

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Кунин А.А.¹, Попов В.М.², Моисеева Н.С.¹, Шабанов Р.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Минздрава РФ, Воронеж, e-mail: natazarova@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж

Настоящая статья посвящена исследованию физико-механических и химических свойств полимерных восстановительных материалов под влиянием электромагнитного поля. Актуальность выбранной темы обусловлена перспективностью исследований по созданию «идеального» пломбировочного материала и усовершенствованию их характеристик. В данной работе были проведены исследования свойств полимерных восстановительных материалов до и после воздействия электромагнитного поля *in vivo*, включающие исследование микроструктурных особенностей полимерного восстановительного материала с помощью сканирующей электронной микроскопии и *in vitro*, включающие изучение сколов удаленных и запломбированных зубов человека. В результате воздействия электромагнитного поля получены достоверные изменения микроструктуры полимерных восстановительных материалов, подтвержденные результатами сканирующей электронной микроскопии, улучшение механических характеристик материалов, а также изучены особенности элементного состава тканей зуба и пломбировочного материала с помощью рентгеноспектрального микроанализа.

Ключевые слова: полимерный восстановительный стоматологический материал, электромагнитное поле, сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ.

EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELD ON CHANGING DENTAL MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF POLYMERIC RESTORATIVE MATERIALS TO IMPROVE THEIR PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

Kunin A.A.¹, Popov V.M.², Moiseeva N.S.¹, Shabanov R.A.¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh N.N. Burdenko State Medical University, Voronezh, e-mail: natazarova@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh

This article is devoted to the study of physical-mechanical and chemical properties of polymeric restorative materials under the influence of electromagnetic field. We consider the chosen theme relevant due to the prospects of the studies on "ideal" filling material creation and its properties enhancement. In the present work, we have conducted scientific research on the polymeric restorative material properties before and after the electromagnetic field exposure *in vivo*, including the study of microstructural features of polymeric restorative material by scanning electron microscopy, and *in vitro*, including the examination of sealed-up human teeth. As a result, the influence of electromagnetic field produced significant changes in the microstructure of polymeric restorative materials, which was confirmed by the results of scanning electron microscopy, and showed an improvement of their mechanical properties. It also contributed to the study of the elemental composition of hard dental tissues as well as the filling material by means of X-ray microanalysis.

Keywords: polymeric dental restorative material, an electromagnetic field, scanning electron microscopy, X-ray microanalysis.

Исследованиями разных авторов доказано, что чем меньше частицы пломбировочного материала, тем выше эстетические свойства, лучше краевое прилегание, что является профилактикой нарушения физико-химической связи пломбы и зуба и вторичного кариеса, однако микронаполненные композиты обладают невысокими прочностными характеристиками, что не позволяет их использовать в зоне повышенной нагрузки и на зубах

жевательной группы. В последнее время все актуальнее ставится вопрос создания «идеального» материала для восстановления твердых тканей зубов, который предполагает восстановление анатомической и функциональной целостности зубов на длительный срок [2, 4]. Именно на это направлено изучение закономерностей изменения свойств стоматологических материалов под влиянием физических, механических и химических факторов.

Принципиальное значение при восстановлении зубов определяют физико-механические свойства восстановительного материала, такие как прочность и адгезия к твердым тканям зуба. Прочностью обычно называют способность материала противостоять приложенным нагрузкам, не разрушаясь и не проявляя излишнюю и необратимую деформацию. «Адгезия» от лат. *adhaesio* означает «прилипание», сцепление поверхностей двух разнородных твердых или жестких тел.

Актуальным в данном направлении является изучение свойств современных пломбировочных материалов на полимерной основе. Известно, что стоматологические материалы для лечения кариеса зубов состоят из разнообразных компонентов, включая мономеры, систему отверждения и составляющие органическую матрицу, а также неорганический наполнитель. Все составные компоненты играют определенную роль в формировании основной структуры этих материалов и характеристике их физико-химических свойств.

