

Математическое обоснование применения подкладочного слоя в шинирующих дуговых протезах при заболеваниях пародонта, сочетающихся с концевыми дефектами зубного ряда

Тарико О.С. – заочный аспирант кафедры ортопедической стоматологии ГОУ ВПО «УГМА Росздора», врач-стоматолог стоматологической клиники «Реал-Дент», г. Екатеринбург
 Жолудев С.Е. – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой ортопедической стоматологии ГОУ ВПО «УГМА Росздора», г. Екатеринбург. Кандоба И.Н. – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Института математики и механики УрО РАН, г. Екатеринбург

The mathematical reasoning for the use of an underlay in splinting arch prosthesis for periodontal diseases, coupled with terminal defects of the dentition

Tariko O.S., Zholudev S.E., Kandoba I.N.

Резюме

В работе обосновано применение подкладочных материалов при протезировании шинирующими конструкциями дуговых протезов лиц с заболеваниями пародонта, осложненными концевыми дефектами зубных рядов. Результаты математического и численного моделирования свидетельствуют, что оптимальные упругие свойства материала этого слоя в каждом конкретном случае индивидуальны, но в значительном числе частных случаев достаточно близки к соответствующим свойствам известных материалов. **Ключевые слова:** заболевания пародонта, мягкая подкладка, концевые дефекты зубного ряда, шинирующий дуговой протез

Summary

Has been reasoned the use of lining materials in prosthetic splinting constructs arch prosthesis in patients with periodontal diseases, complicated by terminal dentition defects. The results of the mathematical and numerical modeling show that the optimal elastic properties of the material of this layer in each case are individual, but a significant number of individual cases are rather close to the corresponding properties of known materials.

Key words: periodontal diseases, soft lining, end dentition defects, splinting arch prosthesis

Введение

Актуальность способов лечения заболеваний пародонта для современного человечества определяется высокой частотой встречаемости данной патологии [9, 10]. Заболевания пародонта в большинстве случаев сочетаются с потерей зубов. Врачу ортопеду необходимо провести планирование конструкции зубных протезов таким образом, чтобы не только восполнить отсутствующие зубы, но и провести шинирование сохранившихся. Особенно много сложностей возникает при дефектах зубных рядов I и II классов по Кеннеди, так как именно в этой ситуации возникает проблема концевого седла [7]. Снять нежелательное (побочное) действие концевого седла или хотя бы уменьшить его пытаются, во-первых, посредством рационального распределения нагрузки между опорными зубами и альвеолярным отростком, во-вторых, путем уменьшения вертикальной нагрузки [9].

Одним из простых способов уменьшения вертикальной нагрузки является использование прослойки эластической пластмассы, помещаемой под базис протеза, или внутри его, или непосредственно под жевательными зубами.

Существуют различные мнения о целесообразности использования мягких подкладок между протезом и слизистой оболочкой, которые бы позволили существенно снизить негативное воздействие на ткани протезного ложа жевательной нагрузки и увеличить жизненный цикл протеза [6, 8].

Целью данного исследования является обоснование использования мягких эластических подкладок при заболеваниях пародонта, осложненных дефектами зубных рядов I и II классов по Кеннеди, с помощью математического и численного моделирования.

1. Математическая модель задачи

В исследуемой задаче восстановленный с помощью съёмного дугового протеза зубной ряд рассматривается как неоднородная упругая конструкция, состоящая из нескольких сегментов, образованных различными материалами – губчатая кость, слизистая оболочка протезного ложа, альвеола (коллагеновые волокна), твёрдые ткани зуба и материал протеза. През-

Ответственный за ведение переписки -
 Жолудев Сергей Егорович
 620014 г. Екатеринбург, ул. Ленина, 16
 Тел.: 8 (343) 2012931
 e-mail: zholudev@e1.ru

полагается, что все сегменты жестко закреплены друг с другом, то есть при упругой деформации всей конструкции смещения на контактных границах сегментов, соответствующих различным материалам, ничтожно малы. К внешней границе конструкции прилагается статическая нагрузка. Эта нагрузка задается набором внешних сил, приложенным к участкам внешней границы конструкции. Каждая из внешних сил характеризуется направлением, величиной и площадью площадки приложения силы.

