

# Прочностные свойства дентина, подвергнутого ионизирующему излучению

Е.В. БУЗОВА\*, асп. кафедры  
 Д.В. ЗАЙЦЕВ\*\*, асп. кафедры  
 Г.И. РОНЬ\*, д.м.н., проф., зав. кафедрой  
 О.В. МУШИНА\*\*\*, инженер

\*Кафедра терапевтической стоматологии Уральской государственной медицинской академии, Екатеринбург

\*\*Кафедра физики конденсированного состояния Уральского государственного университета, Екатеринбург

\*\*\*РосНИТИ, Челябинск

## Strength properties of dentin, exposed ionising radiation

E.V. BUZOVA, D.V. ZAYTSEV, G.I. RON, O.V. MUSHINA

### Резюме

С целью создания алгоритма эндодонтического лечения, экспериментальное исследование включало оценку влияния ионизирующего излучения в режимах до 110 Грей *in vitro* и до 70 Грей *in vivo* на микроструктуру и механические свойства дентина зубов у пациентов, получавших лучевую терапию опухолей челюстно-лицевой области.

В образцах корневого дентина обнаружены области частично склерозированного дентина со снижением диаметра дентинных трубочек. Существенных различий между механической прочностью интактного и коронкового дентина, облученного в терапевтической дозе 70 Грей как в исследованиях *in vitro*, так и *in vivo*, не выявлено. Тогда как при дальнейшем увеличении дозы облучения наблюдается небольшое снижение прочности. Отмечено отклонение в механических свойствах облученного корневого дентина (70 Грей *in vivo*) от корневого интактного дентина.

Ключевые слова: лучевая терапия, эндодонтическое лечение, прочность, микроструктура.

### Abstract

The study included evaluation of the effect of ionizing ionization in modes up to 110 *in vitro* and Grey to 70 Grey *in vivo* on the microstructure and mechanical properties of dentin of teeth to create the algorithm of endodontic treatment of patients with radiation therapy of tumors of the maxillofacial region in history.

Structural differences between all groups of the coronal dentin was not revealed. In samples of root dentin were found in part of sclerosal dentin with a decrease in the diameter of dentinal tubules. Significant differences between the mechanical strength of the coronal dentin irradiated at a therapeutic dose of 70 Grey as *in vitro*, and *in vivo* from an intact missing. Whereas a further increase in radiation dose, a slight decrease in strength. A deviation in the mechanical properties of the root dentin (70 Grey *in vivo*) from the root of intact dentin.

Key words: radiation therapy, endodontic treatment, the strength, microstructure.

Высокую потребность в эндодонтическом лечении пациентов после лучевой терапии опухолей головы и шеи определяет целый ряд факторов: распространенность кариеса в пять раз выше, чем в популяции в целом; быстро прогрессирующий характер течения кариозного процесса, в большинстве случаев кариозные полости сообщаются с полостью зуба; нарушение кровоснабжения пульпы; повреждение структуры костной ткани [14, 29, 31, 33, 35]. Эндодонтическое лечение способно создать оптимальные условия для протезирования за счет сохранения максимального количества зубов, а также снизить риск развития

остеорадионекроза челюстей путем удаления зубов в отсроченный период [8, 13, 24, 25, 29].

В проведенных ранее исследованиях сведения о нарушении механических свойств и структуры облученного корневого дентина немногочисленны и противоречивы. Al-Nawas B. и соавт., 2000; Brauer D. S. и соавт.; 2008; Soares C. J. и соавт., 2010, сообщают о незначительном снижении микротвердости дентина после облучения, по сравнению с изменениями в эмали [9, 12, 32]. Gernhardt C. R. и соавт. не выявили различия между облученными и необлученными образцами дентина [17]. По данным Kielbassa A. M., 2002; Fgdnzel W., 2006, определяется

существенное снижение механической прочности дентина и его устойчивости на износ [16, 21].