Известно, что исследования клеевых композиций (в основе которых также лежат полимеры), применяемых в космической области, показали уплотнение составных частиц этих клеев при определенных условиях, а также значительное изменение их теплопроводности и прочности. Эти эффекты были достигнуты при воздействии на неотвержденные клеевые композиции электромагнитного поля [3, 5].

Исходя из вышеизложенного, целью исследования является усовершенствование структурных характеристик стоматологических полимерных восстановительных материалов с помощью электромагнитного поля путем изменения их физико-механических свойств.

Материал и методы исследования

Физико-механические свойства полимерных восстановительных материалов при воздействии на них электромагнитного поля были изучены на базе стоматологической поликлиники ВГМУ им. Н.Н. Бурденко совместно с Воронежским государственным университетом, Воронежским государственным лесотехническим университетом и фирмой-производителем расходных материалов ООО «Радуга-Р».

Для исследования *in vitro* нами были использованы композитные пломбировочные материалы, а именно – Charisma и Durafil фирмы Heraeus Kulzer, Германия. Исследуемые

материалы были разделены на 2 равнозначные группы с воздействием электромагнитного поля и без него.

Методы исследования

Материалы группы исследования предварительно обрабатывали в постоянном электромагнитном поле при напряженности $20 \times 10^4 - 24 \times 10^4$ А/м, затем образцы материалов I группы и II группы отверждали светополимеризационной лампы синего цвета в течение 40 сек [5] (табл. 1).

Таблица 1

Распределение полимерных восстановительных материалов до и после воздействия электромагнитного поля

Группа	Материалы	Кол-во упаковок (шт.)	Кол-во образцов (шт.)
I группа исследования (с воздействием поля)	Charisma	1	10
	Durafil	1	10
II группа контрольная (без электромагнитного поля)	Charisma	1	10
	Durafil	1	10
Всего		4	40

С помощью растрового электронного микроскопа JEOLJSM-638OLV(Япония) была исследована микроструктура полимерных восстановительных материалов при увеличении $\times 100\,000$.

Для дальнейшего изучения физико-механических особенностей пломбировочных материалов Charisma и Durafil после воздействия электромагнитного поля были проведены испытания на прочность по ГОСТ Р 31574-2012, включающие определение прочности на сдвиг, что характеризует сопротивление, определяет пределы их прочности при воздействии различных нагрузок, что в значительной мере прогнозирует возможность их применения в реставрационной стоматологии.

Для анализа проницаемости эмали и дентина зуба для химических компонентов пломбировочных материалов изучали сколы удаленных зубов, предварительно запломбированных по поводу среднего кариеса с помощью электронного микроскопа. Изображения были получены в режиме вторично-электронной эмиссии. Распределение химических элементов в области границы пломбировочного материала и эмали и дентина зуба было исследовано методом рентгеноспектрального микроанализа (РМА) поперечных сколов.

Результаты исследований были статистически обработаны с использованием стандартного пакета прикладных программ STATISTICA 8.0 фирмы Statsoft: конкретная копия программы верифицировалась на тестовых выборках с известными свойствами и результатами [1].

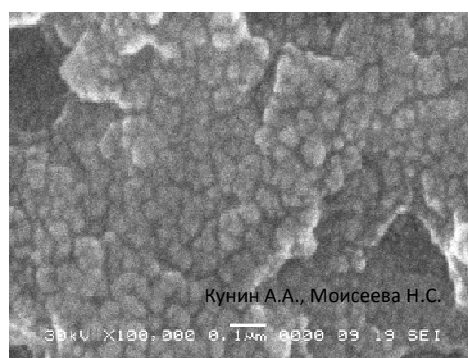
Параметры, которые рассчитывались в рамках описательной статистики: среднее и среднеквадратическое отклонение; стандартная ошибка среднего; эксцесс; асимметрия; минимальное значение ряда данных и максимальное значение ряда данных; вариационный размах. Учитывая эффект множественных сравнений, мы применяли непараметрический критерий различия U-критерий Mann – Whitney. При этом значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Проведенные исследования показали наличие изменения микроструктуры полимерных восстановительных материалов после воздействия электромагнитного поля: произошло укрупнение частиц и сокращение расстояния между частицами полимерной матрицы материала (рис. 1, 2) (табл. 2).

