

УДК 716.089.28/.29-77-074(021)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ В МОСТОВИДНОМ ПРОТЕЗЕ С ДВУХСТОРОННЕЙ ОПОРОЙ

Жулев Е.Н., Дёмин Д.Н., Айвазян М.Г.

ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Нижний Новгород, e-mail: rector@gmannov.ru

В данной статье отражены итоги проведенного исследования биомеханики мостовидного протеза с двухсторонней опорой на зубы. В работе учитывался ряд факторов, оказывающих существенное влияние на объект исследования: направление вектора действующих на протез сил, величина и характер возникающих напряжений, анатомия и структура опорных элементов. С целью достижения полученных результатов использовалась универсальная программная система конечно-элементного анализа ANSYS. Было выявлено, что в большинстве случаев, независимо от направления приложенной к протезу нагрузки, щечно-язычный или язычно-щечный вектор, изменения в структуре протеза в виде возникающих напряжений имеют общие закономерности и определенную симметричность. При этом следует отметить, что подобная связь характерна как для структуры мостовидного протеза в целом, так и для его составных частей, опорных зубов и тканей пародонта в отдельности. Важно подчеркнуть, что сказанное выше справедливо лишь для качественно изготовленной конструкции, с соблюдением правил и норм на всех этапах ортопедического лечения. Биомеханика протеза, в ходе работы с которым были допущены определенные ошибки, вероятнее всего, будет иметь существенные отличия от тех, которые описаны нами.

Ключевые слова: металлокерамический мостовидный протез, математическая модель, интенсивность напряжений, элементный анализ

THE RESEARCH OF THE STRESSES INTENSITY IN THE PROSTHETIC METAL-BRIDGE WITH TWO SUPPORTING TEETH

Zhulev E.N., Demin D.N., Ayvazyan M.G.

Nizhny Novgorod State Medical Academy, Nizhny Novgorod, e-mail: rector@gmannov.ru

In this article the results of the leaded research of biomechanical features of the prosthetic metal-bridges with two supporting teeth are represented. In our work we single out some factors affecting the research object: the functioning forces direction, the magnitude and the kind of the occurring stresses, supporting elements' anatomy and structure. To get the results, that we have now, we used the universal program system of elemental analysis ANSYS. We found out that mostly, not depending on the direction of the forces, vestibule-oral or oral-vestibular direction, the changes in the prosthesis structure connected with stresses have some similarities and symmetry. Also we should know that this is right not only for construction as a whole, but also for its parts, supporting teeth and periodontal tissues separately. It is important that all these rules are right just for correctly made constructions using some regulations in prosthetic treatment. The biomechanics of the mistakenly made prosthesis is different and won't be like in our research.

Keywords: prosthetic metal-ceramic bridge, mathematical model, the stresses intensity, elemental analysis

При частичной потере зубов как одним из наиболее распространенных стоматологических заболеваний включенные дефекты формируются в первую очередь в боковых отделах зубных рядов [7, 9].

В связи с большой потребностью в ортопедическом лечении у таких больных возникает необходимость в применении более долговечных и эстетически наиболее выгодных конструкций протезов. Безусловно, в этом отношении мостовидные протезы, облицованные керамикой, имеют ряд преимуществ перед съемными протезами. Современные возможности стоматологии позволяют изготавливать конструкции, удовлетворяющие самым высоким требованиям пациентов как в отношении функциональной состоятельности протеза, так и эстетической. Но при этом следует иметь

в виду, что достижение подобных результатов возможно лишь при грамотном планировании лечения с учетом всех индивидуальных особенностей пациента.

Важно при этом отметить, что любые осложнения, возникающие при протезировании, имеют логическое обоснование, связанное с биомеханикой мостовидных протезов, которая в каждом случае подчиняется конкретным правилам и законам.

Для решения этих задач в ортопедической стоматологии применяют методы математического моделирования, используя возможности современной вычислительной техники [2, 7]. Они позволяют построить и проанализировать биомеханические свойства конструкций протезов [6, 8]. При этом в ходе исследования возможно рассмотрение особенностей различ-

ных видов мостовидных протезов: с односторонней или двухсторонней опорой, различными опорными зубами и т.д. Независимо от этого точность воспроизведения свойств биопрототипов будет очень высока.

