НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИИ

NON-DESTRUCTIVE METHODS OF INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL AND OTHER PROPERTIES OF THE MATERIALS USED IN DENTISTRY

Я.Станишевский¹, Д.Швитко², А.Марахова¹, В.Копылов¹, С.Панов¹
Ya.Stanishevskiy¹, D.Shvitko², A.Marakhova¹, V.Kopylov¹, S.Panov¹

Исследование основных свойств материалов, применяемых в стоматологической практике (твердости, прочности, вязкости, упругости, рельефа поверхности и др.), показало целесообразность их анализа неразрушающими методами – наноиндентированием и световой микроскопией.

The study of the basic properties of materials used in the dental practice (hardness, strength, viscosity, elasticity, surface topography, etc.) showed the feasibility of analysis of these characteristics by non-destructive methods such as nanoindentation and light microscopy.

Нанотехнологии определяют пути дальнейшего развития не только химии, физики, биологии, материаловедения, но и всей науки и производства на ближайшие десятилетия [1]. Термин "нанотехнологии" изначально использовавшийся только в квантовой физике и электронике, в наше время проник и в другие отрасли: медицину, химическую промышленность, фармацевтику и др. Стоматология также не стала исключением. Особенно широко в этой науке применяется метод наноиндентирования, при котором производится вдавливание с заданным усилием в изучаемый образец индентора, обладающего известными механическими свойствами: формой, модулем упругости и т.д. Далее либо исследуется форма и размер пятна контакта, либо определяется зависимость положения индентора от нагрузки.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТОМАТОЛОГИИ

Одно из основных направлений инноваций в стоматологии – разработка и создание новых материалов, совмещающих высокие физические характеристики

(прочность, износостойкость) с эстетичностью. Практическое внедрение находят научные работы, посвященные моделированию свойств материалов, применяемых для пломбирования, восстановления зубной эмали и создания покрытий для имплантов [2, 3].

Чрезвычайно актуальным считается создание композитного материала без полимеризационной усадки, однако этот критерий – не единственный и не самый важный. Прежде всего, высокие требования предъявляются к наполнителю, который в конечном итоге и определяет качество композита. Для контроля качества требуются измерения прочности на изгиб, модуля упругости, поверхностной твердости, абразивности, усадки, теплового расширения и многих других параметров с целью их оптимизации [4].

Еще одна актуальная проблема стоматологии – создание полимерных покрытий для коронок. Оксид циркона, применяемый для их изготовления, характеризуется высокой твердостью, но не обладает достаточной эстетичностью и способствует патологическому истиранию зубов-антагонистов, поэтому на него

¹ Российский университет дружбы народов / Peoples' Friendship University of Russia.

² Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И.Евдокимова / Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry.

наносятся покрытия [3]. При этом уделяется внимание таким характеристикам покрытий, как форма и размер частиц, упругость, вязкость разрушения, пластичность, усталость и др. [5].

Целью настоящей работы стало исследование физико-механических и других свойств применяемых в стоматологии материалов методами сканирующей зондовой и световой микроскопии.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИИ

Изучение свойств стоматологических материалов имеет большее практическое значение, связанное с возможностью их регулирования путем изменения состава материалов и с разработкой оптимальных методов и технологий применения последних в различных областях стоматологии. Важными характеристиками применяемых в стоматологии материалов являются твердость, прочность, вязкость и упругость.

Твердость – это способность тела сопротивляться внедрению в него другого тела, более твердого. В настоящее время твердость материала чаще всего определяют по методикам Виккерса или Бринелля, суть которых состоит в том, что в испытуемый материал специальным прессом вдавливают алмазные четырехгранные пирамиды или шарики. По величине отпечатка на поверхности образца судят о твердости материала. В стоматологии твердость

может рассматриваться как положительное свойство, позволяющее пользоваться протезом длительное время, но нередко проявляется и с отрицательной стороны. Например, фарфоровые зубы, имея твердость в два раза выше, чем у эмали, вызывают повышенное стирание естественных зубов – антагонистов. Детали протеза, изготовленные из высокотвердого кобальтохромового сплава, с трудом поддаются механической обработке и полировке [3].

