

УДК 614.8:572.18+354.72(096):262.58

В.Ю. Денисова, канд. мед. наук, ассистент, ГБОУ ВПО «Курский государственный медицинский университет» (e-mail: vdenisova@yandex.ru)

И.П. Рыжова, д-р мед. наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: ipr@yandex.ru)

С.Н. Гонтарев, д-р мед. наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: znamisng@yandex.ru)

И.С. Гонтарева, ассистент, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: znamisng@yandex.ru)

М.М. Денисов, ассистент, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: mmden@yandex.ru)

М.С. Саливончик, ассистент, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (e-mail: vdenisova@yandex.ru)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУИРОВАНИИ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

В статье рассматривается использование метода конечных элементов в конструировании ортодонтических аппаратов.

Ключевые слова: конечные элементы, конструирование, ортодонтические аппараты.

Введение

Проблема взаимоотношения тканей и органов полости рта с материалами, предназначенными для изготовления зубных протезов и ортодонтических аппаратов, является одной из основных в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии. Известно, что ткани и органы полости рта находятся в динамическом равновесии со сбалансированными биохимическими процессами, сохраняющими структуры тканей и поддерживающими их функцию [2, 6, 7, 12, 16]. Конструкции эксплуатируются в условиях агрессивной химической среды, какой является слюна. В свою очередь материал, из которого изготовлены конструкции, непосредственно оказывает обратное действие на среду полости рта и весь организм в целом [8, 9, 11, 15]. В настоящее время современные методы исследований дают возможность получить полное представление о свойствах материала и структуре вещества, его составе и строении, взаимодействии с другими материалами и биологическими средами. Тер-

мопластические полимеры, представленные на рынке, вызывают большой интерес и являются актуальными материалами для ортопедической и ортодонтической стоматологии. Однако недостаточный объем информации в научно-исследовательском плане, отсутствие обоснованных показаний в плане выбора вида термопластического полимера в зависимости от конкретной клинической ситуации как в детской, так и во взрослой стоматологической практике диктуют необходимость дальнейшего изучения этого вопроса.

Цель исследования – изучить возможность применения термопластических полимеров для конструирования ортодонтических аппаратов и с помощью математического анализа выбрать материал, наиболее соответствующий поставленным задачам.

Материалы и методы исследования

Было решено применить физико-математический метод для того, чтобы формулировать теоретическое обоснование предложенной новой конструкции

лечебного аппарата. Общеизвестно, что к числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые CAD-системы (computer-aided design) – системы автоматизированного проектирования. CAD-системы, базирующиеся на трехмерной геометрии, в настоящий момент нашли широкое применение при проектировании обширного спектра изделий. Для выполнения поставленных задач решено провести математическое моделирование напряженно-деформированного состояния и определение нагрузочных усилий ортодонтического аппарата, оснащенного системой снижения нагрузки, и применить численный метод на основе конечно-элементного анализа, т.е. метод конечных элементов.

Этот метод является сеточным методом, предназначенным для решения задач микроуровня, для которого модель объекта задаётся системой дифференциальных уравнений в частных производных с заданными краевыми условиями. Метод конечных элементов (МКЭ) в настоящее время является стандартом при решении задач механики твердого тела посредством численных алгоритмов. Для определения оптимальных параметров и формы ортодонтического аппарата предполагается создание точной трехмерной мо-

дели челюсти и модели аппарата, содержащего пассивную систему распределения нагрузки.

Моделирование проводится с помощью программного пакета SolidWorks, включающего в себя утилиту для исследования напряженно-деформированного состояния и динамики движения различных конструкций COSMOSWorks. Данный пакет позволяет на основе конечно-элементного анализа модели определить концентраторы напряжения и добиться максимально эффективного использования материала за счет снижения веса элементов конструкции с избыточным запасом прочности. В основе пакета COSMOSWorks стоит технология расчетов ADAMS, которая является мировым лидером в данной области уже более 20 лет.

В рамках исследования была разработана трехмерная твердотельная модель челюсти ребенка, учитывающая возможные перемещения корня зуба в периодонте.

