совершенную непригодность для дальнейшего использования конструкций из диоксида циркония обработанных алмазными борами с гальванической фиксацией абразива. Структура диоксида циркония имеет существенные нарушения целостности кристаллической решетки, вызванных присутствием значительных механических усилий при сверлении. На рис. 4 в микроструктуре образца отчетливо видны образовавшиеся чешуйчатые трещины, что может приводить к отслаиванию частиц керамики на выступах с образованием значительных углублений [16]. Данный образец не пригоден для дальнейшего клинического использования и такая ортопедическая конструкция нуждается в замене.

Таким образом, при перфорировании несъемных ортопедических конструкций из синтерированного диоксида циркония необходимо учитывать такие особенности материала как хрупкое разрушение, образование микротрещин и возникновение остаточных напряжений. Правильный выбор алмазного инструмента в каждом конкретном случае зависит от его износостойкости, твердости обрабатываемой поверхности, технологических параметров механической обработки и опыта врача. Выбирая алмазный инструмент нужно определить цель его использования.

Сам алмазный инструмент по-разному реагирует на деструктивное воздействие со стороны обрабатываемого материала. Так боры на основе гальванического закрепления абразива оказались наименее стойкими. Снижение абразивных свойств бора связано с затуплением и вырывами алмазных зерен. Существенным недостатком такого инструмента является выкрашивание поверхности абразива, приводящее к царапинам на обрабатываемой поверхности, а также неравномерность расположения алмазных зерен по высоте, приводящая к сколам. Инструменты, полученные методом горячего прессования, представляют собой конгломерат с равномерно распределенными запрессованными алмазными зернами в толще композитного материала. Износостойкость, стабильность свойств и долговечность такого инструмента по отношению к гальваническому выше. Однако недостаточная концентрация алмазных зерен на поверхности и по объему уменьшает его производительность. Цельноспеченные алмазные боры, изготовленные методом соединения предварительно металлизированных алмазных зерен расплавом связки при температуре свыше 1000°C в вакуумной среде, обладают самой высокой износостойкостью из рассматриваемых видов инструментов. Износостойкость обеспечивает не менее 6000 отверстий в стекле толщиной 5 мм [16]. Благодаря предельной концентрации алмазов 200-250% они обладают наивысшей абразивностью и повышенной стабильностью режущих свойств инструмента в процессе всей его эксплуатации. Однородная, гладкая форма поверхности после обработки достигается за счет расположения всех зерен на одной высоте. Мы считаем, что применение цельноспеченных алмазных боров является наиболее предпочтительным не только с точки зрения их надежности, долговечности, но и наименьшему повреждающему воздействию в процессе механической обработки на керамические конструкции.

Выводы. Таким образом, из результатов исследования следует, что морфология керамических образцов на основе ZrO_2 изменяется в процессе механического воздействия и зависит от вида применяемого бора. Так, цельноспеченные боры с синтетическим алмазным абразивом остаются работоспособными даже после их многократного применения, а структура диоксида циркония сохраняется для дальнейшей

адгезивной подготовки и композитной реставрации. Боры с композитной фиксацией абразива оказывают разрушающее действие на микроструктуру ортопедической конструкции, что предполагает ее временное дальнейшее использование, а боры с гальванопластической фиксацией абразива полностью разрушают кристаллическую решетку материала с полной невозможностью его дальнейшего клинического использования. Полученные в результате эксперимента результаты, без сомнения, имеют высокую значимость для поддержки принятия решений при выборе технологических подходов абразивной обработки несъемных ортопедических конструкций на основе диоксида циркония в клинических условиях и зуботехнической лаборатории.

Конфликт интересов: не заявляется

Литература

1. Шумилов Б.Р., Сущенко А.В., Ростовцев В.В., Санеев А.В., Мазанаев К.Н. Характеристика микроструктуры твердых тканей зуба при различных режимах иссечения // Вестник Дагестанской государственной медицинской академии. 2016. № 2 (19). С. 82–87.
2. Aldebert P., Traverse J. Structure and Ionic Mobility of Zirconia at High Temperature // J. Am. Ceram. Soc. 2006. №68(1). P. 34–40.
3. Anisimova S.V., Podzorova L.I., Shvorneva L.I. Development of the modified dental material on the basis of zirconium dioxide // Stomatology. 2011. №5. P. 10–13.
4. Bouvier P., Djurado E., Lucazeau G. High-pressure structural evolution of undoped tetragonal nanocrystalline zirconia // Phys. Rev. B. 2000. №62(13). P. 8731–8737.
5. Calikova N.A. The influence of surface abrasive treatment and temperature effects on the properties of dental ceramics based on metastable tetragonal zirconium // Russian Journal of Dentistry. 2013. №3. P. 18–21.
6. Gateshki M., Petkov V., Williams G. Atomic-scale structure of nanocrystalline ZrO₂ prepared by high-energy ball milling // Phys. Rev. B. 2005. № 71(22). P. 22–41.
7. Härders J.W., Bultmann M. From temporary to constant restoration // Новое в стоматологии. 2008. №4. С. 81–87.
8. Koval'ko N.Ju. New bioceramic materials on the basis of zirconium dioxide. Competition of youth research works: materials of works of winners and winners of a competition. Sankt-Peterburg: Polytechnical university, 2013. P. 20–21.
9. Kuwabara A., Tohei T., Yamamoto T. Ab initio lattice dynamics and phase transformations of ZrO₂. // Phys. Rev. B. 2005. № 71(6). P. 64–65.
10. Kuzin V.V., Fedorov S.Y., Grigoriev S.N. The correlation of the diamond grinding parameters with the ZrO₂-ceramics surface condition // New refractories. 2016. №11. P. 60–65.
11. Mihajlina N.A., Podzorova L.I., Rumjanceva M.N. Ceramics on the basis of tetragonal zirconium dioxide for restoration stomatology // Promising materials. 2010. №3. P. 44–48.
12. Rogov V.A., Velis A.K., Shkarupa M.I. Tools used in the process of drilling hard-machining materials // Fundamental research. 2012. №11(3). P. 645–651.
13. Shevchenko M.A., Ruban A.K., Dudnik E.V. Hi-tech ceramics on the basis of zirconium dioxide // Refractory materials and technical ceramics. 2000. №9. P. 2–8.
14. Shumilovich B.R., Shishkin A.V., Kunin V.A. Clinical advantages of use the whole sintered diamond burs when forming a ledge in clinic of orthopedic dentistry // Dental Magazine. 2012. №2. P. 26–32.
15. Shumilovich B.R., Sushhenko A.V., Rostovcev V.V. Clinical and laboratory studies on the effect of dental hard tissue excision on their microstructure // Bulletin of the Dagestan State Medical Academy. 2016. №2(19). P. 82–87.
16. Wolten G. Diffusionless Phase Transformations in Zirconia and Hafnia // J. Am. Ceram. Soc. 1963. №46(9). P. 418–422.