Прочность – это способность материала сопротивляться действию внешней силы, которую определяют делением величины нагрузки на значение площади поперечного сечения испытуемого образца. Хорошие прочностные свойства – одно из основных требований к стоматологическому материалу.

Упругость – это способность материала изменять форму под действием давления, а после прекращения давления возвращаться в исходное, первоначальное состояние. Максимальная нагрузка, при которой материал еще способен восстановить форму и размеры, называется пределом упругости. Если нагрузка превысит предел упругости, а тело не возвратится в первоначальное положение, говорят об остаточной деформации. Остаточная деформация крайне нежелательна в пружинящих элементах протезов и аппаратов. На упругость материала можно влиять, изменяя ее специальными способами [3].

Прочность на изгиб и модуль упругости (модуль Юнга) тесно связаны между собой.

Nanotechnologies determine future development patterns of not only chemistry, physics, biology and materials science but also the whole of science and industry in the coming decades [1]. The term "nanotechnology" was originally used only in quantum physics and electronics, and nowadays it penetrated into other industries, e.g. medicine, chemical industry, pharmacy etc. Dentistry is not an exception. The method of nano-indentation is especially widely used in the science. Indenter that has some known mechanical properties, i.e. shape, elastic modulus etc.,

is pressed with a predetermined force in the studied sample. Then we research the shape and size of the contact area, or the indenter's position dependence on the load is determined.

NEW MATERIALS IN DENTISTRY

One of the key innovations in dentistry is the development and creation of new materials that combine high physical properties (strength, endurance) and aesthetics. The research works that are devoted to modeling the properties of materials used for sealing, restoring tooth enamel and producing coatings

for implants are more commonly used in practice [2, 3].

It is extremely relevant to create composite materials without any polymeric shrinkage but this criterion is not the only one, nor the most important one. First of all, high requirements are set with regard to the filler, which ultimately determines the quality of the composite. To exercise quality control it is required to measure the flexural strength, elastic modulus, surface hardness, abrasion, shrinkage, thermal expansion and many other parameters in order to optimise them [4].

Рис.1. Прибор "Наноскан-3D"

Fig.1. NanoScan-3D

Прочность на изгиб указывает, при какой величине приложенной силы испытуемый образец разрывается. Модуль упругости характеризует при этом, насколько сильно деформируется материал перед разрывом при нагрузке. Под нагрузкой зуб деформируется минимально, следовательно, реставрация должна деформироваться подобно зубу. Следует отметить, что высокая прочность на изгиб не будет гарантом долговечности без высоких показателей модуля упругости. Но слишком высокий модуль упругости может вызвать "перфорирование" расположенного

ниже дентина. Модуль упругости самых совершенных композитов приближается к модулю упругости дентина, но никоим образом не должен быть выше.

Большинство композитных материалов более упругие, чем твердые ткани зуба [6]. Хорошая прочность композитов на изгиб позволяет им выдерживать высокие нагрузки, но при этом возникают горизонтальные растягивающие силы в окклюзионной области, что может стать причиной откола реставрации при тонких стенках полости.

Значения коэффициента теплового расширения и полимеризационной усадки при установке пломбы также важны. Высокая усадка становится причиной внутренних напряжений в зубе, повышения чувствительности и нарушения краевого прилегания, ведущего в конечном итоге к развитию вторичного кариеса. Подобные феномены могут быть вызваны и тепловым расширением. Композит должен быть в состоянии принимать большую нагрузку не только при жевании, но и при изменении температуры. Физический параметр, который характеризует изменение объема при изменении температуры материала, называется коэффициентом теплового расширения. Даже если объемные изменения измеряются в микрометрах, они могут иметь фатальные последствия. И коэффициент теплового расширения композита, и полимеризационная усадка тесно взаимосвязаны при

Another pressing issue of dentistry is the creation of polymer coatings for crowns. Zirconia oxide used to make them can be characterised by high hardness, but it is not sufficiently aesthetic and contributes to the pathological abrasion of the antagonist teeth, so coating applied thereto [3]. At the same time, such characteristics of coatings are taken into account as the shape and size of particles, elasticity, toughness, ductility, fatigue etc. [5].

