

профилактических средств (при кариесе и заболеваниях пародонта), диагностике и лечении осложненных кариеса, в том числе у лиц детского и подросткового возраста, мониторинга результата лечения в ближайшие и отдаленные сроки, также для видовой и количественной экспресс-идентификации микроорганизмов независимо от возраста колоний и условий их культивирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.Т., Прохончуков А.А. Лазер в клинической медицине. М.; 1981.
2. Александров М.Т., Паишков Е.П., Быков А.С., Гунько В.И., Попов С.Н., Иванченко О.Н., Родионов А.Д., Гизатуллин Р.М. 20-летний опыт применения лазерно-флуоресцентной диагностики в клинической микробиологии". Вестник РАМН. 2011: 35—8.
3. Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия. М.: Техносфера; 2008.
4. ПК АМТ Новационные технологии "Лазерно-конверсионная

диагностика в онкологии" (в работе использован отчет Минздрава).

5. Зайцева Е.В. Разработка метода флуоресцентной диагностики состояния твердых тканей зуба при кариозном поражении (экспериментально-клиническое обоснование): Дисс. М.; 2000.

REFERENCES

1. Aleksandrov M.T., Prokhonchukov A.A. Laser in clinical medicine. M.; 1981 (in Russian).
2. Aleksandrov M.T., Pashkov E.P., Bykov A.S., Gun'ko V.I., Popov S.N., Ivanchenko O.N., Rodionov A.D., Gizatullin R.M. 20 Years of experience in the application of laser fluorescent diagnostics in clinical Microbiology". Vestnik RAMN. 2011: 35—8 (in Russian).
3. Aleksandrov M.T. Laser clinical biophotometry. M.: Tekhnosfera; 2008 (in Russian).
4. PC AMT Innovative technologies "Laser-conversion diagnostics in Oncology" (used in the work report of the Ministry of Health).
5. Zaytseva E.V. Development of the method of fluorescent diagnostics of the condition of hard tissues of the tooth with a кариозном defeat (experimental-clinical study): Diss. M.; 2000 (in Russian).

Поступила 20.06.13

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2013

УДК 615.46.03:616.31

Н.О. Бессуднова, Д.И. Биленко, С.Б. Вениг

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДГЕЗИВНОЙ СИСТЕМЫ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ НАНОРАЗМЕРНОГО СЕРЕБРА

НИУ ФГБОУ ВПО Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
Министерства образования и науки Российской Федерации, 410012, Саратов, Россия

В работе изучено влияние наполнителя из наночастиц серебра на механические характеристики адгезивных систем. Показано, что механические характеристики адгезивной системы изменяются с ростом концентрации наночастиц серебра неоднозначно. Установлено, что при концентрации серебра 1%, достаточной для сообщения материалу требуемой рентгеноконтрастности, механические свойства находятся вблизи оптимума и выше, чем у адгезивной системы без серебряного наполнителя. Полученные результаты указывают на возможность использования наноразмерного серебра в качестве наполнителя при разработке рентгеноконтрастных адгезивных систем.

Ключевые слова: исследования в стоматологии, адгезивная система, наноразмерные наполнители, механические испытания

N.O. Bessudnova, D.I. Bilenko, S.B. Venig

THE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF ADHESIVE SYSTEM WITH A SILVER NANOPARTICULATE FILLER

National Research University "Saratov State University named after N.G. Chernishevsky", 410012, Saratov, Russia

In the present study nanoparticulate silver filler influence on adhesive system mechanical properties has been researched. In the course of laboratory experiments it has been shown that adhesive system mechanical properties are changing in a different manner as soon as silver percentage in adhesive system is increasing. It has been established that 1% silver nanoparticle embedding into adhesive system that is enough to make the material X-Ray-sensitive holds its mechanical properties close to the optimum. Thus, the mechanical properties are enhancing in comparison with those of adhesive system without silver nanoparticles. Research findings point to the opportunity to use nanoparticulate silver as a filler while producing X-ray adhesive systems.