В полном объеме задача исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) такой конструкции может быть решена в случае, если построена ее трехмерная геометрическая модель. На практике построение такой геометрической модели представляет собой достаточно сложную алгоритмическую и вычислительную задачу. В данной работе рассматривается упрощенная постановка задачи упругости, основанная на общепризнанном экспертами в области сопротивления материалов методе плоских сечений трехмерной конструкции [1]. Для построения плоской (двухмерной) геометрической модели может быть использована, например, рентгенограмма. Здесь двумерная геометрическая модель описывается плоской областью, которая является результатом объединения плоских сечений образующих конструкцию сегментов (см. рис. 1 и другие иллюстрации к статье на третьей обложке журнала). На рис. 1 плоские сечения сегментов (в дальнейшем – просто сегментов) губчатой кости изображены светло-голубым, слизистой оболочки – розовым, альвеолы – оранжевым, зубной ткани – желтым, протеза – красным цветом соответственно. В этой модели рассматривается несколько возможных направления внешних сил. Представленный на рис. 1 набор направлений действия внешних сил и точек их приложения обусловлен особенностями механизмов функционирования зубочелюстной системы.

Далее рассматривается плоское сечение фрагмента зубочелюстной системы, которое описывается плоской неоднородной упругой областью, на внешней границе которой заданы некоторые нагрузки f_i или перемещения u_i . Задача определения НДС этой области заключается в нахождении для каждого из составляющих область сегментов соответствующих вектора перемещений u_i , тензоров деформаций ϵ_{ij} и напряжений σ_{ij} , которые в соответствующем сегменте удовлетворяют системе уравнений:

$$\begin{aligned} (1) \quad & \sigma_{ij,i} = 0, \\ (2) \quad & \epsilon_{ij} = \left(u_{j,i} + u_{i,j} \right) / 2, \\ (3) \quad & \sigma_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij} + \frac{2\mu\nu}{1-2\nu} \epsilon_{kk} \delta_{ij}, \end{aligned}$$

и заданным граничным условиям

$$\begin{aligned} (4) \quad & \sigma_{ij} n_j = f_i = f_i^* \\ & u_i = u_i^* \end{aligned}$$

Здесь μ – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, δ_{ij} –

символ Кронекера, $n_j = \partial u_j / \partial x_j$, n_j – нормаль к границе сегмента, а по повторяющемуся индексу производится суммирование от 1 до 2. В этой модели значения модуля упругости и коэффициента Пуассона определяют упругие свойства материала соответствующего сегмента.

Задача (1)-(4) решается при следующих предположениях:

1. Сечение конструкции жестко закреплено на части ее внешней границы (на рис. 1 эта часть границы изображена синим цветом) – перемещения равны нулю в точках этой границы;
2. Оставшаяся часть внешней границы считается свободной (напряжения в точках этой части границы равны нулю, кроме точек приложения внешних сил).

Указанные допущения адекватно отражают лабораторные условия проведения эксперимента.

Для численного решения задачи (1)-(4) используется хорошо зарекомендовавший себя на практике метод граничных элементов [2]. При этом здесь применяется методика расчетов, основанная на аналитических вычислениях ряда неизвестных функций [3,4]. Использование данной методики позволяет во многом избежать существенных вычислительных трудностей, возникающих при численной реализации ряда операций, необходимых для вычисления компонент тензора напряжений и вектора перемещений в точках области.

2. Оптимизация упругих параметров и формы подкладочного слоя

Как отмечалось выше, в рассматриваемой задаче, при исследовании НДС плоской неоднородной области, подверженной воздействию заданной статической нагрузки, особый интерес вызывают значения напряжений и перемещений, возникающих на контактной границе «протез-слизистая оболочка» – на рис. 2 (а,б) эта граница изображена фиолетовым цветом.

Изучается вопрос о том, как при заданной внешней статической нагрузке влияет на значения этих величин размещение между протезом и слизистой оболочкой дополнительного подкладочного слоя (рис. 2 б). При этом форма соответствующего этому подкладочному слою сегмента (распределение его толщины) и значения параметров (модуль Юнга, коэффициент Пуассона), описывающих упругие свойства материала слоя, могут быть использованы для достижения оптимальных распределений напряжений и перемещений на контактной границе «подкладка-слизистая оболочка». Причем, эта задача решается при ряде изопериметрических ограничений. Во-первых, контактная граница «подкладка-слизистая оболочка» фиксирована. Во-вторых, площадь дополнительного сегмента равна заданной величине. Здесь варьируемыми параметрами являются значения модуля Юнга, коэффициента Пуассона и контактная граница «подкладка-протез» (рис. 2 б), а оптимизируемыми характеристиками являются:

- максимальное значение напряжения σ_{ij} (5),
- максимальное значение перемещения f (max) (6) на контактной границе «подкладка-слизистая оболочка» и u (max)

Задача оптимизации заключается в определении при указанных изопериметрических ограничениях таких значений модуля Юнга, коэффициента Пуассона и формы сегмента подкладочного слоя (распределение его толщины), которые бы одновременно минимизировали значения показателей (5), (6). Достижение этих целей позволяет в ряде клинических случа-

№	Модуль Юнга (Е)	Модуль Пуассона (ν)	σ ₁ (МПа)	σ ₂ (МПа)	ε ₁ (мм/мм)	ε ₂ (мм/мм)
1	1,0	1,00000	37,7952107207	104,204201442	120,41916252	0,124671726795
2	0,75	1,00000	28,34640801	78,15315079	89,488771124	0,09239441176
3	0,5	1,00000	18,897605302	52,102101181	59,6594212474	0,06011710474
4	0,25	1,00000	9,448802651	26,051050591	29,8297106237	0,029928552374
5	0,0	1,00000	0	0	0	0
6	0,75	1,00000	28,34640801	78,15315079	89,488771124	0,09239441176
7	0,5	1,00000	18,897605302	52,102101181	59,6594212474	0,06011710474
8	0,25	1,00000	9,448802651	26,051050591	29,8297106237	0,029928552374
9	0,0	1,00000	0	0	0	0
10	0,75	1,00000	28,34640801	78,15315079	89,488771124	0,09239441176
11	0,5	1,00000	18,897605302	52,102101181	59,6594212474	0,06011710474
12	0,25	1,00000	9,448802651	26,051050591	29,8297106237	0,029928552374
13	0,0	1,00000	0	0	0	0

Рис. 3. Результаты локальных вариаций значений оптимизируемых параметров – модуля Юнга и коэффициента Пуассона.

ев существенно снизить негативное воздействие статической нагрузки на слизистую оболочку протезного ложа, что способствует повышению комфорта пациента и увеличению жизненного цикла протеза.

Такая задача оптимизации может быть решена методами локальных вариаций оптимизируемых параметров. В основе этих методов лежат известные [5] алгоритмы чувствительности, которые заключаются в переборе малых вариаций значений параметров конструкции с целью определения той вариации, которая приводит одновременно уменьшению значений оптимизируемых характеристик (5), (6).

На рис. 2. (а, б на обложке) и рис. 3 представлены результаты решения рассматриваемой оптимизационной задачи в одном из частных случаев. На рис. 3 приведены значения оптимизируемых характеристик (5), (6) для ряда значений варьируемых параметров – модуля Юнга и коэффициента Пуассона. Данные в первой строке таблицы на рис. 3 описывают ситуацию, когда прокладочный слой отсутствует (рис. 2 а). Остальные строки этой таблицы содержат значения упругих параметров прокладочного слоя (рис. 2 б) и соответствующих им значения характеристик (5), (6).

Начи в работе использовался материал Mukoren, который был выбран из-за хорошей адгезии к базисному материалу седла дугового протеза. Применение указанного прокладочного материала у 12 пациентов в течение года показало хорошие ближайшие результаты. Пациенты не предъявляли жалоб, характерных при явлении краевого седла.

Выводы

Результаты численных экспериментов, проведенные с использованием реальных данных, позволяют сформулировать следующие выводы:

Во-первых, при заданной внешней статической нагрузке и указанных выше изопериметрических ограничениях удастся определить значения упругих параметров прокладочного слоя и его форму (распределение толщины), которые существенно уменьшают максимальное значение напряжения (5) и максимальное значение смещения (6) на границе «подкладочная слизистая оболочка» (в среднем в два и десять раз соответственно).

Во-вторых, в большинстве случаев оптимальные значения упругих параметров (модуль Юнга, коэффициент Пуассона) такого прокладочного слоя оказываются достаточно близкими к значениям соответствующих параметров известных материалов.