The research aimed at studying physical, mechanical and other properties used in dental materials through scanning probe microscopy and light microscopy.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIALS USED IN DENTISTRY

Research into the properties of dental materials is of great practical importance associated with the possibility of regulating them by changing the composition of materials and promoting best practices as well as the latest application technologies in various fields of dentistry. Hardness, strength, toughness and elasticity are key characteristics of the materials used in dentistry.

Hardness is the body's ability to resist the introduction of a more solid body. Currently, the hardness of material is often determined by

the methods of Vickers or Brinell, the essence of which consists in that the quadrangular diamond pyramid or beads is pressed into the tested material with a special press. By the size of the print on the surface of the sample it is possible to measure the hardness of the material. In dentistry, hardness can be regarded as a positive feature that allows using the prosthesis for a long time; however it often manifests the negative side. For example, the porcelain teeth, which have hardness two times higher than that of enamel, cause an increased blurring of natural antagonist teeth. The parts of the prosthesis made of high hard

Рис.2. Пример изображения защитного покрытия, полученного на приборе "Наноскан-3D": а – изображение рельефа, б – карта распределения модуля упругости

Fig.2. An example of an image of protective coatings, obtained on the NanoScan-3D: a – the topography, b – the elastic modulus map

оценке клинической эффективности композита [5].

Приведем еще один пример, подтверждающий необходимость комплексных исследований свойств композитов. Качество поверхности композита имеет важное значение не только с точки зрения эстетики. Поверхность композитной реставрации не должна создавать более благоприятные условия для колонизации бактериями, чем живой зуб. По этой причине проводятся исследования колонизации поверхности композита бактериями *Streptococcus mutans* [4]. На интенсивность развития бактериальной флоры оказывает влияние наличие микротрещин, углублений и выпуклостей, что делает

необходимым также изучение рельефа используемого материала.

Механические измерения составляют основную часть исследований композитов и покрытий для стоматологических коронок. Изготовители сравнивают свои новые разработки с другими материалами. По возможности для этого используют стандартизированные методы измерения [3]. Однако, многие измерительные приборы изначально были разработаны не для стоматологических исследований, а для изучения материалов с молекулярно-однородной структурой, например металлов, в то время как композит – полимер, наполненный частицами различного размера. В связи с этим велика вероятность получения недостоверных результатов, и актуален поиск более совершенных и адекватных методов анализа материалов, применяемых в стоматологии.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОМ НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Одним из методов определения функциональных свойств тонких покрытий является наноиндентирование (ISO 14577) с помощью сканирующего нанотвердомера "НаноСкан-3D" (рис.1). Этот метод можно считать условно неразрушающим, поскольку глубина погружения индентора при испытаниях незначительна [7].

"НаноСкан-3D" – сканирующий силовой микроскоп, работающий на открытом воздухе в контактном режиме. Главными отличиями

cobalt alloy are difficult to treat and polish [3].

Strength is the ability of material to resist the action of an external force, which is determined by dividing the amount of load by the value of the cross-sectional area of the test sample. Good mechanical properties are among the basic requirements for dental materials.

Elasticity is the ability of a material to change shape under pressure, and return to the original state after the termination of pressure. The maximum load at which a material can still restore the shape and dimensions is called the elastic limit. If the load exceeds the elastic limit, and

the body does not return to its original position, we can speak of permanent deformation. Permanent deformation is highly undesirable in the spring elements of prosthetic appliances and devices. The material elasticity can be influenced by changing it in special ways [3].

The flexural strength and modulus of elasticity (Young's modulus) are closely inter-related. Flexural strength indicates at what value of the applied force the test sample can be broken. The elastic modulus thus characterises how strongly a material deforms under load before breakage. Under load, a tooth is minimally deformed; therefore, the restoration

should be deformed the same way as the tooth. It should be noted that a high flexural strength will not guarantee any high levels of durability without the modulus of elasticity. However a pretty high modulus of elasticity can cause "punching" the dentin below. The modulus of elasticity of the most advanced composites approaches the modulus of elasticity of dentin but it should not be higher in any way.

Most composite materials are more elastic than the hard tissues of teeth [6]. A good flexural strength of composites allows them to withstand high loads but there are horizontal tensile forces in the occlusive

данного прибора является высокая жесткость (6×10^4 Н/м) керамического кантилевера и использование в качестве индентора алмазной пирамиды или ультратвердого фулерита. Это позволяет не только получать информацию о топографии поверхности, но также в режиме жесткого контакта оценить твердость и модуль упругости сверхтвердых материалов и покрытий, в том числе алмаза. Прибор проводит измерение топографии и механических свойств микроскопического участка поверхности, что дает возможность сравнивать характеристики разных участков образца.