Не существует единого мнения о влиянии ионизирующего облучения на микроструктуру корневого дентина [23]. Grotz K. A. и соавт. при изучении облученного дентина методом СЭМ выявили снижение ветвления и дегенерацию отростков одонтобластов, резкое прерывание хода дентинных трубочек, облитерацию их просвета [18]. Аналогичные данные были получены Mascagni E. E., 1997; Bebesheko V. H., 2000 [10, 26]. Между тем, Kielbassa A. M., 2002, не установил различий между облученными и необлученными образцами дентина методом СЭМ [21].

Определение механических свойств и структуры облученного дентина в ходе экспериментального исследования позволит адаптировать современные методы инструментальной обработки корневых каналов зубов у пациентов, получавших лучевую терапию опухолей челюстно-лицевой области.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение структуры и механических свойств облученного дентина зуба.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом исследования явились 40 удаленных по ортодонтическим показаниям и по поводу пародонтита человеческих зубов (моляров) с хорошо сохранившимися коронками и корнями. Для хранения свежесудаленных зубов использовали солевой раствор 0,9% с добавлением кристаллов тимола [32], что исключает изменение механических и химических свойств тканей зуба. Они были разделены на четыре группы по 10 зубов в каждой. Первые три группы однократно подвергали облучению на тканезквивалентном гетерогенном фантоме [6] ротовой полости человека оригинальной конструкции с ячейками для размещения удаленных зубов человека аппаратом дистанционной гамма-терапии АГАТ-Р-1 с расстояния 75 см до источника питания в дозах 70, 90 и 110 Грей, соответственно. Четвертая группа зубов не облучалась и являлась контрольной. Также были отобраны 10 зубов, которые составили пятую группу, они были удалены у пациентов в ходе проведения резекции челюстей по поводу злокачественных новообразований в челюстно-лицевой области при условии подписания пациентами информированного согласия, после проведения лучевой терапии не менее 9-12 месяцев назад. Курсовая доза составила 70 Грей, при разовой дозе 2 Грей [7]. Изучение микроструктуры дентина выполняли на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6490. Механические испытания в режиме на одноосное сжатие были проведены на разрывной машине ShimadzuAGX – 50kN, при комнатной температуре, скорость перемещения траверсы – 0,1 мм/мин. Образцы для испытаний вырезали из коронковых и корневых частей зубов по схеме, приведенной на рис. 1. Они обладали формой параллелепипедов с линейными размерами 2,00 x 2,00 x 0,65 мм<sup>3</sup>.