Key words: dental research, adhesive system; nanoparticulate fillers; mechanical tests

Введение

При разработке рентгеноконтрастных адгезивных систем с введенными наноразмерными частицами неизбежно встает вопрос о влиянии наполнителя на фи-

зико-химические и механические свойства адгезива. Вместе с этим остаются недостаточно изученными вопросы стабилизации покрытых поливинилпирролидоном (ПВП) наночастиц в органических слабополярных средах, к которым принадлежат адгезивные системы.

Целью исследования является изучение влияния наполнителя из наноразмерного серебра на механические характеристики адгезивной системы.

Бессуднова Надежда Олеговна (Bessudnova Nadezda Olegovna), e-mail: nadezda.bessudnova@gmail.com; Биленко Давид Исакович (Bilenko David Isakovich); Вениг Сергей Борисович (Venig Sergey Borisovich)

Материалы и методы

Для создания образцов рентгеноконтрастной адгезивной системы применялась адгезивная система пятого поколения Adper™ Single Bond (3М ESPE) и коллоидный раствор ПВП-стабилизированных наночастиц серебра, синтезированных в ИБФРМ РАН [1]. Весовая доля частиц серебра в этаноле составляла 25 мг/л, средний диаметр частиц — 30—60 нм (рис. 1 на вклейке).

Для исследования поверхностной морфологии и химического состава образцов полимеризованной адгезивной системы с введенными наночастицами использовали аналитический комплекс на базе растрового электронного микроскопа высокого разрешения SEM Mira/LMU, TESCAN с системой энергодисперсионного анализа EDX INCA Energy, Oxford Instruments (см. рис. 1 на вклейке).

Измерения механических характеристик образцов проводились на одноколонной универсальной испытательной машине Instron 3342, Instron (рис. 2 на вклейке).

Ход работы

Для проведения механических испытаний были изготовлены образцы адгезивной системы в виде тонких пленок с различным процентным содержанием наноразмерного серебра. Введение ПВП-стабилизированных наночастиц серебра в адгезивную систему проводилось по схеме, предложенной рядом авторов [2—5]. На рис. 3, а—г (на вклейке) представлены лабораторные этапы изготовления образцов пленок адгезивной системы.

Метрические характеристики образцов (длина, ширина, толщина) измерялись на нескольких участках для минимизации погрешности, связанной с неравномерностью площади поперечного сечения образцов (рис. 3, д, е, см. на вклейке).

Все образцы были поделены на 4 группы: 1-ю группу составляли образцы без наполнителя, 2, 3, 4-ю — с 1, 5 и 10% содержанием наночастиц серебра соответственно.

Результаты и обсуждение

Метрические характеристики образцов представлены в табл. 1—4.

На рис. 4 (на вклейке) и рис. 5 представлены зависимости приложенной нагрузки от относительного удлинения для образцов групп 1—4. При построении графиков исключались участки, связанные с начальным распрямлением образцов без деформации.

На рис. 4, 5 представлены зависимости приложенной нагрузки от относительного удлинения при растяжении для образцов 1—4-й групп. При построении графиков исключались участки, связанные с начальным распрямлением образцов без деформации.

В табл. 5 представлены данные о предельных нагрузках и удлинениях, при которых происходит разрыв, и рассчитаны значения модуля Юнга для образцов всех 4 групп.

Следует сделать несколько замечаний.

1. Исходный материал сам по себе является неоднородным, что иллюстрировано рис. 5, а и данными табл. 5.

2. Разброс результатов механических испытаний в пределах каждой группы образцов с одним и тем же содержанием серебра не превосходит отклонений в исходных материалах. При использовании материалов с меньшим разбросом в пределах одной группы образцов наблюдается воспроизводимость.