"НаноСкан-3D" может работать в режимах индентирования и царапания поверхности. Индентирование проводится путем нагружения иглы в определенной точке поверхности, царапание – путем нагружения и последующего горизонтального перемещения индентора под нагрузкой. Размер отпечатка или царапины определяется путем сканирования рельефа до и после индентирования. Определение твердости основано на методе сравнительной склерометрии, когда царапина наносится поочередно на изучаемый материал и эталон, твердость которого известна. Анализ царапины заключается в измерении ее средней ширины при определенной нагрузке [6, 8].

Важное преимущество "НаноСкан-3D" – многообразие измерений, доступных на базе одного прибора. В частности, разработан метод определения износостойкости материала, основанный

Рис.3. Микроскоп Nikon Eclipse MA 200

Fig.3. Nikon Eclipse MA 200 microscope

на перемещении наконечника вдоль поверхности с постоянным контролем нормальной силы прижима к ней и измерением зависимости углубления наконечника в материал от времени [9].

Для измерения нанотвердости и модуля Юнга покрытий на приборе "НаноСкан-3D" к образцам предъявляются следующие требования: шероховатость должна быть не хуже 12-14

area that can cause chipping in the restoration of the thin walls of the cavity.

The values of the thermal expansion coefficient and polymerisation shrinkage when putting the seal are also important. High shrinkage causes internal stresses in the tooth, sensitivity enhancement and edge conformability violations leading eventually to the development of the secondary caries. Such phenomena may be caused by thermal expansion. A composite should be capable of taking more load not only during chewing but also with some changes in temperature. The physical parameter that characterizes the change

in volume when the temperature of the material is changed, is called the thermal expansion coefficient. Even if the volume changes are measured in micrometers, they can have fatal consequences. The thermal expansion coefficient of a composite and polymerisation shrinkage are closely inter-related with the assessment of the clinical efficacy of a composite [5].

Here is another example confirming the need for a comprehensive research into the properties of composites. The surface quality of composites is important not only in terms of aesthetics. The surface of the composite restoration should not

create more favourable conditions for colonisation by bacteria than a vital tooth. For this reason, researches into the composite surface colonisation by *Streptococcus mutans* bacteria are undertaken [4]. The intensity of the bacterial flora is affected by microcracks, pits and bumps thus making it necessary to study the profile of the material used.

Mechanical measurements constitute the bulk of the research of composites and coatings for dental crowns. Producers compare their new designs with other materials. Whenever possible, this is done through standard measurement methods [3]. However, many

Рис.4. Микроскопия поверхности керамической вкладки (а) и керамической вкладки, граничащей с эмалью зуба (б)

Fig.4. Microscopy of the surface of ceramic inlays (a) and ceramic inlays bordering on tooth enamel (b)

measuring tools were originally not designed for dental research but study of the materials with a homogeneous molecular structure, for example, metals, while a composite is a polymer filled with particles of different sizes. In this regard, there is a high likelihood of obtaining unreliable results, and it is relevant to search for better and more appropriate methods of analysis of materials used in dentistry.

STUDY BY NANO-INDENTATION

Nano-indentation is a method of determining functional properties of thin coatings (ISO 14577) with the NanoScan-3D Scanning

nano-hardness tester (fig.1). This method can be considered conditionally non-destructive because the depth of penetration of the indenter during testing is negligible [7].

NanoScan-3D is a scanning force microscope that is operated in the open air in contact mode. The main feature of this device is the high strength (6×10^4 N/m) of the ceramic cantilever and the use of a diamond pyramid or ultra-hard fullerite as indenter. This allows not only to investigate the surface topology but also in hard contact mode evaluate the hardness and elastic modulus of super-hard materials and coatings

классов; глубина погружения индентора (77 нм) не должна превышать 10% толщины покрытия. В качестве подложек для покрытий можно использовать, например, образцы из кремния и ситалла СТ50 (14 класс шероховатости) [10, 11].

