

19. Введение в грид-технологии / А.П. Демичев, В.А. Ильин, А.П. Крюков. – М.: Препринт НИИЯФ МГУ, 2007. 87 с.
20. Распределенные системы. Принципы и парадигмы / Э. Таненбаум, М. ван Стеен. – СПб.: Питер, 2003. 877 с.
21. Варенов Д.А. Построение вычислительного кластера // Тезисы докладов федеральной школы-конференции по инновационному малому предпринимательству в приоритетных направлениях науки и высоких технологий. – М.: РГУИТП, 2005. С. 49 – 50.
22. Калашников Е.И. Адаптивные алгоритмы управления распределением нагрузки в многосерверных системах. Автореферат диссертации на соискание учёной степени к.т.н.. – М.: МИЭМ, 2010. 17 с.

Старых Владимир Александрович,
канд. техн. наук, доцент, зам. директора ФГУ
ГНИИ ИТТ «Информика».

vstar@informika.ru

Варенов Дмитрий Анатольевич,
программист отдела программных систем ФГУ
ГНИИ ИТТ «Информика».

varenov@informika.ru

Плосков Сергей Юрьевич,
канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры
«Информационные Системы» РГУИТП

Sergploskov@yandex.ru

Кузнецов Александр Юрьевич,
вед. инженер Отдела программных систем ФГУ
ГНИИ ИТТ «Информика».

allexius@informika.ru

Е.Н. Чумаченко, И.Ю. Лебеденко, А.С. Арутюнов, И.В. Логашина, З.Л. Шанидзе

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРЕПЛЕНИЯ ПРОТЕЗОВ-ОБТУРАТОРОВ У ОНКОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ С ПРИОБРЕТЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

Разработана математическая модель и изучено напряженно-деформированное состояние системы "слизистая оболочка края дефекта верхней челюсти – obturator челюстного протеза". Получены новые данные о сравнительной эластичности материалов для мягких подкладок зубных протезов. Обсуждаются проблемы повышения качества ортопедической стоматологической реабилитации онкологических больных с приобретенными дефектами верхней челюсти.

Ключевые слова: математическое моделирование, качество крепления, протез-обтуратор, онкологические больные, верхняя челюсть

E.N. Chumachenko, I.Yu. Lebedenko, A.S. Arutyunov, I.V. Logashina, Z.L. Shanidze

MATHEMATICAL MODELING AND IMPROVING THE QUALITY OF ATTACHMENT OBTURATORS IN CANCER PATIENTS WITH ACQUIRED DEFECTS OF THE UPPER JAW

A mathematical model was developed. We study the stress-strain state of the "edge of the mucous membrane of the defect of the upper jaw - obturator prosthesis". New data relative elasticity of the materials for soft denture linings obtained. The problems of improving the quality of dental prosthetic rehabilitation of cancer patients with acquired defects of the upper jaw.

Keywords: Mathematical modeling of the quality of attachment, denture-obturator, cancer patients, the upper jaw

Введение

Изменения в социально-политическом устройстве государства и окружающей среде, старение населения, происходящие в последние десятилетия, не могли не сказаться на состоя-

нии здоровья жителей России. Последствия таких изменений привели к увеличению онкологической заболеваемости, в том числе головы и шеи [1-4]. В свою очередь, это привело к ежегодному увеличению числа больных, нуждающихся в челюстно-лицевом

протезировании [5-10]. Особенно остро стоит проблема реабилитации пациентов с приобретенными дефектами верхней челюсти, при которых серьезно нарушаются жизненно важные функции дыхания, глотания, звукообразования, речи, жевания. При этом крайне важно не только проведение качественного и адекватного челюстного и лицевого протезирования, но и необходимых комплексных реабилитационных мероприятий, включающих оценку качества жизни этого контингента больных [11-12].