В наши дни все еще остаются спорными вопросы, связанные с применением мостовидных протезов с двухсторонней опорой. Тем не менее публикации, посвященные данному вопросу, не дают возможности получить полное представление о биомеханике подобных конструкций, что в свою очередь является причиной нередко совершаемых ошибок в проводимом лечении.

Цель исследования – изучение интенсивности напряжений в металлокерамическом мостовидном протезе с двухсторонней опорой.

Материалы и методы исследования

При выполнении поставленных задач нами проводилось построение математической модели мостовидного протеза с двухсторонней опорой. В качестве опорных зубов были выбраны второй премоляр и второй моляр, а промежуточная часть была сконструирована по форме, аналогичной первому моляру.

Построение расчетной конечно-элементной модели предполагает выполнение следующих этапов: выбор и обоснование расчетной схемы, задание физических свойств сред, построение геометрической модели, создание конечно-элементной сетки, задание граничных условий: условий закрепления, силовых воздействий.

Модель включает в себя челюстную кость, опорные зубы, периодонт и конструкцию протеза, чтобы сделать её геометрически подобной реальной системе. Данный подход позволяет естественным образом учитывать все особенности конструкции.

Физические свойства материалов и тканей, задаваемые в математической модели, приведены в табл. 1 и были взяты из справочной литературы.

За основу создания модели принимались геометрические данные, полученные сканированием зубного ряда больного. Из всего зубного ряда вырезались данные, относящиеся к изучаемым зубам, и переносились в программный пакет Rhinoceros 4.0. Эта программа обладает широким набором инструментов для работы со сплайн-аппроксимациями поверхностей.

В Rhinoceros 4.0 импортировался набор точек, на который затем «натягивалась» сплайновая поверхность.

Таблица 1
Физические свойства материалов и тканей

Ткань, материал	Модуль упругости 1-го рода E (МПа)	Коэффициент деформации ν
Базис (металл)	200000	0,30
Зубное вещество дентин	14700	0,31
Челюстная кость	7000	0,3
Периодонт	50	0,4
Керамика	70000	0,19
Цемент фосфатный	13000	0,35

Внешняя поверхность периодонта создавалась как равноотстоящая от поверхности зубного корня на заданное расстояние (0,1 мм). Внутренняя поверхность совпадает с поверхностью зуба, внешняя повторяет форму лунки.

Внешние поверхности металлических коронок создавались согласно принятой технологии по опорным линиям (пространственным сплайнам). После этого все элементы металлического каркаса соединялись между собой.

Керамический слой строился по той же схеме. За внешнюю поверхность керамики брались внешние поверхности зубов, построенные ранее. Внутренняя поверхность совпадает с внешней поверхностью каркаса.

При соединении всех элементов использовалось гладкое сопряжение поверхностей.

Таким образом, построены все элементы модели: опорные зубы, периодонт, челюстная кость, цементный слой, металлический каркас и керамическое покрытие.

Созданные геометрические модели экспортировались в программный пакет ANSYS, где строилась конечно-элементная сетка, задавались нагрузки и условия закрепления.

Для создания конечно-элементной сетки использовались 10 узловые криволинейные изопараметрические элементы в виде тетраэдров (треугольных пирамид). Все модели включают от 90 000 до 300 000 элементов.

При выборе значений нагрузки на зубы за основу принималась функциональная нагрузка, приведенная в табл. 2.

Таблица 2
Расчеты показателей функционального напряжения

Зуб	3	4	5	6	7
Вертикальная нагрузка, н	150	150	180	300	200
Боковая нагрузка (+/-)	30	30	36	60	40

Нагрузка равномерно «размазывалась» по всей жевательной поверхности. Боковая нагрузка прикладывалась перпендикулярно зубному ряду в язычном и щечном направлениях.