На рис.2 представлены результаты исследований образца стоматологического защитного покрытия на приборе "НаноСкан-3D".

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ СВЕТОВОЙ МИКРОСКОПИИ

К неразрушающим методам исследования относятся и световая микроскопия. В материаловедении часто применяется микроскоп Nikon Eclipse MA 200 (рис.3), который может работать в отраженном и проходящем свете. Оптика прибора обеспечивает получение четких, высококонтрастных изображений по методу светлого и темного поля, обладающих в три раза большей яркостью, чем у других моделей [1]. Удобна возможность установки объекта на предметном столике, расположенном над объективами, что дает больший обзор и позволяет изучать объект как незакрепленным, так и на носителе массой до 10 кг.

Авторы исследовали керамические вкладки и пломбировочный материал на удаленных зубах. Микрофотографии, полученные с помощью микроскопа Nikon Eclipse MA, дают представление о рельефе поверхности и позволяют ориентировочно оценить размер неровностей, царапин, включений.

including diamonds. The device measures the profile and mechanical properties of the microscopic surface area thus making it possible to compare the characteristics of different parts of the sample.

NanoScan-3D can be used in the indentation and scratch hardness test modes. Indentation is carried by loading the needle at a certain point on the surface, scratching – by loading and subsequent horizontal displacement of the indenter under a load. The size of indentation or scratching is determined by scanning the surface before and after pressure. Determination of hardness is based on the method

Из представленных на рис.4 и 5 фотографий можно сделать вывод, что керамическая вкладка имеет более однородную поверхность и ее структура более плотная, лишенная пор, что уменьшает вероятность образования микробной биопленки, и, следовательно, заболевания кариесом. На поверхности стеклоиономерной пломбы обнаруживаются многочисленные поры, что способствует бактериальной адгезии и развитию парадонто-патогенной флоры. Помимо этого, обнаруженные различия в структуре косвенно указывают на большую прочность и теплоемкость керамического материала по сравнению с пломбой.

Таким образом, световая микроскопия не заменяет наноиндентивных методов исследования, но может быть использована для предварительных исследований материалов, применяемых в стоматологии.

***

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для корректного сравнения стоматологических материалов необходимо унифицировать методики определения формы и размеров их частиц, а также упругости, твердости, прочности, вязкости разрушения, пластичности, усталости и др. Многие измерительные приборы были разработаны для изучения материалов с молекулярно-однородной структурой и не подходят для композитов, применяемых в стоматологии. Перспективным методом

of comparative sclerometry when a scratch is applied alternately to the material under study and reference specimen, the hardness of which is known. A scratch analysis consists in measuring its average width at a certain load [6, 8].

An important advantage of NanoScan-3D is the variety of measurements available on the basis of a single device. In particular, the developed method of the material wear resistance determination is based on the displacement of the tip across the surface with constant control of the normal hold-down pressure thereto and the measurement of the dependence of the tip's

deepening in the material on the time [9].

To measure nanohardness and Young's modulus of coatings on the NanoScan-3D the following requirements to the samples should be met, i.e. roughness should be better than Class 12-14; the depth of penetration of the indenter (77 nm) should not exceed 10% of the thickness of coating. As substrates for coatings samples of silicon and glass-ceramic CT50 (Roughness Class 14) can be used [10, 11].

Fig.2 presents results of the research of a dental protective coating sample on the NanoScan-3D device.

Рис.5. Микроскопия поверхности стеклоиономерной пломбы

Fig.5. Microscopy of the surface of glass ionomer filling

определения функциональных свойств тонких покрытий является метод наноиндентирования с помощью сканирующего нановердомера "НаноСкан-3D". Световая микроскопия не заменяет наноиндентирование, но может быть использована для предварительных исследований материалов, применяемых в стоматологии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Марахова А.И., Станишевский Я.М. Фармация будущего: нанолечения и методы их анализа // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2015. № 1 (10). С. 72-80.