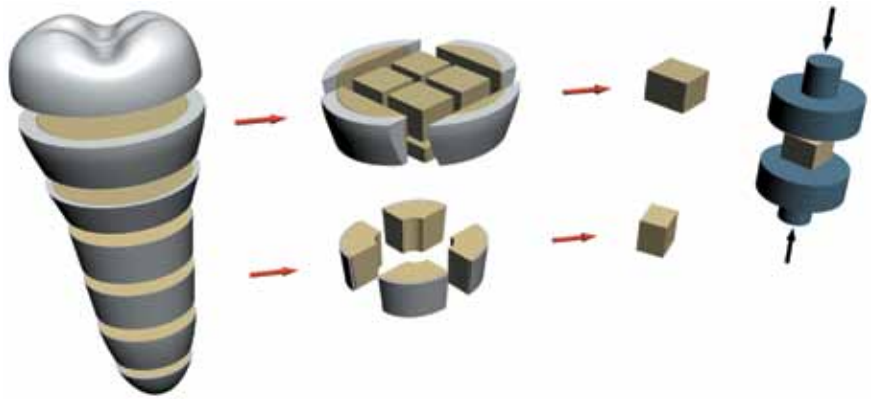


Рис. 1

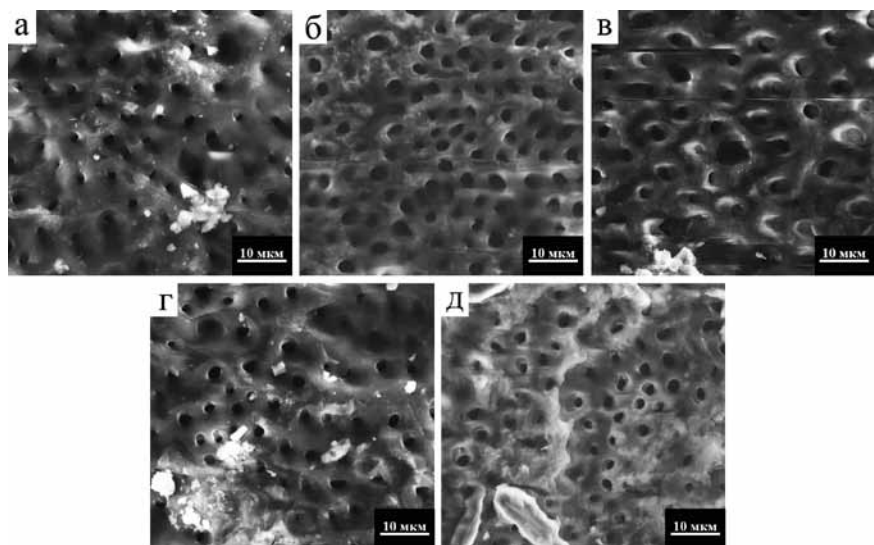


Рис. 2

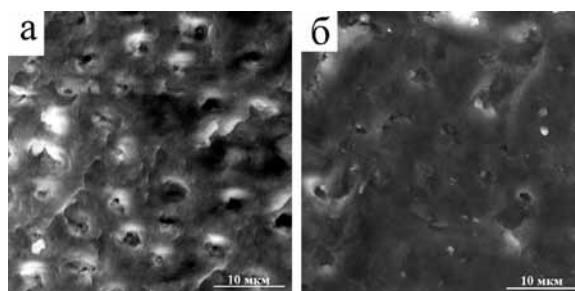


Рис. 3

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение микроструктуры коронкового дентина не выявило отличий между всеми группами. Исследование показало, что поверхность образцов равномерно покрыта дентинными каналами диаметром 2-4 мкм, с расстоянием между соседними 5-10 мкм (рис. 2). Сравнение полученных результатов с литературными данными подтверждает, что микроструктура дентина не отличается от интактной, поэтому можно заключить, что облучение в режиме до 110 Грей *in vitro* и до 70 Грей *in vivo* не при-

водит к изменению структуры коронкового дентина на микроуровне [20, 28]. В образцах корневого дентина обнаружены области частично склерозированного дентина со снижением диаметра дентинных трубочек (рис. 3). На поверхности образцов также видны очертания дентинных трубочек с диаметром, соответствующим дентинным трубочкам в необлученном зубе. Но в отличие от интактных зубов, они заполнены материалом по цвету, не отличающемуся от межтрубочкового дентина. Образцы для изучения микроструктуры дентина были приготовлены

сколом, что исключает возможность заполнения дентинных каналов посторонним материалом. Отсутствие участков склерозированного дентина в коронковых частях облученных зубов, изученные нами ранее позволяет сделать предположение, что изменение микроструктуры дентина в корне зуба не связано с непосредственным воздействием ионизирующего облучения на дентин, а вызвано нарушением процесса минерализации тканей в связи с повреждением менее радиорезистентной ткани пульпы ионизирующим излучением [1, 15]. Это подтверждается сведениями о том, что при отломе коронок зубов и обнажении пульпы она определяется в состоянии хронического воспаления или некроза [3, 19].

Нарушение васкуляризации тканей пульпы приводит к облитерации дентинных трубочек, дегенерации отростков одонтобластов [15, 19]. Развивающийся метаболический дефицит приводит к снижению минерализации и увеличению проницаемости облученного дентина, что подтверждается результатами исследований [37].

