

СОСТОЯНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОСТОВИДНОГО ПРОТЕЗА С ДВУСТОРОННЕЙ ОПОРОЙ

Жулев Е.Н.¹, Демин Д.Н.², Серов А.Б.¹

¹ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, Нижний Новгород (603005, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1), e-mail: rector@gmannov.ru.

² «Доктор-дент+», 603163, г. Нижний Новгород, Казанское шоссе 10, корп. 4, тел. 278-25-07, ddent@kis.ru.

Проведен анализ распределения интенсивности напряжений в мостовидном протезе с двусторонней опорой при построении биомеханической системы корня зуба, периодонта, металлического каркаса, керамической облицовки мостовидного протеза. В ходе исследования выявили зоны концентрации наибольших напряжений в мостовидном протезе при разных направлениях нагрузки (вертикально-щёчном и вертикально-язычном), как наиболее часто встречающиеся в процессе функционирования протеза. Также было изучено возникновение и распределение сжимающих и растягивающих напряжений в корне опорных зубов, их периодонте, каркасе и керамической облицовки металлокерамического мостовидного протеза. Подобный анализ позволяет более тщательно подойти к процессу планирования конструкции мостовидных протезов с двусторонней опорой, а также будет способствовать снижению риска осложнений и повышению качества ортопедического лечения несъемными протезами.

Ключевые слова: мостовидный протез, интенсивность напряжений, эквивалентные напряжения, опорные зубы.

STATE OF STRESSES IN BIOMECHANICAL SYSTEM OF BRIDGES WITH BILATERAL SUPPORT

Zhulev E.N.¹, Demin D.N.², Serov A.B.¹

1. Medical University "Nizhny Novgorod State Medical Academy," the Ministry of Health of the Russian Federation, Russia (Nizhny Novgorod, 603005, Nizhny Novgorod, pl. Minin and Pozharsky, 10/1), e-mail - rector@gmannov.ru.

2. "Doctor-dent +", 603163, Nizhny Novgorod, Kazan Highway 10, Bldg. 4, tel. 278-25-07, <http://ddent@kis.ru>

The analysis of the intensity distribution of stresses in bridges with bilateral support in the construction of biomechanical system of the tooth root, periodontium, metal frame, ceramic coating of the bridge. The study found the largest concentration zones of stresses in bridges at different load directions (vertically-buccal and vertically-lingual) as the most common during functioning of the prosthesis. It was also studied the occurrence and distribution of compressive and tensile stresses in the root of the abutment teeth and their periodontium, framework and ceramic coating of metal-ceramic bridge. Such analysis allows us to more closely approach the planning process of the design bridges with bilateral support and also will help to reduce the risk of complications and improve the quality of prosthetic treatment with non-removable prostheses.

Keywords: bridge, stress intensity, equivalent stresses, abutment teeth.

В настоящее время широко распространено протезирование при частичной потере зубов металлокерамическими мостовидными протезами. В то же время накопленный клинический опыт показывает, что этот метод лечения весьма далек от совершенства. Особенно это относится к вопросам планирования конструкции металлокерамического протеза при различных клинических условиях, обусловленных прежде всего протяженностью дефекта зубного ряда, размерами клинических коронок естественных зубов и их положением на альвеолярном отростке, состоянием пародонта и беззубой альвеолярной части, соотношением оставшихся зубов, видом прикуса и т.д. [5]. Наиболее важным критерием для выбора конструкции протеза является протяженность дефекта зубного ряда, по мнению

многих авторов, определяющая прочность конструкции и ее способность противостоять функциональной нагрузке [1; 6].

Важное место в решении практических задач ортопедической стоматологии занимает исследование характера распределения интенсивности напряжений в тканях пародонта опорных зубов под воздействием протезов. Однако в специальной литературе вопросам биомеханики металлокерамических мостовидных протезов уделяется недостаточное внимание [4; 8]. Тем не менее решение этого вопроса является основополагающим при оценке общей клинической картины при частичной потере зубов, что могло бы служить основой для составления общего плана ортопедического лечения и способствовало бы повышению точности прогнозирования долговечности металлокерамических мостовидных протезов, а в целом повышению эффективности ортопедического лечения.