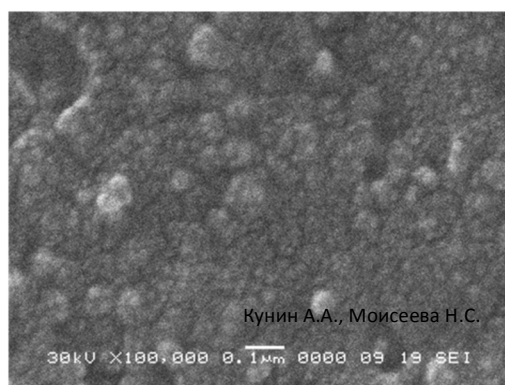


А

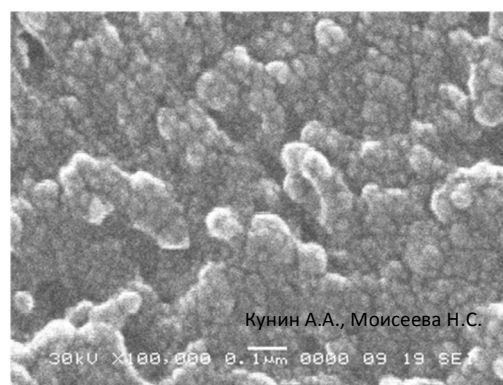


Б

Рис. 1. Результаты СЭМ материала Charisma, Heraeus Kulzer при увеличении $\times 100\,000$ до (А) и после (Б) воздействия электромагнитного поля



В



Г

Рис. 2. Результаты СЭМ материала Durafil, Heraeus Kulzer при увеличении $\times 100\ 000$ до (В) и после (Г) воздействия электромагнитного поля

Таблица 2

Результаты изменения микроструктуры восстановительных полимерных материалов после воздействия электромагнитного поля

Группа	Материал	I группа исследования	II группа контрольная
Размер частиц (мкм)	Charisma	$0,08 \pm 0,004^*$	$0,032 \pm 0,003^*$
	Durafil	$0,062 \pm 0,005^*$	$0,038 \pm 0,004^*$
Расстояние между частицами (мкм)	Charisma	$0,012 \pm 0,001^*$	$0,021 \pm 0,002^*$
	Durafil	$0,006 \pm 0,002^*$	$0,018 \pm 0,003^*$

* $p < 0,05$.

Проанализируем результаты изменения микроструктуры восстановительных полимерных материалов до и после воздействия электромагнитного поля: в контрольной группе средний размер частиц материала Charisma составлял – $0,032 \pm 0,003$ мкм, а в группе исследования – $0,08 \pm 0,004$ мкм, что говорит об укрупнении частиц материала. Расстояние между частицами материала до воздействия составляло – $0,021 \pm 0,002$ мкм, а после воздействия – $0,012 \pm 0,001$ мкм в разных полях зрения, что свидетельствует об уплотнении структуры материала Charisma. Различия между исследуемыми группами по данному признаку являются статистически достоверными ($p < 0,05$) (табл. 2, рис. 1).

В пломбировочном материале Durafil (табл. 2, рис. 2) также наблюдалось укрупнение частиц и уплотнение структуры материала после воздействия электромагнитного поля. Так, в контрольной группе средний размер частиц составлял – $0,038 \pm 0,004$ мкм, а в группе исследования – $0,062 \pm 0,005$ мкм. Расстояние между частицами материала до воздействия составляло – $0,018 \pm 0,003$ мкм, а после воздействия – $0,006 \pm 0,002$ мм. Различия между исследуемыми группами по данному признаку являются статистически достоверными ($p < 0,05$) (табл. 2, рис. 2).