При исследовании моделей предполагалось, что нижняя поверхность челюстной кости закреплена жестко по трем взаимно перпендикулярным направ-

лениям, на торцевых поверхностях челюстной кости закреплены нормальные перемещения.

Результаты исследования и их обсуждение

Данное исследование проведено с целью анализа влияния различных вариантов

крепления зубного протеза на напряженное состояние в опорных тканях протезного ложа и элементах протеза.

Напряженное состояние в точке среды характеризуется тензором напряжений, имеющим в общем случае шесть независимых компонент, которые зависят как от приложенной внешней нагрузки, так и от системы координат, в которой происходит рассмотрение. Для оценки опасности напряженного состояния применяются так называемые эквивалентные напряжения. Для металлов и сплавов в качестве эквивалентного напряжения традиционно используется критерий «интенсивность напряжения».

Целью настоящего анализа не является определение предельного состояния и разрушения системы «челюсть – зубы – протез». Данное биомеханическое исследование посвящено сравнительному анализу

влияния различных вариантов крепления зубного протеза на напряжения в опорных тканях и элементах протеза. Для этого мы использовали две величины: интенсивность напряжений и среднее (гидростатическое) напряжение (давление). Для оценки состояния хрупких сред, таких как цемент или керамика, применялся критерий максимальных растягивающих напряжений.

При приложении нагрузки к мостовидному протезу в щечно-язычном направлении максимальные смещения в пределах конструкции по оси X (0,75354 мм) концентрируются в области жевательной поверхности опорного премоляра и искусственного зуба, занимая около 1/4 их площади, равномерно убывая вертикально в направлении придесневой части конструкции протеза и горизонтально в области опорного моляра (рис. 1).

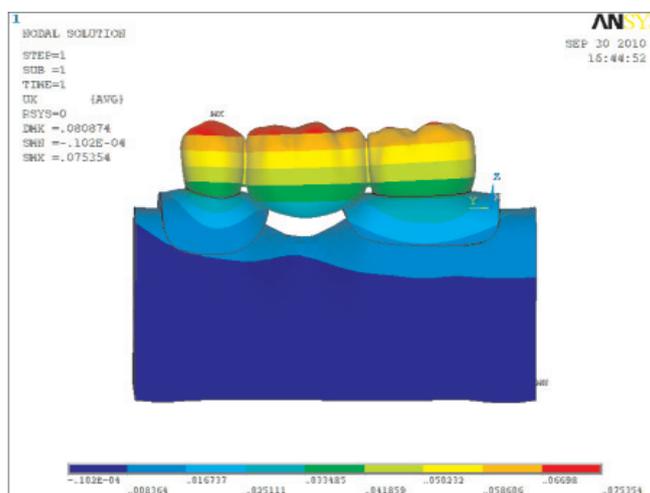


Рис. 1. Смещения по оси X в мостовидном протезе

Важно отметить, что независимо от направления нагрузки, щечно-язычного или обратного, распределение смещений имеет аналогичные свойства и определенную симметричность. Например, если при щечно-язычном направлении нагрузки максимальные смещения концентрируются вестибулярно, то при обратной нагрузке они концентрируются язычно в противоположной части конструкции.

Данное утверждение верно как для конструкции мостовидного протеза в целом, так и для его составных частей, в частности металлического каркаса, керамической облицовки и цемента.

При приложении нагрузки к мостовидному протезу в щечно-язычном направлении максимальные напряжения по Мизесу (97,54 МПа) концентрируются в области соединения опорного премоляра и искусственного зуба в придесневой области со

щечной стороны и в придесневой части опорного моляра с медиально-язычной стороны, убывая в области искусственного зуба. Минимальные напряжения по Мизесу (1,412 МПа) концентрируются на жевательной и вестибулярной поверхности опорного моляра и искусственного зуба (рис. 2).

При приложении нагрузки к мостовидному протезу в язычно-щечном направлении максимальные растягивающие напряжения (4,532 МПа) в цементном слое концентрируются в области придесневой и средней трети опорного моляра, равномерно убывая вертикально в направлении жевательных бугорков (рис. 3).