Челюстно-лицевые дефекты возникают в результате врожденных аномалий, травм, ранений, операций по поводу онкологических заболеваний. Данный контингент больных имеет выраженные нарушения не только жизненно необходимых (жевательных, речевых), но и эстетических функций. На этом фоне возникают глубинные психологические нарушения. Пациенты проходят несколько фаз адаптации к новым условиям жизни и имеющимся дефектам: от физического и эстетического привыкания к наличию собственно протеза, до принятия себя в новой и несвойственной ситуации. Данные обстоятельства диктуют необходимость возвращения этих пациентов к повседневной жизни, ставя во главу угла вопросы комплексной реабилитации. Роль врача-стоматолога-ортопеда в данном случае чрезвычайно высока.

В отличие от адаптации, которая трактуется как приспособление с использованием резервных возможностей организма, реабилитация понимается как восстановление, активизация. В процессе реабилитации компенсаторный механизм используется для преодоления существующего порока, а в процессе адаптации – приспособления к нему. Следовательно, реабилитация – это система мер, имеющих своей целью возвращение пациента к активной жизни в обществе. Этот процесс является непрерывным, хотя и ограничен временными рамками.

Следует различать виды реабилитации: медицинскую, психологическую, педагогическую, социально-экономическую, профессиональную, бытовую.

Важной составляющей в комплексе реабилитационных мероприятий является медицинская реабилитация. Восстановление целостности утраченного органа или его части (челюсть, небо, альвеолярный край и т.д.) является первым этапом. Медицинская реабилитация направлена на полное или частичное восстановление или компенсацию той или иной утраченной функции организма. На этом этапе (после хирургических вмешательств) важнейшая роль в медицинской реабилитации отводится врачу-стоматологу ортопеду. Основная функция в данном случае – ортопедическое лечение, то есть зубочелюстно-лицевое протезирование. Такой протез при-

зван восстановить утраченные функции и в максимальной степени добиться косметического эффекта (рис. 1).

Определяющее влияние на качество жизни пациента после операционного вмешательства и установки протеза-обтуратора оказывают эксплуатационные характеристики протеза. Такие, как усилие введения протеза на место травмы и усилие изъятия протеза, комфортные условия фиксации протеза. Условия фиксации должны обеспечивать, с одной стороны, надежное крепление протеза, а с другой, гарантировать отсутствие травм на слизистой оболочке небного участка верхней челюсти.

Модель протеза-обтуратора

Для анализа характеристик крепления протеза-обтуратора за основу была взята математическая модель, описывающая поведение биомеханических зубочелюстных систем с искусственными включениями [13, 14]. При этом края оперированного участка неба считались жесткими, но не должны были испытывать нагрузку выше заданного порога, обеспечивающего отсутствие травм на слизистой оболочке костных тканей.

Вводимая в посттравматическую полость верхней челюсти часть протеза-обтуратора, изготавливается из специального мягкого медицинского материала. При проведении численных экспериментов в качестве материала мягкой части протеза использовался материал «БОКСИЛ». Испытания этого медицинского материала и определение его физических характеристик было выполнено в лаборатории проф. Р.А. Васина в институте Механики МГУ им. М.В. Ломоносова [15].

В процессе исследований была выполнена серия вычислительных экспериментов с помощью программы SPLEN (www.kommek.ru) и установлены зависимости, позволяющие оптимизировать эксплуатационные характеристики протеза-обтуратора и, тем самым, повысить качество жизни пациента. Были построены оценки, с помощью которых были определены преимущества той или иной конфигурации «фиксирующего выступа» удерживающего протез в верхней челюсти пациента.

В качестве основных были выбраны три параметра – усилие, необходимое для установки протеза (P_{input}), усилие необходимое для извлечения протеза (P_{output}) и Q – возникающее максимальное давление на слизистую оболочку края травмированной области верхней челюсти в процессе установки и извлечения протеза.