В-третьих, применение прокладочного слоя в большом числе клинических случаев можно признать целесообразным, а в ряде ситуаций (высокая степень атрофии губчатой кости) – и необходимым. При этом для этого могут быть использованы такие материалы, как Mukoren, Molloplast, Dura Soft, Flexor, ГосСил и другие.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-01-00523 и фундаментальной программы Президиума РАН "Математическая теория управления" (Проект 09-П-1-1013).■

Литература:

1. Александров А.В. Соппротивление материалов. М. Высша школа. – 2003. – 560с.
2. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. М. Мир, 1984. - 494с.
3. Федотов В.П., Спесак Л.Ф. К аналитическому вычислению интегралов в численно-аналитическом методе решени задач математической физики. Вестник Сам.ГТУ, сер. Физико-математические науки. 2006. Вып. 43. С. 92 – 99.
4. Федотов В.П., Спесак Л.Ф. Аналитическое интегрирование функций вли ни дл решени задач упругости и теории потенциала методом граничных элементов. Математическое моделирование. 2007. Т. 19, №2. – С. 87-104.
5. Баничук Н.В., Иванова С.Ю., Шаранюк А.В. Динамика конструкций. Анализ и оптимизации. М., Наука. 1989. 260с.
6. Лебедеико И.Ю., Налбанд и К.Г., Перегудов А.Б., Воронов И.А. Исследование эластичных материалов дл м гких подкладок съёмных зубных протезов Новое в теории и практике стоматологии: Сб. науч. тр. Ставрополь, 2003. 276-281.
7. Стрижаков В.А. Параллеломери при планировании дуговых протезов/ учебное пособие. – Изд. УГМА, Екатеринбург, 2010. – 72с.
8. Сысоев Н.П. Методы и средства профилактики патологических изменений тканей протезного ложа при пользовании съёмными протезами: Автореф. дисс... д-ра мед. наук. Киев, 1992 46с.
9. W. Gernet, R. Biffar, N. Schwenzer, M. Ehrenfeld Zahnärztlicheprothetik/Thueme, 2007. – 295s.
10. H.F. Wolf, E. M. & K. H. Rateitschak Parodontologie. G. Thieme Verlag, Stuttgart, New York. – 2008. - 547s.

Новый способ получения оттиска для изготовления маски лица

Карасёва В.В., Жолудев С.Е.



Рис.1. Этапы получения «слепочной ложки лица» из фотополимерного материала



Рис.2. Этапы снятия силиконового оттиска лица (объяснение в тексте)

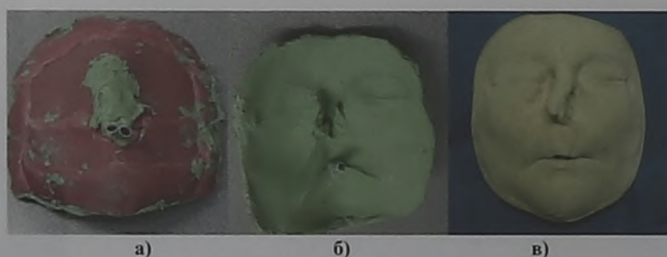


Рис.3.Оттиск лица (а – снаружи, б – изнутри) и маска лица (в)

Математическое обоснование применения подкладочного слоя в шинирующих дуговых протезах при заболеваниях пародонта, сочетающихся с концевыми дефектами зубного ряда

О.С. Тарико, С.Е. Жолудев, И.Н. Кандоба

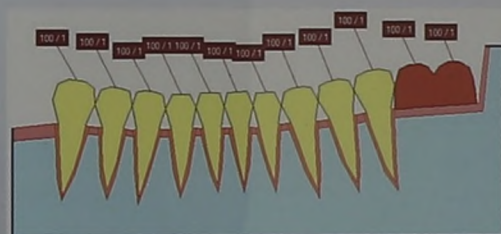


Рис. 1. Плоское сечение фрагмента зубочелюстной системы. Сегмент красного цвета – плоское сечение седловидной части дугового протеза

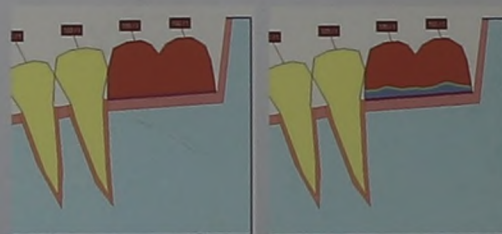


Рис. 2. а) Подкладочный слой отсутствует, контактная граница «протез-слизистая оболочка» (фиолетовый цвет), б) Добавлен подкладочный слой (голубой цвет), контактная граница «подкладка-протез» (светло-зеленый цвет)