3. Введение серебра в адгезивную систему порядка 1%, достаточного для придания ей требуемой рентгеноконтрастности, приводит к увеличению прочности

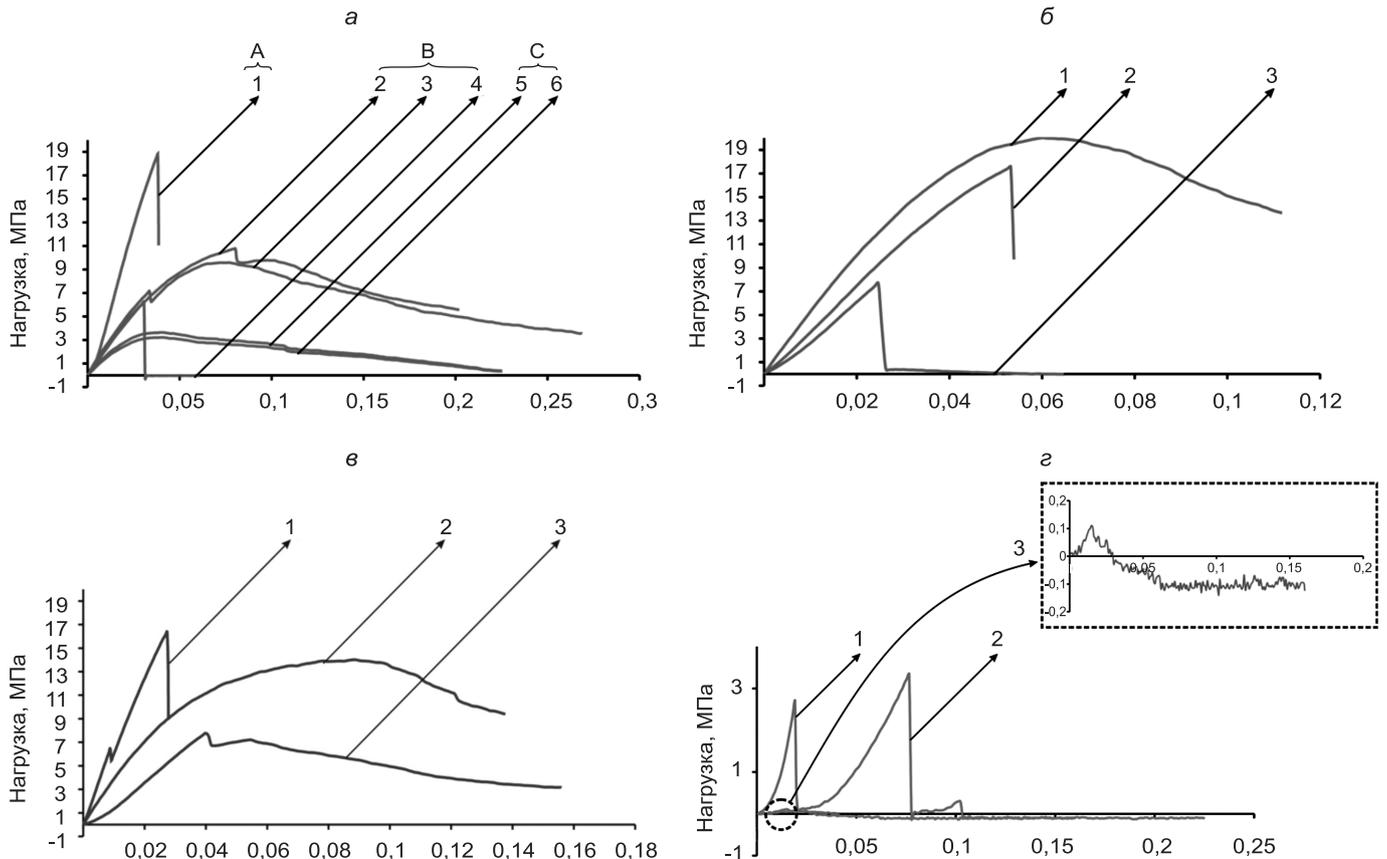


Рис. 5. Зависимости приложенной нагрузки от относительного удлинения образца.