При этом: P_{input} – необходимо минимизировать для облегчения пользования протезом при регулярных (ежедневных) гигиенических процедурах; P_{output} –

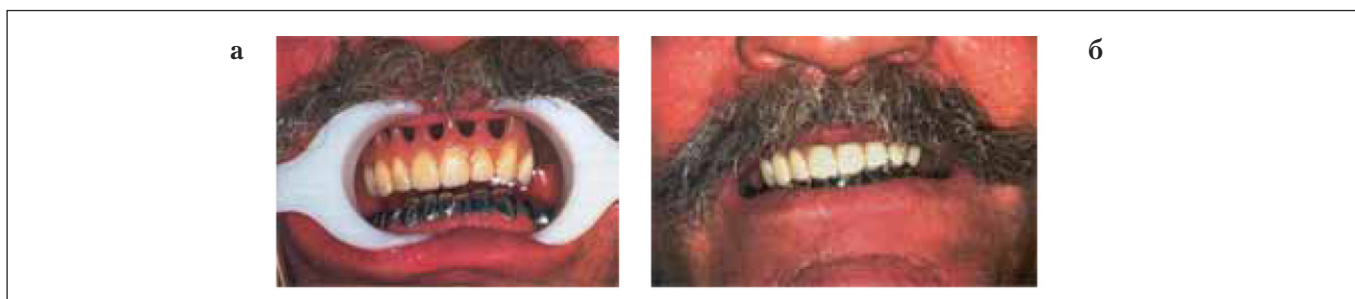


Рис. 1. Пациент с установленным протезом-обтуратором. Общий вид (а) и естественное состояние (б)

должно быть, с одной стороны, ограничено для облегчения регулярного пользования (в гигиенических целях), с другой стороны, оно должно быть достаточным для удержания протеза в ложе верхнего неба, обеспечивая фиксацию протеза при раскрытии челюсти в условиях налипания пищевых комков (с усилием); Q – не должно превышать давления, вызывающего травматический эффект у пациента.

Введем обозначения:

Δs – величина, на которую выступает (относительно массивной части) «фиксирующий выступ»; m – ширина уступа на внешнем контуре (принято, что на внутреннем контуре ширина уступа постоянна и равна 4 мм), задавались значения: 1,0; 1,6; 3,0 мм; n – величина утолщения небной части протеза (после фиксирующего выступа) (рис. 2).

Результаты численных экспериментов

В первой серии численных экспериментов выполнялись расчеты для края дефекта с радиусом кривизны, равным 10 мм.

На первом этапе для «фиксирующего выступа» $\Delta s = 0,5$ мм. было установлено, что усилие P_{input} в два раза превышает усилие P_{output} ($P_{input} = 1,65$ кг, $P_{output} = 0,85$ кг). Этот эффект связан с явлением прогиба мягкой части протеза при его извлечении. Фиксация протеза ослабляется. Т.к. при установке протеза этот прогиб значительно меньше и «работает» на улучшение фиксации (при вертикальном сжатии обобщенный диаметр части протеза, вводимой в травмополость, увеличивается), было решено за счет введения утолщения в небной части протеза, постараться увеличить степень фиксации при извлечении протеза. Давление на слизистую поверхность края травмополости оказалось равным $Q = 110$ г/мм².

Путем направленного перебора было установлено, что при заданной конфигурации величина утолщения в небной части $n = 2$ мм достаточна для обеспечения равных усилий для установки и снятия протеза, т.е. $P_{input_1} = P_{output}$ ($P_{input_1} = 1,80$ кг, $P_{output} = 1,80$ кг, $Q = 110$ г/мм²). Это максимально достижимый качественный эффект, т.к. во всех случаях, в связи с наличием массивной части протеза с язычной стороны, должно быть $P_{input} \leq P_{output}$.