Также нужно подчеркнуть, что выявленная выше закономерность характерна не только для самого протеза, но и для опорных зубов и периодонта, что также подтвердилось в ходе нашего исследования.

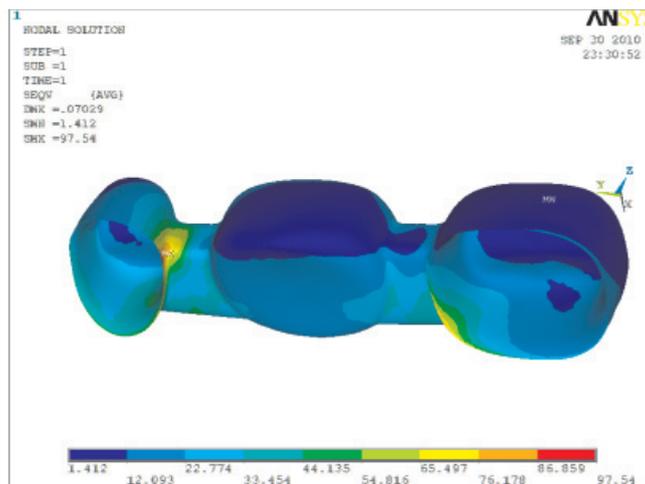


Рис. 2. Напряжения по Мизесу в металлическом каркасе протеза

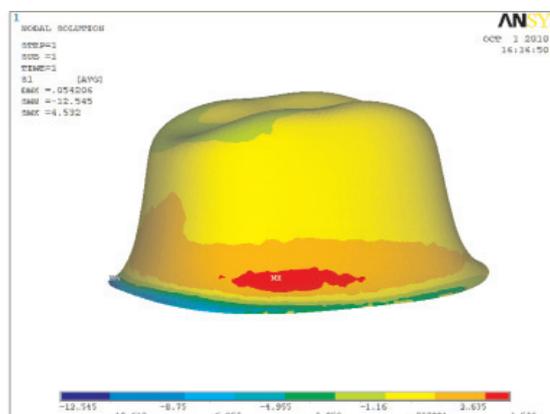


Рис. 3. Максимальные растягивающие напряжения в цементном слое

При приложении нагрузки к мостовидному протезу в щечно-язычном направлении максимальные напряжения по Мизесу (32,369 МПа) в твердых тканях зуба концентрируются в области придесневой и средней трети корня опорного премоляра с язычной стороны, занимая около 1/3 его площади, равномерно убывая горизонтально в щечном направлении и вертикально в направлении апикальной части корня и коронковой части зуба. Минимальные напряжения по Мизесу (0,48 МПа) распределены на противоположной стороне корня и коронковой части зуба (рис. 4).

На рис. 4 отображена ситуация с опорным премоляром, однако концентрация напряжений в опорном моляре почти идентична изображенной.

При приложении нагрузки к мостовидному протезу в щечно-язычном направлении максимальные напряжения по Мизесу (6,288 МПа) в тканях периодонта концентрируются в области придесневой трети корня опорного премоляра с язычной

стороны, занимая около 1/4 его площади, равномерно убывая горизонтально в щечном направлении и вертикально в направлении апикальной части корня. Минимальные напряжения по Мизесу (0,007 МПа) концентрируются в придесневой трети корня с вестибулярной стороны (рис. 5).