а—г — соответствуют группам 1—4.

Таблица 1

Метрические характеристики образцов 1-й группы

Образец	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Усредненное значение толщины, мм
1	4,0	3,776	0,092 0,078 0,100	0,090
2	2,5	3,292	0,203 0,248 0,083	0,178
3	2,0	3,612	0,097 0,104 0,135	0,112
4	2,5	3,228	0,141 0,092 0,088	0,107
5	2,0	3,084	0,153 0,114 0,096	0,121
6	2	3,43	0,121 0,124 0,124	0,123

Таблица 2

Метрические характеристики образцов 2-й группы

Образец	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Усредненное значение толщины, мм
1	3,00	3,950	0,101 0,106 0,087	0,098
2	2,50	3,337	0,146 0,089 0,113	0,116
3	2,33	2,360	0,098 0,075 0,102	0,091

Таблица 3

Метрические характеристики образцов 3-й группы

Образец	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Усредненное значение толщины, мм
1	4,5	3,113	0,105 0,099 0,102	0,102
2	2,7	3,119	0,091 0,121 0,103	0,105
3	2,0	2,899	0,101 0,132 0,106	0,113

и упругости материала, что отображается в зависимостях значений предельных нагрузок и модуля Юнга от процентного содержания серебра (см. табл. 5, см. рис. 4, 5). Дальнейшее увеличение содержания серебра в адгезивной системе приводит к качественному

изменению механических свойств. В частности, вид зависимостей нагрузки от относительного удлинения для образцов 4-й группы существенно отличается от таковых для групп 1—3. Разрыв образцов полимеризованной адгезивной системы с 10% концентрацией серебра происходит при малых нагрузках (см. рис. 5, з), в то время как введение 1% серебра приводит к разрыву образцов при нагрузках, сравнимых и выше, чем у образцов без наночастиц (см. рис. 5, б).

Наблюдаемый феномен, по-видимому, можно качественно объяснить следующим образом. При высоком содержании наполнителя в исследуемых образцах происходят разрывы связей филаментов адгезивной системы наночастицами серебра, что схематично представлено на рис. 6, а (на вклейке). Образующиеся

Таблица 4

Метрические характеристики образцов 4-й группы

Образец	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Усредненное значение толщины, мм
1	2,2	4,482	0,062 0,070 0,081	0,071
2	1,5	2,708	0,040 0,053 0,060	0,051
3	2,0	3,212	0,040 0,053 0,036	0,043

Таблица 5

Механические испытания образцов

Образец	l/l_0	$\langle l/l_0 \rangle$	P, МПа	$\langle P \rangle$, МПа	E, Па
1-я группа					
A	0,038	0,038	18,826	18,826	586,55
B	0,080	0,062	10,768	8,868	249,46
	0,077		9,581		250,77
	0,030		6,256		221,69
C	0,040	0,040	3,650	3,439	176,09
	0,040		3,228		104,41
2-я группа					
1	0,060	0,046	20,029	15,092	522,164
2	0,053		17,560		395,502
3	0,025		7,687		371,036
3-я группа					
1	0,027	0,052	16,384	12,727	761,064
2	0,089		14,018		386,85
3	0,040		7,779		231,32
4-я группа					
1	0,019	0,037	2,687	2,047	280,297
2	0,077		3,342		100,717
3	0,014		0,111		15,218

Примечание. l/l_0 — относительное удлинение образца, P — предельная нагрузка, E — модуль Юнга.