Изучение вопросов эффективности ортопедического лечения дефектов зубного ряда и долговременности функционирования зубных рядов связано с необходимостью получения дополнительной объективной информации об исследуемой протезной конструкции и ее взаимодействиях с биологическими тканями зубочелюстной системы. Для решения проблем биомеханики применяют методы математического моделирования, использующие возможности современной вычислительной техники [2; 3; 9].

Как известно, любой мостовидный протез вызывает функциональную перегрузку пародонта. Прогрессирующая атрофия лунок, в большинстве случаев сопровождающаяся развитием патологической подвижности зубов, свидетельствует о полном исчезновении резервных сил пародонта. При резорбции стенок альвеол и уменьшении площади пародонта величина напряжений при неизменной жевательной силе будет возрастать и тем значительнее, чем больше резорбция. Дополнительно возникающие напряжения при использовании несъемных мостовидных протезов вызывают перегрузку опорных зубов, что ведет к усиленной дистрофии пародонта, клинически проявляющейся в виде патологической подвижности зубов, обнажении шеек зубов и к их вторичному перемещению [7].

Важное место в решении практических задач ортопедической стоматологии занимает исследование интенсивности напряжений в тканях пародонта опорных зубов под протезами. Это связано с тем, что возникающие под влиянием жевательного давления упругие напряжения и деформации определяют анатомо-функциональное состояние пародонта и при определенных условиях могут быть причиной развития функциональной перегрузки в декомпенсированной форме.

Оправданный интерес проявляют многие авторы и к вопросу оценки ближайших и отдаленных результатов протезирования включенных дефектов зубных рядов мостовидными протезами. Тщательный анализ причин, приведших к преждевременному снятию

мостовидных протезов, позволяет разработать мероприятия, направленные на повышение эффективности лечения несъемными конструкциями. В целом же считаем необходимым отметить, что вопросы повышения качества протезирования включенных дефектов боковых отделов зубных рядов мостовидными протезами с учетом решения проблем их биомеханики, а также необходимость создания экспертной унифицированной системы определения показаний к их применению остаются на сегодняшний день актуальными и требуют дальнейшей разработки.

Цель исследования

Изучить особенности биомеханики металлокерамических мостовидных протезов с двусторонней опорой.

Материалы и методы

Для изучения биомеханики мостовидного протеза с опорой на однокорневой и двукорневой зуб применялся метод математического моделирования. Построение расчетной конечно-элементной модели включало выполнение следующих этапов:

- 1) выбор и обоснование расчетной схемы;
- 2) задание физических свойств сред;
- 3) построение геометрической модели;
- 4) создание конечно-элементной сетки;
- 5) задание граничных условий: условий закрепления, силовых воздействий.

Модель включает в себя челюстную кость, опорные зубы, периодонт и конструкцию протеза.

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

Были построены все элементы модели: опорные зубы, периодонт, челюстная кость, цементный слой, металлический базис, керамическое покрытие (рис. 1).

Созданная геометрическая модель экспортировалась в программный пакет ANSYS, где строилась конечно-элементная сетка, задавались нагрузки и условия закрепления. Для создания конечно-элементной сетки использовались 10 узловых криволинейных изопараметрических элементов в виде тетраэдров (треугольных пирамид). Все модели включают от 90 000 до 300 000 элементов. Такая сетка достаточна для получения решения требуемой точности.

Таблица 1 - Физические свойства материалов и тканей

Ткань, материал	Модуль упругости 1-го рода E (МПа)	Коэффициент поперечной 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

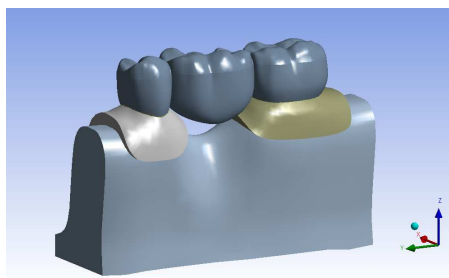


Рис. 1. Вид геометрической модели мостовидного протеза с двусторонней опорой.