На втором этапе оценивалось влияние на напряженно-деформированное состояние высоты «фиксирующего выступа». Было установлено, что утолщение в небной части $n = 2$ мм обеспечивает равенство $P_{input} = P_{output}$ и при величине выступа $\Delta s = 1,0$ мм, и при $\Delta s = 1,5$. ($\Delta s = 1,0$ мм: $P_{input} = P_{output} = 3,3$ кг, $Q = 170$ г/мм²; $\Delta s = 1,5$ мм: $P_{input} = P_{output} = 5,4$ кг, $Q = 190$ г/мм²). При

увеличении величины выступа увеличивается как усилие установки-снятия протеза, так и давление на слизистую. Дальнейшее увеличение выступа не рассматривалось, т.к. это привело бы к недопустимому увеличению критических значений эксплуатационных усилий и давления на слизистую.

Далее, для оценки влияния упругих характеристик материала на процесс установки-снятия протеза для численного эксперимента был взят материал с модулем Юнга в два раза меньше, чем у БОКСИЛА. ($E = 1,9$ МПа заменили на $E = 0,95$ МПа). В результате проведенных расчетов была установлена линейная зависимость выходных параметров от модуля Юнга ($P_{input} = P_{output} = 1,65$ кг, $Q = 85$ г/мм²).

На четвертом этапе оценивалось влияние состояния слизистой оболочки на наблюдаемые параметры. Очевидно, что существенное влияние на усилие установки-снятия протеза может оказывать коэффициент трения протеза о слизистую верхнего неба. Коэффициент трения по Колмогорову-Леванову был принят равным $k = 0,1$ (во всех предыдущих и последующих расчетах). Для проверки его влияния на результаты расчета в очередном вычислительном эксперименте было принято $k = 0,2$ (при $\Delta s = 1,0$ мм, $m = 1,6$ мм, $n = 2$ мм). Было получено ожидаемое увеличение силовых параметров, а вот давление на слизистую (см. сравнение со 2 этапом) не изменилось ($P_{input} = P_{output} = 4,2$ кг, $Q = 170$ г/мм²).

Пятый этап. Во всех предыдущих случаях считалось, что рабочая часть протеза (выше и ниже выступа) имеет обобщенный радиус, равный радиусу разрушенного участка в верхнем небе. Был выполнен специальный численный эксперимент, оценивающий напряженно-деформированное состояние в протезе и давление на слизистую в случае наличия зазора между рабочей частью протеза и краем небного отверстия.

Было принято, что зазор по всему контуру (по радиусу обобщенного отверстия) составляет 0,5 мм. При

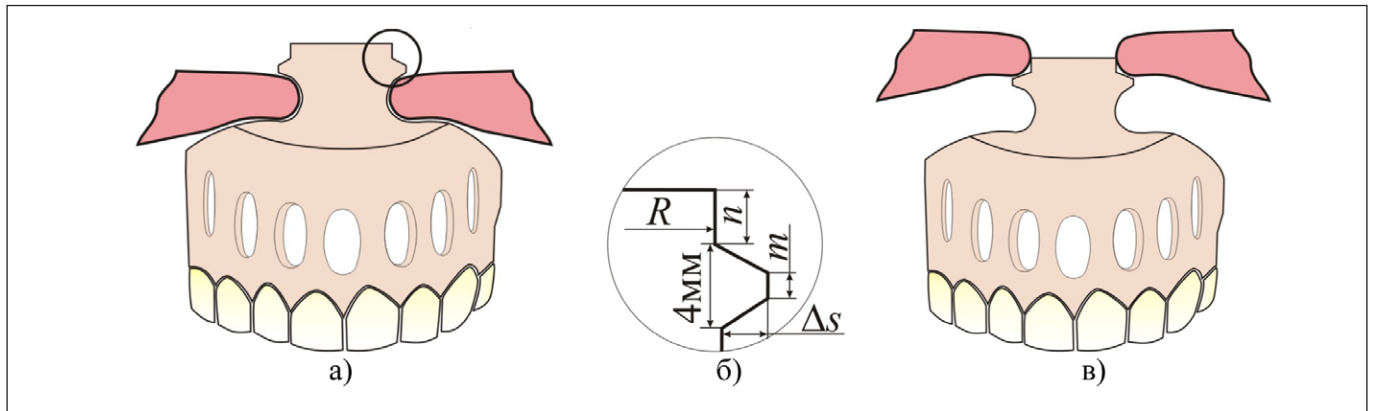


Рис. 2. Схема протеза-обтуратора: в фиксированном (а) и в извлеченном (в) состояниях. Геометрические характеристики фиксирующего выступа (б)