Типичные деформационные кривые, полученные при сжатии коронкового дентина, для всех групп образцов приведены на рис. 4. Испытания останавливали, когда на кривых возникал излом, что соответствовало зарождению трещины – начала разрушения образца. На всех кривых можно выделить три участка. Первый участок начинается из начала координат и заканчивается  $\sim \varepsilon = 2\%$ . Нелинейный характер этого участка объясняется несовершенством формы образцов. На начальном этапе испытаний происходит неполное касание поверхности образца пуансоном, что приводит к большой разнице между условными и истинными напряжениями. Второй участок хорошо аппроксимируется прямой и заканчивается при деформации  $\varepsilon = 11-17\%$ . По углу наклона этого участка рассчитывался модуль Юнга (E). Предельное напряжение на данном участке определялось как предел пропорциональности ( $\sigma_{\text{пц}}$ ). Третий участок был не линейным и заканчивался при деформации  $\varepsilon = 22-28\%$ . Максимальное напряжение на этом участке соответствовало перегибу на графике и определялось как предел прочности ( $\sigma_{\text{в}}$ ). Измерения линейных размеров образцов до и после испытания позволяют заключить, что на первом и втором участке кривой образцы деформируются в режиме упругости ( $\varepsilon_{\text{уп}}$ ), а на третьем участ-

ке – в режиме пластичности ( $\varepsilon_{\text{пласт}}$ ). Механические свойства контрольной группы образцов из интактного дентина совпадают с результатами, опубликованными ранее [5]. В процессе жизнедеятельности напряжение в зубе не превышает 30 МПа, используемые в исследовании величины нагрузки. Они позволяют получить относительные величины прочности и упругости для данных групп образцов, что приемлемо в биомеханических исследованиях [36].

При дозах облучения, являющихся курсовыми при лучевой терапии (70 Грей), как *in vitro*, так и *in vivo*, не было обнаружено никаких отличий в прочностных свойствах дентина по сравнению с дентином из контрольной группы. Однако при увеличении дозы облучения, наблюдается уменьшение предела прочности дентина и его способности к упругой деформации (рис. 5). Механические свойства дентина определяются в значительной степени органическим компонентом, который в большей степени повреждается ионизирующим излучением [2], поэтому в связи с увеличением дозы прочность дентина снижается. Денатурация органического матрикса вследствие радиолитического уменьшения внутренней стабильности дентина, поскольку он состоит из коллагеновых волокон [32]. Взаимодействие органического матрикса с кристаллами апатита определяется электростатическими связями карбоксильных боковых цепей коллагена и фосфатных групп кальцийсодержащих соединений. Облучение приводит к потере карбоксильных групп и, как следствие, к нарушению минерально-органических связей, что отражается на прочности дентина [16].

Некоторые авторы подчеркивают значение витальности дентина и состояния пульпы в развитии повреждений, в связи с образованием радикалов из молекул воды под воздействием радиации [9, 18, 21]. Более выраженное снижение прочности при облучении *in vivo* по сравнению *in vitro* при одних и тех же дозах 70 Грей объясняется этим фактом, а также тем, что зуб в полости рта помимо однократного воздействия облучения длительно остается в кариесогенных условиях за счет развития радиоиндуцированной ксеростомии, доминирования кариесогенных микроорганизмов, затруднения гигиены полости рта, снижения самоочищения ротовой полости, нарушение питания

и общего снижения иммунитета [4, 14, 29, 31, 33].