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

Таблица 2 - Расчеты показателей функционального напряжения

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

Нагрузка равномерно распределялась по всей жевательной поверхности. Боковая нагрузка прикладывалась перпендикулярно зубному ряду в язычном и щёчном направлениях.

При исследовании моделей предполагалось, что нижняя поверхность челюстной кости закреплена жестко по трем взаимно перпендикулярным направлениям, на торцевых поверхностях челюстной кости закреплены нормальные перемещения.

Для оценки опасности напряженного состояния применялись так называемые эквивалентные напряжения. Для металлов и сплавов в качестве эквивалентного напряжения использовалась интенсивность напряжений. Для оценки биомеханической естественно-искусственной системы «челюсть – зубы - протез» использовался критерий Шлейхера-Надаи, зависящий от интенсивности касательных напряжений и величины среднего или

гидростатического давления. Гидростатическое давление и интенсивность напряжений являются инвариантами напряженного состояния, то есть не зависят от системы координат.

Для сравнения и анализа работы системы «челюсть – зубы - протез» использовались две величины: интенсивность напряжений (или напряжение по Мизесу), характеризующая энергию изменения формы, и среднее (или гидростатическое) напряжение.

Для оценки напряженного состояния хрупких сред, таких как цемент или керамика, применялся критерий максимальных растягивающих напряжений.

Результаты исследований

При воздействии окклюзионной нагрузки на мостовидный протез вертикально вниз и язычно наибольшие напряжения наблюдаются на окклюзионной поверхности первого и второго моляров, а также первого премоляра, постепенно уменьшаясь по направлению к переднему опорному зубу, который при этом испытывает наименьшее воздействие. Также часть нагрузки распределяется на пришеечную зону второго опорного моляра. Отрицательные значения нагрузки отмечаются в альвеолярном отростке в области клыка (рис. 2). Опорные зубы также испытывают определенные напряжения. Максимальные сжимающие напряжения на переднем опорном зубе концентрируются в области уступа с апроксимальной стороны, прилежащей к области дефекта зубного ряда, и распределяются по корню зуба апикально и в язычную сторону.

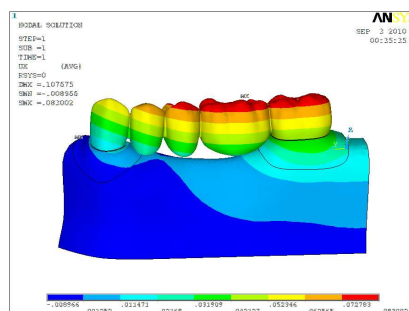


Рис. 2. Эквивалентные напряжения в мостовидном протезе при нагрузке вертикально вниз и в язычную сторону.

Как показано на рисунке 3, при воздействии функциональной нагрузки на мостовидный протез вертикально вниз и язычно растягивающие напряжения возникают на вестибулярной поверхности корня, достигая максимума в пришеечной зоне и уменьшаясь по направлению к апикальной части.

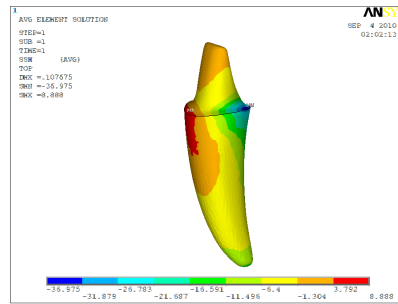


Рис. 3. Изменение среднего давления на переднем опорном зубе при воздействии на мостовидный протез вертикально вниз и в язычную сторону.

Обратная картина наблюдается в области переднего опорного зуба во время приложения функциональной нагрузки на мостовидный протез вертикально вниз и щёчно. Сжимающие напряжения концентрируются в области уступа со стороны дефекта и распределяются по корню зуба вестибулярно и вниз. Растягивающие напряжения концентрируются в этой же зоне, но с распределением в язычном направлении.