При построении математической модели челюсти был использован профильный подход. По слепку реальной челюсти в масштабе 1:1 были получены формы профилей, после объединения их в единый объект была получена точная трехмерная модель (рис. 1).

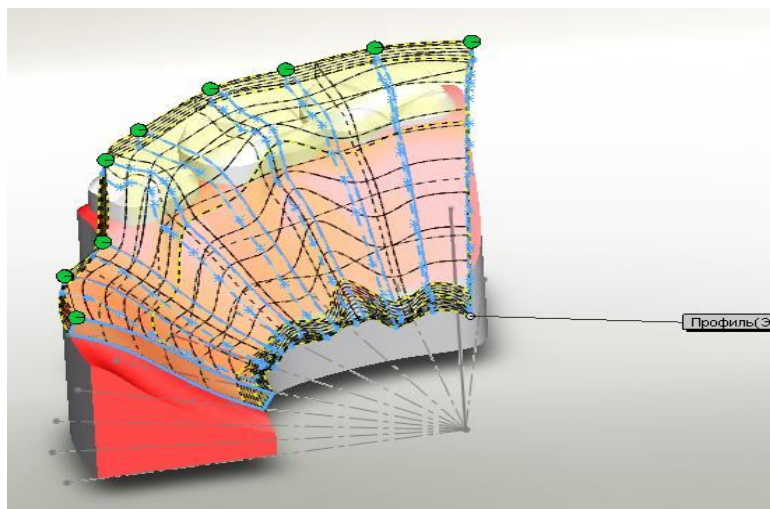


Рис. 1. Профильная форма разреза модели верхней челюсти

Далее аналогичным способом была получена трехмерная математическая модель исследуемого ортодонтического аппарата. Для определения оптимальных параметров конструкции ортодонтического аппарата был произведен сравнительный анализ сил, возникающих при деформации устройства. Изначально было проведено тестовое исследование аппарата без системы распределения нагрузки и с системой распределения.

Совместно с лабораторией кафедры теоретической механики и мехатроники

Юго-Западного государственного университета была разработана на практике оригинальная экспериментальная модель «Стенд» (в дальнейшем просто стенд) для проведения экспериментальных испытаний упругих свойств ортодонтических аппаратов, способная измерять силу упругости, возникающую при их деформации, а также для подтверждения теоретических расчетов математического моделирования упругих характеристик ортодонтического аппарата с системой снижения нагрузки (рис. 2).

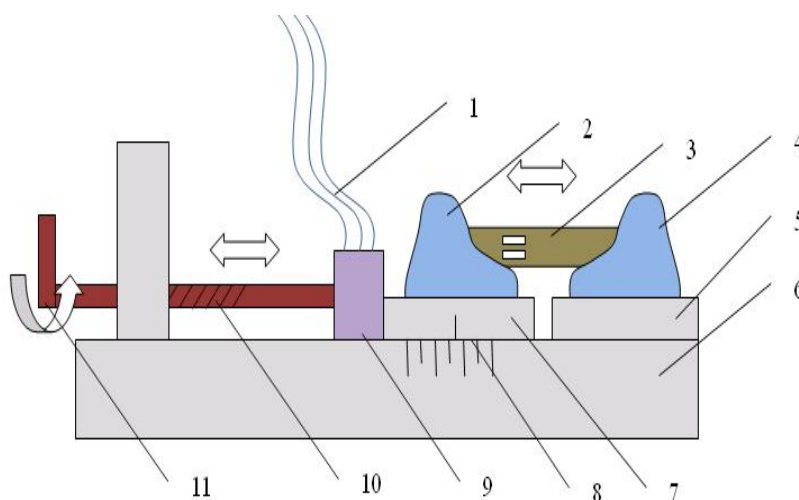


Рис. 2. Схема модели «Стенд» для исследования механических свойств ортодонтического аппарата: 1 – провода, соединяющие датчик усилия с системой индикации или с компьютером; 2 – фрагмент слепка челюсти; 3 – ортодонтический аппарат; 4 – фрагмент слепка челюсти; 5 – неподвижный держатель, в которой устанавливается фрагмент слепка; 6 – основание стенда; 7 – подвижный держатель, в который установлен фрагмент слепка; 8 – шкала, по которой определяется смещение; 9 – высокоточный датчик усилия; 10 – регулировочный винт; 11 – ручка регулировочного винта