этом $k=0,1$; $\Delta s=1,5$ мм; $m=1,6$ мм; $n=2$ мм. Т.е. «обжатие» выступа в 1,5 мм осуществлялось на величину в 1,0 мм. Получили, что в этом случае $P_{input} = P_{output} = 3,15$ кг, $Q = 180$ г/мм².

Следующая серия численных экспериментов была связана с изменением ширины уступа на внешнем контуре m обобщенного диаметра $D=2 \times R$.

На шестом этапе выполнены численные эксперименты для $m=1$ и 3 мм. Было получено, что для ширины в 1 мм: $P_{input} = P_{output} = 2,85$ кг, $Q=150$ г/мм², а для 3 мм: $P_{input} = P_{output} = 3,60$ кг, $Q = 180$ г/мм².

Напомним, что для $m=1,6$ мм: $P_{input} = P_{output} = 3,30$ кг, $Q = 170$ г/мм².

Т.о. получилось, что влияние m на основные параметры носит нелинейный характер.

Последняя, седьмая серия численных экспериментов была посвящена оценке влияния обобщенного диаметра D на процесс установки-снятия протеза. Было принято, что $k=0,1$; $\Delta s=1,0$ мм; $m=1,6$ мм; $n=2$ мм. Материал – БОКСИЛ.

Для диаметра $D = 40$ мм распределенная нагрузка, необходимая для установки и снятия протеза, оказалась равной $39 \cdot 10^{-4}$ кг/мм², а $Q=150$ г/мм². Для $D = 50$ мм аналогичные параметры равны $28 \cdot 10^{-4}$ кг/мм² и $Q=135$ г/мм².

Полученные на основе математического моделирования дефекта верхней челюсти с различной толщиной и податливостью свободного края слизистой оболочки протезного ложа для обтурирующей части зубочелюстного протеза и численных экспериментов с использованием программы SPLEN результаты, позволили сделать следующие практические рекомендации.

Практические рекомендации

1. При изготовлении протеза-обтуратора из эластичной пластмассы необходимо предусмотреть утолщение носовой части протеза для уравнивания усилия установки и извлечения протеза с учетом эластичности конструкционного материала и величины

дефекта верхней челюсти. Для материала БОКСИЛ при дефекте диаметром 20 мм утолщение носовой части обтуратора должно быть не менее 2 мм.

2. Для достижения допустимых пределов усилий установки (фиксации) и снятия протеза-обтуратора при дефектах верхней челюсти диаметром, превышающим 20 мм, целесообразно применять эластичные стоматологические материалы с меньшим, чем у БОКСИЛа модулем Юнга с учетом того, что усилие при установке и извлечении протеза-обтуратора линейно зависит от модуля Юнга эластичного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Неробеев А.И., Ипполитов В.П., Рабухина Н.А., Семкин В.А., Караян А.С., Букатина Н.В., Шамсудинов А.Г., Ляшев И.Н., Измайлов М.М. Клинико-рентгенологический анализ результатов устранения дефектов и деформаций костей лицевого черепа с использованием современных способов пластики и фиксации костных фрагментов // *Стоматология*. 2002. №3. С.28-32.
2. Иващенко Н.И., Ипполитов В.П. Остеосинтез в лечении тяжелых сочетаний черепно-лицевых травм у юношей // *Клиническая стоматология*. 2007. № 3. С.56-59.
3. Асиятилов А.Х., Абусуев А. Особенности функционального состояния слюнных желез при патологии щитовидной железы // *Матер. VII всероссийского научного форума с международным участием «Стоматология 2005» 8 февраля 2005 г.* - Москва, 2005.-С. 30-31. МГМСУ.
4. Губина Л.К., Малыхина М.А., Сидалиев А.А. Факторы риска, состояние гигиены полости рта и интенсивность кариеса у детей 7 лет // *Российский стоматологический журнал*. 2008. № 6. С.25-27.