References

1. Shumilovich BR, Sushhenko AV, Rostovcev VV, Saneev AV, Mazanaev KN. Harakteristika mikrostruktury tverdyh tkanej zuba pri razlichnyh rezhimah issechenija [Characteristics of the microstructure of hard tooth tissues under different excision modes]. Vestnik Dagestanskoj gosudarstvennoj medicinskoj akademii. 2016;2(19):82-7. Russian.
2. Aldebert P, Traverse J. Structure and Ionic Mobility of Zirconia at High Temperature. J. Am. Ceram. Soc. 2006;68(1):34-40.
3. Anisimova SV, Podzorova LI, Shvorneva LI. Development of the modified dental material on the basis of zirconium dioxide. Stomatology 2011;5:10-3.
4. Bouvier P, Djurado E, Lucazeau G. High-pressure structural evolution of undoped tetragonal nanocrystalline zirconia. Phys. Rev. B. 2000;62(13):8731-7.
5. Calikova NA. The influence of surface abrasive treatment and temperature effects on the properties of

dental ceramics based on metastable tetragonal zirconium. Russian Journal of Dentistry 2013;3:18-21.

6. Gateshki M, Petkov V, Williams G. Atomic-scale structure of nanocrystalline ZrO₂ prepared by high-energy ball milling. Phys. Rev. B. 2005; 71(22) 22-41.

7. Hårders JW, Bultmann M. From temporary to constant restoration. Journal Novoe v stomatologii. 2008;4:81-7.

8. Koval'ko NJu. New bioceramic materials on the basis of zirconium dioxide. Competition of youth research works: materials of works of winners and winners of a competition. SPb.: Polytechnical university; 2013.

9. Kuwabara A, Tohei T, Yamamoto T. Ab initio lattice dynamics and phase transformations of ZrO₂. Phys. Rev. B. 2005;71(6):64-5.

10. Kuzin VV, Fedorov SY, Grigoriev SN. The correlation of the diamond grinding parameters with the ZrO₂-ceramics surface condition. New refractories. 2016;11:60-5.

11. Mihajlina NA, Podzorova LI, Rumjanceva MN. Ceramics on the basis of tetragonal zirconium dioxide for restoration stomatology. Promising materials. 2010;3:44-8.

12. Rogov VA, Velis AK, Shkarupa MI. Tools used in the proces of drilling hard-machining materials. Fundamental research. 2012;11(3):645-51.

13. Shevchenko MA, Ruban AK, Dudnik EV. Hi-tech ceramics on the basis of zirconium dioxide. Refractory materials and technical ceramics. 2000;9:2-8.

14. Shumilovich BR, Shishkin AV, Kunin VA. Clinical advantages of use the whole sintered diamond burs when forming a ledge in clinic of orthopedic dentistry. Dental Magazine. 2012;2:26-32.

15. Shumilovich BR, Sushhenko AV, Rostovcev VV. Clinical and laboratory studies on the effect of dental hard tissue excision on their microstructure. Bulletin of the Dagestan State Medical Academy. 2016;2(19):82-7.

16. Wolten G. Diffusionless Phase Transformations in Zirconia and Hafnia. J. Am. Ceram. Soc. 1963; 46(9):418-22.

Библиографическая ссылка:

Шумилов Б.Р., Ростовцев В.В., Крюкова С.Н., Станиславчук Е.С., Фонштейн А.М. Возможность клинического использования несъемных ортопедических конструкций из синтерированного диоксида циркония после их обработки различными видами алмазного инструмента (исследование *in vitro*) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2021. №2. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-2/1-4.pdf> (дата обращения: 22.03.2021). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-2-1-4*

Bibliographic reference:

Shumilovich BR, Rostovtsev VV, Kryukova SN, Stanislavchuk ES, Fonstein FM. Vozmozhnost' klinicheskogo ispol'zovanija nesemnyh ortopedicheskikh konstrukcij iz sinterirovannogo dioksida cirkonija posle ih obrabotki razlichnymi vidami almaznogo instrumenta (issledovanie in vitro) [The possibility of clinical use of fixed orthopedic structures made of sintered zirconium dioxide after their treatment with various types of diamond tools (in vitro study)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2021 [cited 2021 March 22];2 [about 7 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-2/1-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-2-1-4

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-2/e2021-2.pdf>