Ортодонтический аппарат из исследуемого материала устанавливается в направляющих измерительного стенда между фрагментами гипсовой модели или с помощью фиксаторов. Далее регулировочным винтом устанавливается величина деформации аппарата, при этом сила упругости аппарата фиксируется датчиком, который значения усилия передает на блок обработки информации. Далее отфильтрованные и усредненные данные передаются на компьютер. Испытания проводились с шагом 0,156 мм, это

соответствует повороту регулировочного винта на 45 градусов.

Результаты исследования и их обсуждение

С помощью физико-математического метода был произведен расчет упругости термопластических полимеров «DENTALD», «ACCEPLAST», «AKRY-FREE», «ЭВИДСАН» в сравнительном аспекте. При моделировании исследовались ортодонтические аппараты, выполненные из рассматриваемых стоматологических материалов.

Исследовались основные параметры, характеризующие упругие свойства материала. Это функция жесткости – зависимость силы реакции от деформации

элемента. На основе графиков краевой деформации построили функции жесткости исследуемого участка для каждого из материалов (рис. 3).

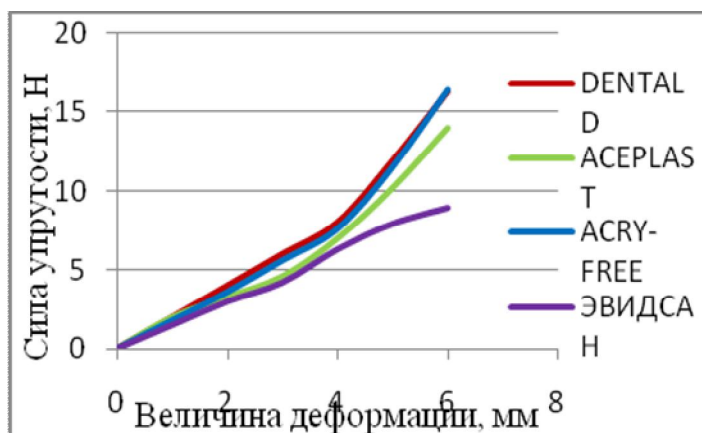


Рис. 3. Теоретические зависимости силы сопротивления от деформации ортодонтического аппарата, выполненного из материалов «DENTALD», «ACEPLAST», «ACRY-FREE», «ЭВИДСАН»

Выявлены характеристики упругости ортодонтических аппаратов, выполненных из различных материалов, при этом по оси ординат (по оси Y) отложены значения силы упругости, соответствующие смещению, показанному по оси абсцисс (ось X). Сравнительный анализ результатов проводился следующим образом: на графике теоретической зависимости силы упругости от деформации для материала «DENTALD» при значении краевого смещения 2 мм величина создаваемого усилия – 6 ньютонов, при таком же смещении, к примеру, для материала Эвидсан, сила упругости составляет 2,5 ньютона. Это говорит о том, что аппарат, выполненный из материала «DENTALD», является более упругим, чем аппарат, выполненный из материала «ЭВИДСАН». Общий анализ результатов показал, что для большинства материалов при увеличении деформации более чем на 2 мм сила давления ортодонтического аппарата на поверхность десны превышает 4 Н, также при значительном сжатии сила упругости резко возрастает и достигает значений более 14 Н, что может привести к неблагоприятным последствиям.

Испытания на стенде, когда ортодонтический аппарат размещен между двумя фиксаторами, подтвердили результаты, полученные теоретическим путем и в результате испытаний по первой методике. Для всех материалов наблюдается зона плавного нарастания упругой характеристики и небольшой подъем при переходе к большим деформациям (более 5 мм). Важным аспектом, который удалось получить с помощью физико-математического метода, является распределение нагрузки в материале, расположение и форма зоны распределения давления.