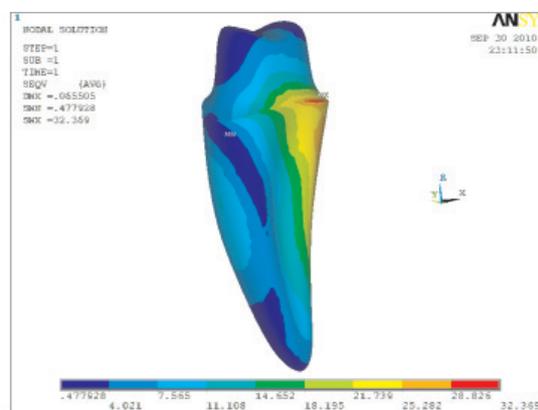


Рис. 4. Напряжения по Мизесу в тканях зуба

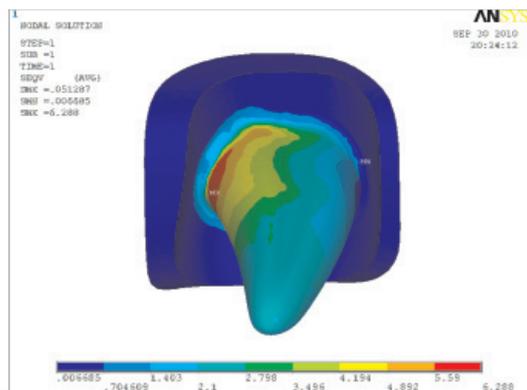


Рис. 5. Эквивалентные напряжения в тканях периодонта

Распределение напряжений в тканях периодонта также соответствует изложенным выше закономерностям.

Заключение

В завершение проведенного исследования хотелось бы еще раз подчеркнуть выявленные и подтвержденные нами закономерности биомеханики мостовидного протеза с двухсторонней опорой. Очень важно, что симметричность и равномерность распределения нагрузок независимо от их направления характерна только для конструкций протезов, изготовленных с соблюдением всех правил, принятых для несъемного протеза. При совершении ряда ошибок при проведении лечения характер распределения сильно меняется. Также нужно заметить, что подобное благоприятное распределение напряжений в элементах протеза и окружающих тканях свойственно именно мостовидным протезам с двухсторонней опорой на зубы.

Однако, несмотря на то, что в определенных клинических ситуациях использование данного вида протезов не является приемлемым, например, при заболеваниях пародонта, сказанное выше может являться хорошим ориентиром для практикующих врачей в выборе вида конструкции при замещении включенных дефектов зубных рядов.

Список литературы

1. Абакаров С.И., Жнивин Ю.Э., Каламкарров Х.А. Дискуссионные аспекты конструирования и применения металлокерамических зубных протезов // *Стоматология*. – 1989. – № 4. – С. 44–48.
2. Абакаров С.И. Клинико-лабораторное обоснование конструирования и применения металлокерамических протезов: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1993. – 236.
3. Антипова З.П. Морфологические изменения в тканях протезного поля при применении различных конструкций металлокерамических мостовидных протезов // *Стоматология*. – 1992. – Т. 71. – № 3–6. – С. 15–21.
4. Вагнер В.Д. Материально-техническое обеспечение клинических и лабораторных этапов изготовления некоторых видов ортопедических металлокерамических протезов // *Экономика и менеджмент в стоматологии*. – 2001. – № 3. – С. 68–73.
5. Васильев В.Г., Паньковский Б.Б. Ошибки при протезировании дефектов зубного ряда несъемными протезами // *Научные труды / Иркутский мед. институт*. – 1976. – Вып. 129. – С. 142–145.
6. Гаврилов Е.И., Шербаков А.С. Ортопедическая стоматология. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1984. – 576 с.

7. Жулев Е.Н. Несъемные протезы: Теория, клиника и лабораторная техника. – Н. Новгород: НГМА, 1995. – 365 с.

8. Жулев Е.Н. Биомеханика упругих напряжений в системе «протез-протезное ложе» при использовании мостовидных протезов / Е.Н. Жулев, Ю.Н. Иванов, Н.С. Беллюстин // II Всерос. конф. по биомеханике. Памяти Н.А. Бернштейна, 22–25 нояб. 1994 г.: Тез. докл. – Н. Новгород, 1994. – Т. 2. – С. 53.

9. Жулев Е.Н. Расчет упругих напряжений при использовании мостовидных зубных протезов / Е.Н. Жулев, Ю.Н. Иванов, Н.С. Беллюстин // *Нижегор. мед. журн.* – 1996. – № 2. – С. 49–52.

10. Каламкарров Х.А., Глазов О.Д., Кирьянова Ю.В., Севостьянов Д.Г. Клиническая оценка результатов применения протезов из металлокерамики // *Стоматология*. – 1977. – № 3. – С. 39–42.