STUDY BY LIGHT MICROSCOPY

Light microscopy can also be regarded as a non-destructive method of research. In material science, the microscope Nikon Eclipse MA 200 (fig.3), which can operate in the reflected and transmitted light, is commonly used. The device optics allow obtaining clear and high-contrast images through the brightfield and darkfield microscopy, the brightness of which is three times higher than by other models [1]. A convenient feature is to set an object on the sample stage located above the lens thus making it possible to have a better overview and allows to study an object both in a loose state and on

2. **Маркин П.Ю., Серебров Д.В.** О прочностных физико-механических свойствах пластмасс, используемых для перебазировки и реставрации базисов съемных протезов // Сб.труд. 7-й науч.-практ. конф. врачей стоматологов, посвящ. 15-летию стоматологического фак-та АГМУ "Современные стоматологические технологии". – Барнаул, 2005. С. 193-194.
3. **Швитко Д.Б., Марахова А.И.** Актуальность изучения физико-механических и других свойств материалов, применяемых в стоматологии методом сканирующей зондовой микроскопии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5 (Ч. 3). С. 44-49.
4. **Крег Р., Пауэрс Дж., Ватага Дж.** Стоматологические материалы: свойства и применение. – М.: МЕДИ, 2005. С. 183-201.
5. **Маркин П.Ю., Серебров П.Ю.** Сравнение прочностных физико-механических свойств некоторых пластмасс, используемых для перебазировки и реставрации базисов съемных протезов // Сб. труд. конф. мол. ученых стоматологов ортопедов, посвящ. проф.В.Ю.Курляндскому: тезисы докл. Всерос. конф. – М.: МГМСУ, 2004. С. 53-55.
6. **Усеинов А.С.** Измерение модуля сверхтвердых материалов с помощью сканирующего зондового микроскопа "НаноСкан" // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 6. С. 1-5.
7. **Плятт Х.** Композиты – вчера и сегодня. Ч. 3. Исследование механических параметров композитов и их практическое значение // Новое в стоматологии. 2008. № 7. С. 13-14.
8. **Гоголинский К.В., Львова Н.А., Усеинов А.С.** Применение сканирующих зондовых микроскопов и нанотвердомеров для изучения механических свойств твердых материалов на наноуровне // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 6. Т. 73. С. 28-36.
9. **Петржик М.И., Штанский Д.В., Левашов Е.А.** Современные методы оценки механических и трибологических свойств функциональных поверхностей // Матер. Х Межд. науч.-техн. конф. "Высокие технологии в промышленности России": тезисы докл. Всерос. конф. – М., 2004. С. 65-68.
10. **Дашковская Е.Ю., Козельская А.И., Швецов Е.Е.** Применение сканирующего нанотвердомера "Наноскан" для исследований тонких биосовместимых кальций-фосфатных покрытий, полученных ионно-плазменными методами // Современные техника и технологии. Секция 12: Наноматериалы, нанотехнологии и новая энергетика: тезисы докл. междун. конф. – Новосибирск, 2014. С. 481-483.
11. **Усеинов А., Кравчук К., Львова Н.** Измерение износостойкости сверхтонких наноструктурированных покрытий // Наноиндустрия. 2011. № 4. 46-50.

a carrier with the weight of up to 10 kg.

The authors used extracted teeth to research ceramic inlays and the filling material. The micrographs obtained using the Nikon Eclipse MA microscope give a notion of the surface profile and allow obtaining an approximate estimate of the size of irregularities, scratches and inclusions.

From the photos presented in fig.4 and fig.5, it can be concluded that the ceramic tab has a uniform surface and its structure is more dense and non-porous. Thus diminishing the likelihood of microbial biofilm formation and of caries. On the surface

of the glass-ionomer dental fillings numerous pores can be found thus promoting the bacterial adhesion and development of the periodontal pathogenic flora. In addition, the observed differences in the structure indirectly indicate greater strength and heat capacity of the ceramic material than the dental filling.

Thus, light microscopy does not replace nano-indentation but can be used for preliminary research of materials used in dentistry.

***

The conducted research suggests that for the correct comparison of dental materials it is necessary to

unify methods for determining the shape and size of the particles as well as elasticity, hardness, strength, fracture toughness, plasticity and fatigue. Many measuring devices, developed for the study of materials with molecular homogeneous structure, are not suitable for composites used in dentistry. A promising method for determining the functional properties of thin coatings is the nano-indentation using the scanning nano-hardness tester NanoScan-3D. Light microscopy does not substitute nano-indentation but can be used for the preliminary research of materials used in dentistry. ■