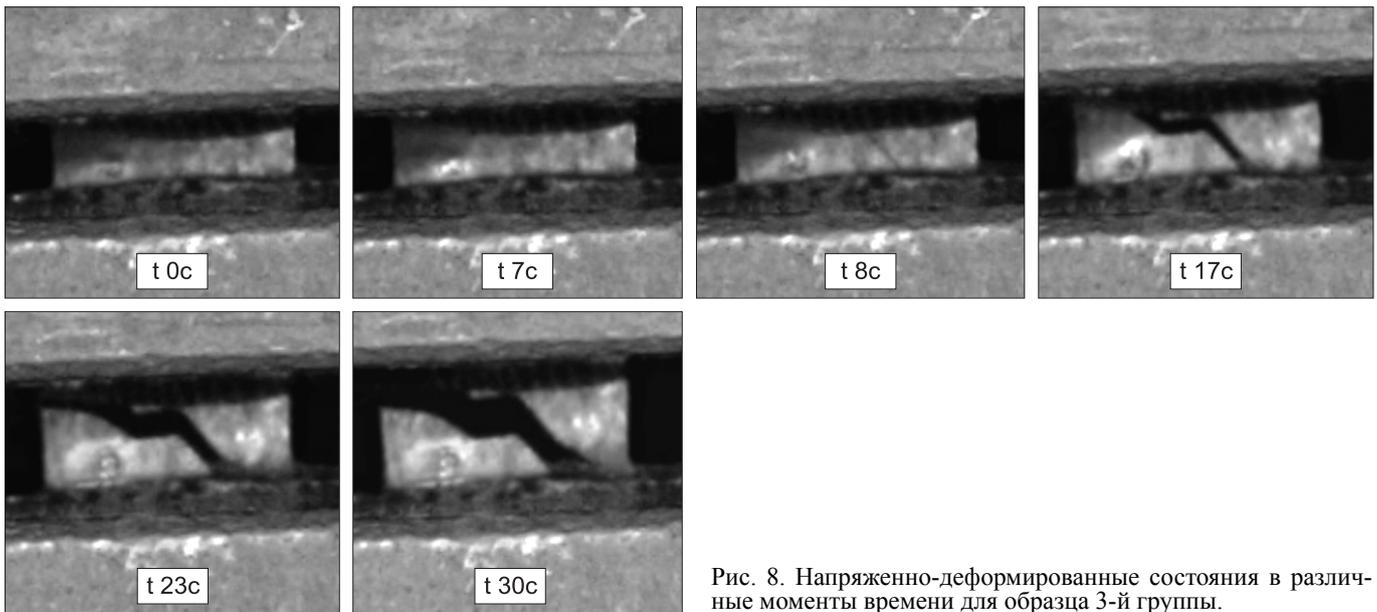


Рис. 8. Напряженно-деформированные состояния в различные моменты времени для образца 3-й группы.

же при этом связи между ПВП-стабилизированными наночастицами серебра и адгезивом менее прочные. При малых значениях концентрации наноразмерного серебра в образцах величина отношения количества разрывов связей в объеме полимера, образующего адгезивную систему, к количеству связей, образованных между наполнителем и полимером, незначительна (рис. 6, б).

Заметим, что такое объяснение не является единственным, возможны и перколяционные изменения в исследуемых образцах [6, 7]. В зависимости от процентного содержания наночастиц в объеме адгезива последние могут образовывать упорядоченные структуры — кластеры, например в виде цепочек, по которым и происходит разрыв при механическом воздействии на образец (рис. 7 на вклейке).

Дальнейшее детальное исследование позволит выяснить наиболее вероятный механизм.

На рис. 8 представлены кадры видеозаписи деформации образца 3-й группы при растяжении в различные моменты времени, зафиксированные камерой микроскопа, входящего в комплект поставки используемой в эксперименте испытательной машины.

При проведении механических испытаний образцы закреплялись в вертикальном положении с использованием селективных зажимов. На начальном этапе происходило распрямление образцов без деформации. Можно предположить, что вид разрыва, имеющий неправильную форму, связан с неравномерностью распределения наночастиц серебра по объему адгезивной системы при высокой концентрации последних в результате формирования из них связанных структур.