5. Вагнер В.Д., Салеев Р.А., Смирнова Л.Е., Бочковский И.С., Вашурин И.В. Технологии ортопедического лечения стоматологических больных // Клиническая стоматология. 2010. № 1. С.12-15.
6. Ананьев В.А., Вагнер В.Д., Шлыков М.В. Исследование эффективности распознавания врачами-стоматологами личностных реакций пациентов на стоматологическое заболевание и лечение // Институт стоматологии. 2007. № 3. С.32-33.
7. Леонов А.Г., Баранская Л.Т., Блохина С.И. Эстетическая хирургия и психология: проблемы экологической валидности // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2005. № 2. С.87-91.
8. Соколова Е.Т., Баранская Л.Т. Клинико-психологические основания эффективности эстетической хирургии // Социальная и клиническая психиатрия. 2007. № 3. С.26-33.
9. Арутюнов С.Д., Кицул И.С., Арутюнов А.С., Саркисян М.С., Даллакян В.Ф., Грачев И.Ф. Социологическая оценка потребности в ортопедической стоматологической помощи больных с челюстно-лицевыми дефектами // Социология медицины. 2008. № 2. С.27-30.
10. Яковлев В.А., Арутюнов С.Д., Арутюнов А.С., Ткаченко Г.А., Седракян А.Н., Ларионов Д.Э., Минашвили Л.Т., Санодзе Д.О. Анализ эмоционального состояния больных злокачественными новообразованиями различной локализации // Паллиативная медицина и реабилитация. 2010. № 2. С.61-64.
11. Арутюнов С.Д., Кицул И.С., Арутюнов А.С., Макаревич А.А. Методические основы изучения качества жизни больных с челюстно-лицевыми дефектами // Российский стоматологический журнал. 2009. № 3. С.51-54.
12. Арутюнов А.С. Качество жизни онкологических больных после ортопедической стоматологической реабилитации / Арутюнов А.С., Кицул И.С., Седракян А.Н., Макаревич А.А., Арутюнов С.Д. // Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН, 2010. – Т. 21. №2(80). С.29-37.
13. Чумаченко Е.Н., Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубных протезов. – М.: Молодая гвардия. 2003. 272с.
14. Чумаченко Е.Н., Янушевич О.О., Арутюнов С.Д., Лосев Ф.Ф., Лебеденко И.Ю., Ибрагимов Т.И., Игнатьева Д.Н., Мальгинов Н.Н. Выбор рациональных конструкций временных зубных протезов на основе применения информационных технологий // Стоматология. 2010. №1. С.50-54.
15. Янушевич О.О., Чумаченко Е.Н., Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю., Лосев Ф.Ф., Мальгинов Н.Н., Игнатьева Д.Н. Компьютерное моделирование, прогноз и анализ эффективности использования стоматологических кап / Российский стоматологический журнал. 2010. №3. С. 16-19.

Чумаченко Евгений Николаевич,

д-р техн. наук, академик РАЕН, профессор, зав. кафедрой Математического моделирования МГИЭМ.
mmkaf@miem.edu.ru

Лебеденко Игорь Юльевич,

д-р мед. наук, профессор, проректор Московского медицинского стоматологического университета.
lebedenko@mail.ru

Арутюнов Анатолий Сергеевич,

канд. мед. наук, доцент Московского медицинского стоматологического университета.
sd.arutyunov@mail.ru

Логашина Ирина Валентиновна,

канд. техн. наук, доцент кафедры Математического моделирования МГИЭМ.
tm@miem.edu.ru

Шанидзе Зураб Леванович,

аспирант Московского медицинского стоматологического университета.
sd.arutyunov@mail.ru