Далее был проведен анализ прочностных характеристик восстановительных полимерных материалов на сдвиг (табл. 3). В результате проведенных испытаний получен результат достоверного изменения прочности после воздействия электромагнитного поля на пломбировочные материалы.

Таблица 3

Сравнительная характеристика прочности восстановительных полимерных материалов до и после воздействия электромагнитного поля

Группа	I группа исследования	II группа контрольная
Вид исследования	Сдвиг	
Charisma	103,120 (82,300/123,000)	58,220 (43,000/70,200)
Durafil	128,880 (118,100/135,200)	66,260 (61,500/68,900)

* $p < 0,01$.

Из таблицы 3, характеризующей прочностные параметры композитного материала Charisma на сдвиг, следует, что в контрольной группе средняя величина нагрузки составляла 58,220 (43,000/70,200) Н, а в группе исследования – 103,120 (82,300/123,000), что свидетельствует об увеличении прочности материала. Различия по данному признаку между исследуемыми группами являются статистически достоверными ($p < 0,01$).

В пломбировочном материале Durafil также наблюдалась тенденция увеличения прочности. Так, в контрольной группе средняя величина нагрузки составляла 66,260 (61,500/68,900) Н, а в группе исследования – 128,880 (118,100/135,200). Различия по данному признаку между исследуемыми группами являются статистически достоверными ($p < 0,01$).

При исследовании энергетического спектра на примере материала Charisma были определены количественные показатели микроэлементного состава зоны краевого прилегания пломбы и эмали, как показатель химической адгезии пломба-зуб (табл. 4).

Таблица 4

Количественный элементный химический состав эмали в области границы пломба-зуб до и после воздействия электромагнитного поля

Элемент	Весовой, %		Атомный, %	
	Граница пломба-зуб до воздействия	Граница пломба-зуб после воздействия	Граница пломба-зуб до воздействия	Граница пломба-зуб после воздействия
C	31,18	25,19	43,01	34,99
O	43,11	52,40	44,65	54,65
Al	1,99	2,31	1,22	1,43
Si	12,23	12,25	7,22	7,28
P	0,16	0,87	0,08	0,47
Ca	0,25	1,13	0,11	0,47
Ba	7,91	5,85	0,95	0,71

Количественный анализ констатирует увеличение весового процента по кислороду, алюминию, фосфору и кальцию, что указывает на повышение концентрации данных микроэлементов в этой области после воздействия электромагнитного поля на материал, тогда как весовой процент по углероду и барии выше в необработанном электромагнитным полем образце, что может свидетельствовать об их энергетическом участии при осуществлении адгезии (табл. 4).

Таким образом, анализ полученных данных показывает наличие изменений физико-механических свойств восстановительных материалов на полимерной основе после воздействия электромагнитного поля, а именно – микроструктурные преобразования материала, подтвержденные результатами сканирующей электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа, а также увеличение адгезионной прочности материалов.

Список литературы

1. Гланц С. Медико-биологическая статистика: пер. с англ. / С. Гланц. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
2. Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
3. Попов В.М. К созданию клееной древесины повышенной прочности на основе клеев, модифицированных воздействием комбинированных физических полей / В.М. Попов, А.В. Латынин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т.2, № 2.1. – Режим доступа : DOI: 10.12737/3004.
4. Kunin A.A. Predictive research methods of enamel and dentine for initial caries detection / A.A. Kunin, I.A. Belenova, Ya.A. Ippolitov, N.S. Moiseeva, D.A. Kunin // Springer EPMA-Journal. – 2013. – Vol. 4, Suppl. 19 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.epmajournal.com/content/4/1/19> (дата обращения: 22.12.2015).
5. Пат. 2594255 Российская Федерация, МПК А61К 6/08 А61С 5/00. Способ улучшения адгезионных и прочностных характеристик полимерных пломбировочных материалов и бондов / А.А. Кунин, Н.С. Моисеева; заявитель и патентообладатель ВГМУ. – 2015124103/15; заявл. 22.06.2015; опубл. 10.08.2016 // Бюл. – № 22.