Следует отметить, что при разработке адгезивной системы с наполнителем из ПВП-стабилизированного наноразмерного серебра необходимо также учитывать влияние среды адгезива. Принято считать, что ПВП-покрытые наночастицы обладают неравномерным распределением зарядов, что препятствует их агломерации. Однако в адгезив-

ной системе, которая сама по себе является слабополярным органическим соединением, взаимодействие частиц изменяется.

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что механические характеристики адгезивной системы изменяются с ростом концентрации наночастиц серебра неоднозначно.

Установлено, что при концентрации серебра 1%, достаточной для сообщения материалу требуемой рентгеноконтрастности, механические свойства находятся вблизи оптимума и выше, чем у адгезивной системы без серебряного наполнителя.

Полученные результаты указывают на возможность использования наноразмерного серебра в качестве наполнителя при разработке рентгеноконтрастных адгезивных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khlebtsov B.N., Khanadeev V.A., Maksimova I.L., Terentyuk G.S., Khlebtsov N.G. Silver nanocubes and gold nanocages: their synthesis and optical and photothermal properties. *Nanotechnologies in Russia*. 2010; 5 (7—8): 454—68.
2. Бессуднова Н.О., Биленко Д.И., Вениг С.Б., Аткин В.С., Захаревич А.М. Применение наночастиц серебра для создания рентгеноконтрастной адгезивной системы. *Медицинская физика*. 2012; 4 (56): 71—9.
3. Bessudnova N., Bilenko D., Venig S., Atkin V., Zakharevich A. A new X-ray adhesive system with embedded nano-particulate silver markers for dental applications. *SFM 2012: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIV, Proceeding of SPIE*. 2013; 8699 (86990I); doi: 10.1117/12.2018753.
4. Bessudnova N. X-ray nano-particulate markers application for visualization of dentine — restorative material interfaces. *J. Dent Res*. 2012; 91 (Spec. Iss. B): 166733.
5. Бессуднова Н.О., Биленко Д.И., Вениг С.Б., Аткин В.С. Исследование композитных реплик дентина, полученных с применением адгезивной системы с наночастицами серебра. *Нанотехнологии и охрана здоровья*. 2013; 5 (1): 54—9.
6. Тарасевич Ю.Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: Учебное пособие. М.: Едиториал УРСС; 2002.
7. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость

сильно неоднородных сред. Успехи физических наук. 1975; 117: 401—35.

REFERENCES

1. *Khlebtsov B.N., Khanadeev V.A., Maksimova I.L., Terentyuk G.S., Khlebtsov N.G.* Silver nanocubes and gold nanocages: their synthesis and optical and photothermal properties. *Nanotechnologies in Russia*. 2010; 5 (7—8): 454—68.
2. *Bessudnova N.O., Bilenko D.I., Venig S.B., Atkin V.S., Zakharevich A.M.* Application of silver nanoparticles for X-ray adhesive system design. *Meditsinskaya fizika*. 2012; 4 (56): 71—9 (in Russian).
3. *Bessudnova N., Bilenko D., Venig S., Atkin V., Zakharevich A.* A new X-ray adhesive system with embedded nano-particulate silver markers for dental applications. *SFM 2012: Optical Technologies in Biophysics and Medicine XIV, Proceeding of SPIE*. 2013; 8699 (86990I); doi: 10.1117/12.2018753.
4. *Bessudnova N.* X-ray nano-particulate markers application for visualization of dentine — restorative material interfaces. *J. Dent. Res.* 2012; 91 (Spec. Iss. B): 166733.
5. *Bessudnova N.O., Bilenko D.I., Venig S.B., Atkin V.S.* The study of resin tags produced using adhesive system with embedded silver nanoparticles. *Nanotekhnologii i ohrana zdorovia*. 2013; 5 (1): 54—9 (in Russian).
6. *Tarasevich Yu.Yu.* Percolation: theory, applications, algorithms: Uchebnoe posobie. Moscow: Editorial URSS; 2002 (in Russian).
7. *Shklovskii B.I., Efros A.L.* Perkolotion theory and conductivity of inhomogeneous materials. *UFN*. 1975; 117: 401—35 (in Russian).