Сравнение механических свойств при сжатии коронкового дентина из контрольной группы с дентином, облученным *in vivo* в дозе 70 Грей, показало, что ход деформационных кривых качественно не отличался друг от друга (рис. 6). На них, как и в случае коронкового дентина, можно выделить три участка, причем прочность и способность к деформации коронкового дентина не отличается от коронкового (табл. 1). Различие между этими двумя группами только в соотношении между упругой и пластической деформациями. У облученной группы зубов упругость выше на  $\sim 5\%$ , а пластическая деформация меньше на  $\sim 5\%$ , по сравнению с контрольной группой зубов. Разница может быть вызвана наличием областей склерозированного дентина в корне облученных зубов, так как при уменьшении диаметра дентинных трубочек под действием нагрузки деформация происходит раньше, по сравнению со здоровым дентином.

Одним из возможных объяснений того, что механические свойства дентина подвержены влиянию ионизирующего излучения в терапевтических дозах в меньшей степени по сравнению с эмалью, является то, что гамма излучение способно не только разрушать химические связи, но и способствует образованию перекрестных связей в полимерах. Разрыв пептидных связей в молекулах коллагена компенсируется формированием новых перекрестных связей [12].

Таким образом, облучение зубов в ходе лучевой терапии опухолей челюстно-лицевой области вследствие комплекса патологических процессов, инициированных ионизирующим облучением, увеличивает риск перелома зуба за счет снижения прочности и упругости дентина. Клинические особенности эндодонта данной группы пациентов следующие: дентикли и петрификаты в пульпе, сужение просвета коронкового канала вплоть до его облитерации, сочетанные эндодонтальные поражения, агрессивная патогенная флора корневых каналов на фоне некротических процессов в пульпе, высокая частота деструктивных форм периодонтита, нарушение регенерации облученной костной ткани [13, 15, 34].

В немногочисленных работах, посвященных эндодонтическому лечению зубов у пациентов с луче-

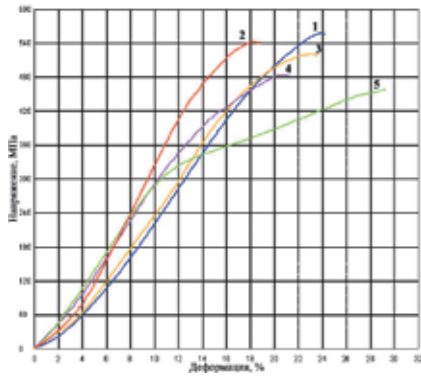


Рис. 4

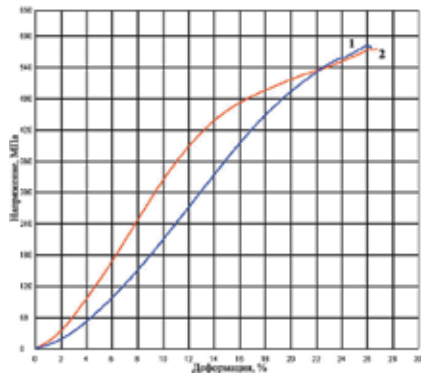


Рис. 6

вой терапией опухолей челюстно-лицевой области в анамнезе, авторы рекомендуют проводить лечение корневых каналов «с особой тщательностью и аккуратностью». Зуб никогда не оставляют «открытым для оттока экссудата», обработка корневого канала не на всю его длину является более предпочтительной, чем выведение инструмента за верхушечное отверстие. Критерии эффективности проведенного лечения совпадают с таковыми у пациентов без облучения опухоли челюстно-лицевой области [11, 13, 15, 19, 22, 24, 25, 30, 34].