Наибольшие сжимающие напряжения на дистальном опорном зубе при воздействии на мостовидный протез вертикально вниз и в язычную сторону концентрируются в области уступа с апроксимальной, граничащей с дефектом, стороны, в месте перехода язычной части уступа в мезиальную и распределяются по мезиальному корню зуба язычно. Растягивающие напряжения наблюдаются с дистальной стороны в области уступа и верхней трети дистального корня (рис. 4).

При воздействии на мостовидный протез функциональной нагрузки вертикально вниз и в щёчную сторону наибольшие сжимающие напряжения также концентрируются в области уступа с апроксимальной стороны, но в месте перехода вестибулярной части уступа в мезиальную и распределяются по мезиальному корню зуба вестибулярно. Растягивающие же напряжения концентрируются с язычной стороны в верхней трети дистального корня и распространяются на 2/3 его длины. В керамическом слое мостовидного протеза также отмечается неравномерное распределение напряжения (рис. 5). Причем его характер сходен как при вертикально-язычном, так и при вертикально-щёчном направлении нагрузки. Зона концентрации максимальных растягивающих напряжений выявляется в местах соединения искусственных зубов со стороны десны (двух премоляров, второго премоляра и первого моляра). Причем точка максимальной интенсивности находится между вторым премоляром и моляром с вестибулярной стороны.

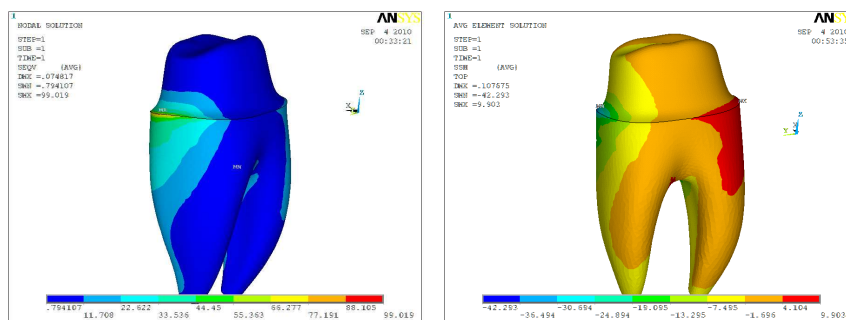


Рис. 4. Эквивалентные напряжения в двухкорневом опорном зубе при воздействии вертикально вниз и в язычную сторону.

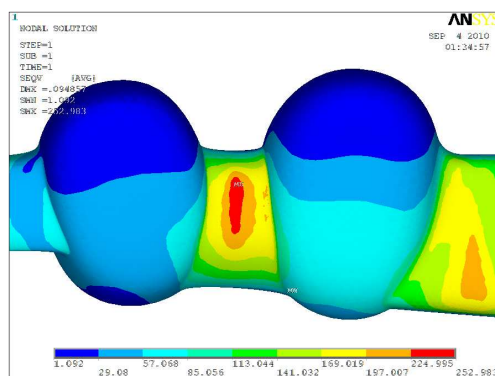


Рис. 5. Эквивалентные напряжения в каркасе мостовидного протеза между двумя премолярами при вертикально-язычном направлении нагрузки.

Зона максимальных растягивающих напряжений в каркасе мостовидного протеза при вертикально-язычном направлении нагрузки выявляется в местах соединения искусственных зубов со стороны десны, а именно между премолярами и между вторым премоляром и первым моляром. Точка максимального напряжения в каркасе мостовидного протеза находится между двумя премолярами.

Обсуждение полученных результатов

Таким образом, проведенный анализ математической модели мостовидного протеза с двусторонней опорой показал неравномерное распределение напряжений в опорных зубах и их пародонте, в цементном слое, а также металлическом каркасе и керамической облицовке мостовидного протеза.