Доказано также, что сила давления, создаваемая базами аппаратов из исследуемых термопластических полимеров, на подлежащие ткани не концентрируется в одной точке, как у обычных аппаратов, а оказывает позитивное равномерное давление на коронковую и корневую части перемещаемых зубов, на скат альвеолярного отростка и зачатки постоянных зубов. Из представленных после проведения эксперимента графиков следует, что наиболее упругими материалами из всех испытываемых оказались материалы «DENTALD» и «ACRY-FREE»,

однако для материала «ACRY-FREE» зафиксирован больший уровень жесткости, что негативно может сказаться на состо-

янии подлежащих тканей. Наименее упругим оказался материал «ЭВИДСАН» (рис. 4).

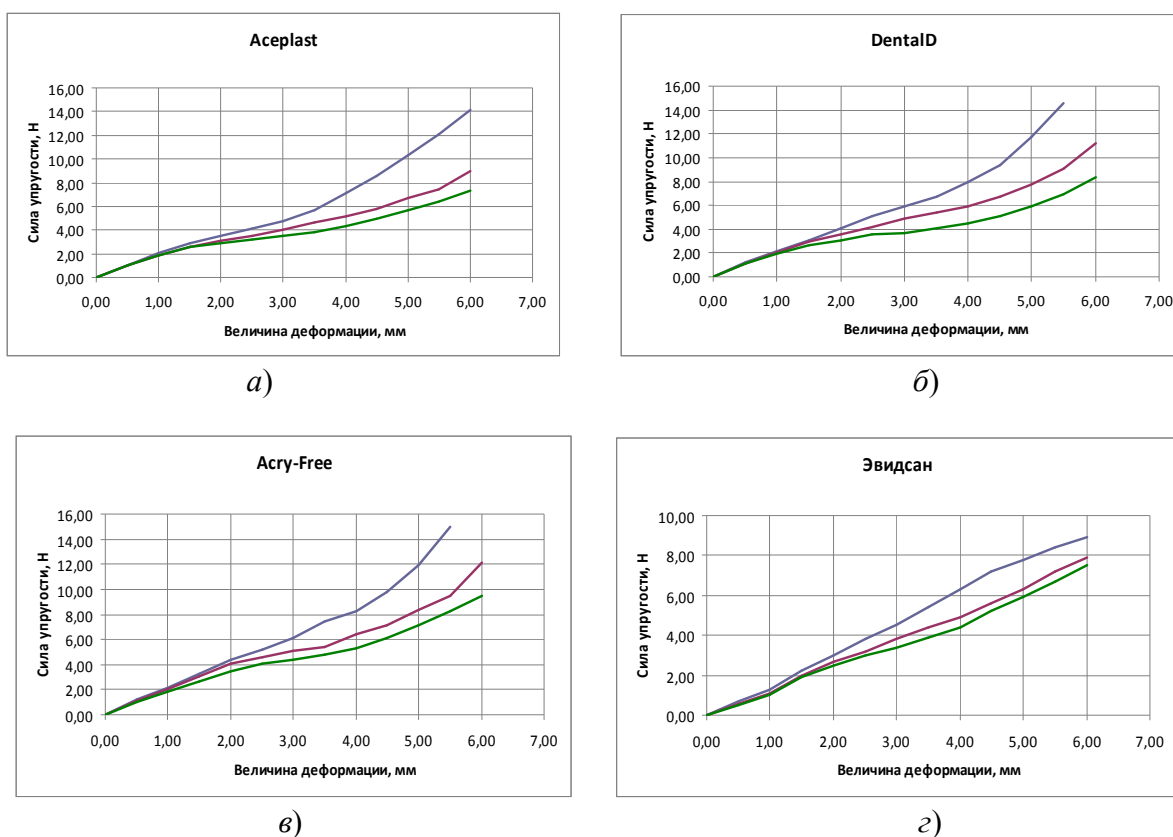


Рис. 4. Результаты значений функции жесткости для материалов: а – «DENTALD»; б – «ACEPLAST»; в – «ACRY-FREE»; г – «ЭВИДСАН»

Заключение

В результате теоретических и экспериментальных методов математического моделирования при изучении упругих свойств термопластических полимеров был выбран базисный материал, наиболее отвечающий требованиям и задачам, соответствующим новой разработанной конструкции лечебного ортодонтического аппарата. В ходе проведенного математического моделирования были даны рекомендации по распределению нагрузки в материале, оптимальному расположению в аппарате зон ослабления нагрузки при конструировании нового ортодонтического лечебного аппарата.