На основании полученных результатов исследования целесообразно при проведении инструментальной обработки этапа эндодонтического лечения снизить механическую нагрузку на дентин корня зуба с целью уменьшения риска перелома корня на фоне снижения механической прочности дентина. С этой целью мы рекомендуем исключить использование агрессивных инструментов как для устьевого препариования (Gates Glidden, Largo), инструментов для обработки корневого канала, способных изменить форму и направление корневого канала, минимизировать использование стальных инструментов (применять их только на этапе прохождения корневого канала). Целесообразно использовать технику

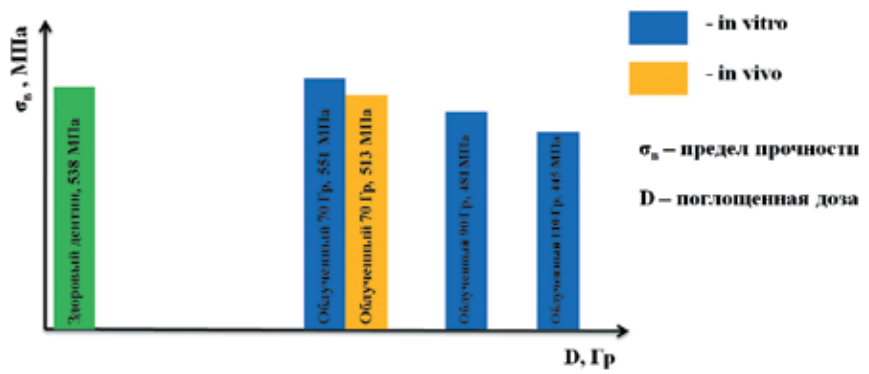


Рис. 5

вертикальной компакции гуттаперчи для obturации системы корневого канала для сокращения давления на дентин корня. Поскольку наблюдается облитерация просвета дентинных канальцев и дентиклей во всех отделах системы корневых каналов, лечение зубов с таким характером изменений требует использования увеличительной оптики, в частности операционного микроскопа. Предложенные нами рекомендации по эндодонтическому лечению зубов у пациентов с лучевой терапией челюстно-лицевой области в анамнезе требуют дальнейшей клинической апробации.

#### Выводы:

1. Облучение в режиме до 110 Грей in vitro и до 70 Грей in vivo не приводит к изменению структуры коронкового дентина на микроуровне.
2. Обнаружены области склерозированного дентина в корневых частях зубов, подвергнутых облучению в режиме in vivo.
3. Не выявлено существенных различий между механической прочностью коронкового дентина, облученного в терапевтической дозе 70 Грей как in vitro, так и in vivo от интактного. Тогда как при дальнейшем увеличении дозы облучения наблюдается небольшое снижение прочности.
4. Наблюдается отклонения в механических свойствах облученного коронкового дентина (70 Грей in vivo) от коронкового интактного дентина.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барер Г. М., Комнова З. Д. Морфологические изменения в пульпе, дентине и цементе облученных «интактных» зубов // *Стоматология*. 1984. №3.
2. Боровский Е. В., Сегень И. Т. Влияние дозы и локализации облучения на состояние твердых тканей зуба // *Стоматология*. 1973. №2.
3. Воробьев Ю. И. Лучевая те-

рапия злокачественных опухолей челюстно-лицевой области и стоматологические проблемы // *Российский стоматологический журнал*. 2006. №5.

4. Гетьман А. Д. Клинико-лабораторная характеристика состояния слюнных желез и органов полости рта у больных, получавших лучевое лечение по поводу злокачественных опухолей головы и шеи: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Екатеринбург, 2006. – 32 с.

5. Зайцев Д. В., Бузова Е. В., Панфилов П. Е. Прочностные свойства дентина и эмали // *Вестник ТГУ: Естественные и технические науки*–2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1198-1202.

6. Заменители тканей в радиационной дозиметрии и измерение. Доклад МКРЕ: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 272 с.: ил.

7. Ставицкий Р. В. Аспекты клинической дозиметрии / Под ред. Ставицкого Р. В. – М.: МНПИ, 2000. – 388 с.

8. Aggarwal V. An in vitro evaluation of effect of ionizing radiotherapy on push-out strength of fiber posts under cyclic loading // *J Endod*. 2009. May. №35 (5). P. 695-698.

9. Al-Nawas B., Grotz K., Rose E., Duschner H., Kann P., Wagner W. Using ultrasound transmission velocity analyses the mechanical properties of the teeth after in vitro, in situ and in vivo irradiation // *Clin Oral Investig*. 2000. №4. P. 234-235.