Опорные зубы воспринимают как растягивающие, так и сжимающие нагрузки. Так, наибольшие сжимающие напряжения в области опорных зубов концентрируются в зоне уступа со стороны, граничащей с дефектом зубного ряда, и постепенно распределяются по поверхности корня апикально. Растягивающие же напряжения определяются с противоположной поверхности корня зуба.

В пародонте также отмечается неравномерная интенсивность напряжений.

Максимальные сжимающие напряжения концентрируются в пришеечной трети с апроксимальной стороны, прилежащей к области дефекта зубного ряда. Растягивающие напряжения возникают с противоположной стороны корня, равномерно в области пришеечных 2/3 и уменьшаясь по направлению к апикальной части.

В керамическом слое мостовидного протеза также отмечается неравномерное распределение напряжений. Зона концентрации максимальных растягивающих напряжений выявляется в местах соединения искусственных зубов со стороны десны. Зона максимальных растягивающих напряжений в каркасе мостовидного протеза выявляется в местах соединения искусственных зубов со стороны десны, а именно между премолярами и между вторым премоляром и первым моляром.

Проведенный анализ интенсивности напряжений в системе «зуб - протез» позволяет более грамотно подойти к вопросу планирования и конструирования протезов, их технического исполнения, а также может явиться основой для разработки экспертной системы по определению показаний к применению подобных протезов, что и снизит риск нежелательных осложнений ортопедического лечения.

Заключение

Таким образом, изучение характера распределения интенсивности напряжений в мостовидном протезе с двусторонней опорой показало развитие значительных усилий как в тканях опорных зубов и их пародонте, так и в цементном слое, керамической облицовке и металлическом каркасе мостовидного протеза. Считаем необходимым отметить, что вопросы повышения качества протезирования включенных дефектов боковых отделов зубных рядов мостовидными протезами с учетом решения проблем их биомеханики, а также возможность создания унифицированной экспертной системы определения показаний к их применению будут способствовать повышению эффективности ортопедического лечения с применением мостовидных протезов.

Список литературы

1. Арутюнов С.Д. Критерии прочности и долговременности временных несъемных зубных протезов / С.Д. Арутюнов, В.А. Ерошин, А.А. Перевезенцева [и др.] // Институт стоматологии. – 2010. - № 4. – С. 84-85.
2. Арутюнов С.Д. [и др.] Математическое моделирование и расчет напряженно-деформированного состояния металлокерамических зубных протезов // Стоматология. – 1997. - № 4. – С. 47-52.

3. Валеев И.В. Моделирование напряженного состояния опорных тканей зубов при нормальном и аномальном их положении / И.В. Валеев, Ф.Ф. Маннанова, В.С. Куликов // Стоматология. - 2000. - № 6. - С. 49-51.
4. Воложин А.И., Чумаченко Е.Н., Барер Г.М., Ведеев А.И. Математическое моделирование и расчет НДС системы «зуб - челюсть» после депульпирования // Стоматология. - № 3. - С. 14-17.
5. Жулев Е.Н. Ортопедическая стоматология : учебник. – М. : ООО «Медицинское информационное агентство», 2012. – 834 с.
6. Каламкарров Х.А. Ортопедическое лечение с применением металлокерамических протезов. - М. : МедиаСфера, 1996. – 176 с.
7. Саютин О.Ю. Современные представления о конструировании напряженных мостовидных протезов / О.Ю. Саютин, Н.Н. Соболева, В.А. Воробьев // Бюл. Вост.-Сиб. науч. центра Сиб. отд. РАМН. - 2000. - № 1. — С. 41-43.
8. Шварц А.Д. Биомеханика и окклюзия зубов. - М. : Медицина, 1994. – 203 с.
9. Grawford P.R. Computers in dentistry // J. Canadian Dent. Ass. - 1988. -Vol. 54. - P. 661-665.

Рецензенты:

Гажва С.И., д.м.н., профессор, зав. кафедрой ФПКВ ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия Минздрава России», г. Нижний Новгород;

Косюга С.Ю., д.м.н., профессор, зав. кафедрой стоматологии детского возраста ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия Минздрава России», г. Нижний Новгород.