Список литературы

1. Алимova М.Я., Макеева И.М. Планирование и методы математической

обработки результатов научных исследований в медицине: учебное пособие. – М.: Русский врач, 2007. – С. 11-32.

2. Алимova М.Я. Современные технологии в ортодонтии // Ортодонтия. – 2005. – № 3. – С. 8-12.

3. Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем / Московский государственный технический университет им. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – С. 384.

4. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей: учебник. – М.: Изд-во ИЦ МГТУ «СТАНКИН», 2004. – С. 360.

5. Денисова В.Ю., Рыжова И.П., Саливончик М.С. Использование метода пульсогемоиндикации в ортопедической стоматологии // Научные ведомости Бел-

городского государственного университета. Сер.: Медицина, Фармация. – 2011. – № 16, вып. 15/1. – С. 184-187.

6. Использование компьютерных технологий проектирования лечебных зубных аппаратов из эластичных материалов / В.Ю. Денисова, И.П. Рыжова, Н.В. Чиркова, В.В. Чуев // Систем. анализ и управление в биомед. системах. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 1067-1069.

7. Применение эластичных полимеров в практике лечения трансверзальных аномалий окклюзии / И.П. Рыжова, С.И. Бурлуцкая, В.Ю. Денисова, А.С. Яцун // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Медицина. Фармация. – 2011. – № 4, вып. 13. – С. 1067-1069.

8. Результаты биологических исследований базисных полимеров стоматологического назначения / И.П. Рыжова, В.Ю. Денисова, Т.В. Павлова, М.С. Саливончик // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 8-2. – С. 407-409.

9. Рыжова И.П., Денисова В.Ю. Изучение биосовместимости современных конструкционных полимерных материалов // Урал. мед. журн. – 2010. – № 8. – С. 36-40.

10. Сравнительный анализ эффективности окончательной обработки термопластических полимеров стоматологического назначения / И.П. Рыжова, Н.В. Чиркова, В.Ю. Денисова, М.С. Саливончик // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 981-984.

11. Comparison of the dimensional accuracy of injection-molded denture base materials to that of conventional pressure-pack acrylic resin / A. Parvizi, T. Lindquist, R. Schneider [et al.] // J. Prosthodont. – 2004. – Vol. 13, N 2. – P. 83-89.

12. Huang G.J. Bigfoot lives? // Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. – 2006. – Vol. 129. – P. 323-324.

13. Rossi M., Ribeiro E., Smith R. Craniofacial asymmetry in development: an anatomical study // Angle Orthod. – 2003. – Vol. 73, N 4. – P. 381-387.

14. Meiners Z. Verbundfestigkeit zwischen Dental-D und verschiedenen Kunststoff verblendmaterialien, dentallabor. – 2000. – N 9. – P. 126-131.

15. Proffit W.R. Contemporary orthodontic. – St. Louis ; Baltimor ; Boston : Mosby Year Book, 2007. – P. 751.

Получено 08.06.15

V.Yu. Denisova, Candidat of Medical Sciences, Assistant, Kursk State Medical University (e-mail: vdenisova@yandex.ru)

I.P. Ryzhova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University (e-mail: ipr@yandex.ru)

S.N. Gontarev, Doctor of Medical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University (e-mail: znamisng@yandex.ru)

I.S. Gontareva, Assistant, Belgorod State National Research University (e-mail: znamisng@yandex.ru)

M.M. Denisov, Assistant, Belgorod State National Research University (e-mail: mmden@yandex.ru)

M.S. Salivonchik, Assistant, Belgorod State National Research University (e-mail: vdenisova@yandex.ru)

THE RESULTS OF THE USE OF THE FINITE ELEMENT METHOD IN THE DESIGN OF ORTHODONTIC APPLIANCES MADE OF THERMOPLASTIC POLYMERS

The article discusses the use of finite element method in the design of orthodontic appliances.

Key words: *finite elements, design, orthodontic appliances.*