10. Bebeshko V. H., Darchuk L. O., Zaverbna L. V. The state of the dental hard tissues in persons under the influence of ionizing radiation (based on the data from infrared spectroscopy) // *Lik Sprava*. 2000. Apr-Jun. №3-4. P. 21-25.

11. Bodrumlu E., Avsar A., Meydan A. D., Tuloglu N. Can radiotherapy affect the apical sealing ability of resin-based root canal sealers? // *J Am Dent Assoc*. Vol. 140. №3. P. 326-330.

12. Brauer D. S., Saeki K., Hilton S. F., Marshall G. M., Marshall S. J. Effect

Таблица 1. Сравнение механических свойств корневого дентина интактного с облученным в условиях *in vitro*

Тип	E, ГПа	$\sigma_{\text{плц}}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\epsilon_{\text{упр}}$ , %	$\epsilon_{\text{пласт}}$ , %	$\epsilon$ , %
Интактный дентин, Грей	4,02 ± 0,24	386 ± 21	582 ± 27	14,2 ± 1,0	13,2 ± 1,9	27,5 ± 2,2
70	3,09 ± 1,26	416 ± 40	551 ± 36	15,8 ± 3,5	6,4 ± 2,4	22,2 ± 4,4
90	3,46 ± 1,07	380 ± 46	481 ± 51	12,5 ± 3,3	9,8 ± 2,4	22,3 ± 3,8
110	3,00 ± 0,75	306 ± 33	445 ± 49	11,3 ± 3,3	18,3 ± 3,5	28,0 ± 4,2
70 (in vivo)	3,55 ± 0,38	370 ± 32	601 ± 35	12,2 ± 1,6	15,6 ± 2,3	28,6 ± 2,6

of sterilization by gamma radiation on nano-mechanical properties of teeth // *Dent Mater.* 2008. №8.

13. Cox F. L. Endodontics and the irradiated patient // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1976. Nov. №42 (5). P. 679-684.

14. Craddock H. L. Treatment and maintenance of a dentate patient with «radiation caries» // *Dent Update.* 2006. №33 (8). P. 462-464, 467-468.

15. De Moor R. Direct and indirect effects of medication (including chemotherapy) and irradiation on the pulp // *Rev Belge Med Dent.* 2000. №55 (4). P. 321-333.

16. Fgdnzel W., Gerlach R., Hein H. J., Schaller H. G. Effect of tumor therapeutic irradiation on the mechanical properties of teeth tissue // *Z Med Phys.* 2006. №16 (2). P. 148-154.

17. Gernhardt C. R., Kielbassa A. M., Hahn P., Schaller H. G. Tensile bond strengths of four different dentin adhesives on irradiated and non-irradiated human dentin *in vitro* // *Journal of Oral Rehabilitation.* 2001. №28. P. 814-820.

18. Grotz K. A., Duschner H., Wagner W. Confocal laser scanning microscopy (CLSM): histotomography of altered dental hard tissue in pathological mouth cavity ecology // *Mund Kiefer Gesichtschir.* 1997. Feb. №1 (1). P. 39-43.

19. Hommez G. M., Verhelst R., Vaneechoutte M., Claeys G., De Moor R. J. Terminal restriction fragment length polymorphism analysis of the microflora in necrotic teeth of patients irradiated in the head and neck region // *J Endod.* 2008. Sep. №34 (9). P. 1048-1051.

20. Imbeni V., Nalla R. K., Bosi C., Kinney J. H., Ritchie R. O. *In vitro* fracture toughness of human dentin // *JMBR.* 2003. Vol. 66A. P. 1-9.

21. Kielbassa A. M., Munz I., Bruggmoser G. Effect of demineralization and mineralization on

microhardness of irradiated dentin // *J. Clin. Dent.* 2002. №13 (3). P. 104-110.