11. Козлов В.А. Математическое моделирование и расчет напряженно-деформированного состояния металлокерамических зубных протезов // *Стоматология*. – 1997. – Т. 76. – № 4. – С. 47–51.

References

1. Abakarov S.I., Zhnivin Y.E., Kalamkarov K.A. Diskussionnye aspekty konstruirovaniya i primeneniya metallokeramicheskikh protezov [Discussion Aspects In Constructing And Using Of Metal-ceramic Bridges]. *Stomatologiya Publ.*, 1989, pp. 44–48.

2. Abakarov S.I. Kliniko-laboratornoe obosnovanie konstruirovaniya i primeneniya metallokeramicheskikh protezov: Dis. d-ra med. nauk [Clinical And Laboratorial Substantiation Of Metal-ceramic Bridges' Constructing And Usage: The Dissertation Of M.D.]. Moscow, 1993, 236 p.

3. Antipova Z.P. Morfologicheskie izmeneniya v tkanyakh proteznogo polya pri primeneni razlichnykh konstruktiv metallokeramicheskikh mostovidnykh protezov [Morphological Changes In The Prosthesis Field Tissues After Using The Different Constructions Of The Metal-ceramic Bridges]. *Stomatologiya Publ.*, 1992, pp. 15–21.

4. Gavrilov E.I., Scherbakov A.S. Ortopedicheskaya stomatologiya [The Prosthetic Dentistry]. Moscow, Meditsina Publ., 1984, 576 p.

5. Kalamkarov K.A., Glazov O.D., Kiryanova Y.V., Sevostyanov D.G. Klinicheskaya otsenka rezultatov primeneniya protezov iz metallokeramiki [The Clinical Review Of The Metal-ceramic Protheses Usage Results]. *Stomatologiya Publ.*, 1977, pp. 39–42.

6. Kozlov V.A. Matematicheskoe modelirovaniye i raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metallokeramicheskikh zubnykh protezov [Mathematical Modelling And Calculation Of The Stress-Deformed Conditions In The Metal-ceramic Protheses]. *Stomatologiya Publ.*, 1997, pp. 47–51.

7. Vagner V.D. Materialno-tekhnicheskoe obespecheniye klinicheskikh i laboratornykh etapov izgotovleniya nekotorykh vidov ortopedicheskikh metallokeramicheskikh protezov [The Technical Provision In Clinical And Laboratorial Stages Of Production Of Different Prosthetic Metal-ceramic Bridges]. *Economics and Management in dentistry*, 2001, pp. 68–73.

8. Vasilyev V.G., Pankovskiy B.B. Oshibki pri protezirovani defektov zubnogo ryada nesemnymi protezami [The Mistakes In Treatment Of The Tooth Row Defects Using The Fixed Protheses]. *Irkutsk med. Institute*, 1976, pp. 142–145.

9. Zhulev E.N. Nesemnye protezy: Teoriya, klinika i laboratornaya tekhnika [The Fixed Protheses: Theory, Clinical Aspects And Laboratorial Technics]. Nizhny Novgorod, NNSMA Publ., 1995, 365 p.

10. Zhulev E.N. Biomekhanika uprugikh napryazheniy v sisteme «protez – proteznoe lozhe» pri ispolzovanii mostovidnykh protezov [The Biomechanics Of The Elastic Stresses In The «Prosthesis – Prosthetic Field» System When Using The Prosthetic Bridges]. Nizhny Novgorod, 1994, 53 p.

11. Zhulev E.N. Raschet uprugikh napryazheniy pri ispolzovanii mostovidnykh zubnykh protezov [The Calculation Of The Elastic Stresses When Using The Prosthetic Bridges]. *N. Novgorod Med. Journal, Nizhny Novgorod*, 1996, pp. 49–52.

Рецензенты:

Казарина Л.Н., д.м.н., профессор, зав. кафедрой пропедевтической стоматологии, ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Нижний Новгород;

Дурново Е.А., д.м.н., профессор, зав. кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 29.12.2014.