Поступила 30.05.13

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2013

УДК 616.314-018-02:613.863]-084:615.355.042.2]-091.8-092.9

Е.Ю. Ермак, Т.В. Матерс, Е.В. Панина, Е.В. Ананьина, Т.И. Родионова, И.Н. Зотова

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ДОНОРОВ МОЛЕКУЛ ОКСИДА АЗОТА И БЛОКАТОРОВ ФЕРМЕНТА NO-СИНТАЗЫ ПРИ ЭМОЦИОНАЛЬНО-БОЛЕВОМ СТРЕССЕ НА МОРФОЛОГИЧЕСКУЮ КАРТИНУ ТКАНЕЙ ПУЛЬПЫ ЗУБОВ И ПАРОДОНТА

МБУЗ Городская стоматологическая поликлиника № 5, г. Красноярск; кафедра патологической анатомии Красноярского государственного медицинского университета им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого

В статье приводятся результаты исследования влияния доноров и блокаторов фермента NO-синтазы на морфологическую картину пульпы зубов и тканей пародонта лабораторных животных при стрессорном воздействии. Показано, что донор молекул оксида азота L-аргинин способен ограничивать развитие стресс-реакции и снизить выраженность морфофункциональных нарушений в тканях пародонта и пульпе зубов. Блокатор фермента NO-синтазы L-NNA способствует усилению альтерирующих эффектов стресс-реакции на ткани пародонта и пульпы зубов.

Ключевые слова: оксид азота, эмоционально-болевого стресс, L-аргинин, пародонт

E.Yu. Yermak, T.V. Maters, E.V. Panina, E.V. Ananyina, T.I. Rodionova, I.N. Zotova

EXPEREMENTAL PREVENTION OF STRESS CHANGES OF TOOTH PULP TISSUES AND PERIODONTIUM WITH NITRIC OXIDE DONOR MOLECULES

The research results of influence of donors and anzyme blocker NO-synthesis on morphological state of tooth pulp and periodontium tissues at stress influence on laboratory animals. It is revealed, that nitric oxide donor molecule L-arginine is able to limit the development of stress-reaction and decrease quantity of morphofunctional infrigements in periodontium tissues and teeth stump. Enzyme blocker NO-synthesis L-NNA helps to strengthen alternating effects of stress reaction in periodontium tissue and teeth pulp.

Keywords: Nitric oxide, emotionally-painful stress, L-arginine, periodontium

Актуальность исследования. Важную роль в повреждении тканей пародонта играют стрессорные воздействия, так как в результате активации адренергической и гипоталамо-гипофизарно-адреналовой систем происходят нарушения углеводного обмена, чрезмерная активация процессов перекисного окисления липидов, расстройства регионарной гемодинамики, что приводит к деструкции клеточных мембран пародонтальных тканей [1].

Ф.З. Меерсоном была разработана концепция стресс-лимитирующих систем организма, которая дала реальную основу для разработки принципов предупреждения чрезмерной активности стресс-реакции и реализации ее патогенных воздействий на различные органы и системы организма [2].

В соответствии с концепцией Меерсона, формирование защитных эффектов адаптации обеспечивается активацией генетического аппарата и изменением метаболизма клеток, а также изменением функционирования практически всех основных систем организма: нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой, дыхательной, мышечной и т. д. Поэтому очевидно, что в механизме адаптации наиболее важную роль играют универсальные факторы регуляции физиологических систем и экспрессии генов [2, 3].

Согласно современным представлениям, таким универсальным регулятором является оксид азота (NO) [4]. С начала 1990-х годов стали появляться очень важные доказательства того, что NO вовлечен в регуляцию активности генетического аппарата как на уровне