22. Kielbassa A. M., Attin T., Schaller H. G., Hellwig E. Endodontic therapy in a postirradiated child: review of the literature and report of a case // *Quintessence Int.* 1995. Jun. №26 (6). P. 405-411.

23. Knychalska-Karwan Z., Pawlicki R., Karwan T. Structural and microanalytical changes in dentition after radiotherapy applied in cases of tumour in the oral cavity region // *Folia Histochem Cytobiol.* 1988. №26 (1). P. 25-32.

24. Koga D. H., Salvajoli J. V., Alves F. A. Dental extractions and radiotherapy in head and neck oncology: review of the literature // *Oral Dis.* 2008. Jan. №14 (1). P. 40-44.

25. Lilly J. P., Cox D., Arcuri M., Krell K. V. An evaluation of root canal treatment in patients who have received irradiation to the mandible and maxilla // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998. Aug. №86 (2). P. 224-226.

26. Mascagni E. E., Lippi C., Nannelli P. Dental changes induced by radiotherapy: a study of subjects with retinoblastoma // *Minerva Stomatol.* 1997. Apr. №46 (4). P. 191-200.

27. Pioch T., Golfels D., Staehle H. J. An experimental study of the stability of irradiated teeth in the region of the dentinoenamel junction // *Endod Dent Traumatol.* 1992. №8. P. 241-244.

28. Rasmussen T. S., Patchin R. E., Scott D. B., Heuer A. H. Fracture properties of human enamel and dentin // *J Dent. Res.* 1976. Vol. 55. №1. P. 154-164.

29. Redman R. S. On approaches to the functional restoration of salivary glands damaged by radiation therapy for head and neck cancer, with a review of related aspects of salivary gland morphology and development // *Biotech Histochem.* 2008. June. №83 (3). P. 103-130.

30. Seto B. G., Beumer J., Kagawa T., Klokkevold P., Wolinsky L. Analysis

of endodontic therapy in patients irradiated for head and neck cancer // *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1985. Nov. №60 (5). P. 540-545.

31. Silva A. R., Alves F. A., Berger S. B., Giannini M., Goes M. F., Lopes M. A. Radiation-related caries and early restoration failure in head and neck cancer patients. A polarized light microscopy and scanning electron microscopy study // *Support Care Cancer.* 2009. №17.

32. Soares C. J., Castrol C. G., Neival N. A., Soares P. V., Santos-Filho P. C. F., Naves L. Z., Pereira P. N. R. Effect of gamma irradiation on ultimate tensile strength of enamel and dentin // *J Dent Res.* 2010. №89 (2). P. 159-164.

33. Thariat J., De Mones E., Darcourt V., Poissonnet G., Dassonville O., Savoldelli C., Marcy P. Y., Odin G., Guevara N., Bozec A., Ortholan C., Santini J., Bensadoun R. J. Teeth and irradiation in head and neck cancer // *Cancer Radiother.* 2010. Apr. №14 (2). P. 128-136.

34. Timpawat S. Endodontic therapy in irradiated patient // *J Dent Assoc Thai.* 1990. May-Jun. №40 (3). P. 109-116.

35. Vissink A., Jansma J., Spijkervet F. K., Burlage F. R., Coppes R. P. Oral sequelae of head and neck radiotherapy // *Crit Rev Oral Biol Med.* 2003. №14 (3). P. 199-212.

36. Waters N. E. Some mechanical and physical properties of teeth // *Symp Soc Exp Biol.* 1980. Vol. 34. P. 99-135.

37. Zach G. A. X-ray diffraction and calcium-phosphorous analysis of irradiated human teeth // *J Dent Res.* 1976. Sep-Oct. №55 (5). P. 907-909.

**Поступила 12.04.2011**

Координаты для связи  
с авторами:  
620028, Екатеринбург  
ул. Репина, д. 3