

Изучение напряженно-деформированного состояния временных мостовидных протезов с опорой на изоэластичные имплантаты

Профессор **Л.В. Дубова**, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой

Доцент **М.В. Малик**, кандидат медицинских наук

Аспирант **Ю.С. Серикова**

Кафедра ортопедической стоматологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова

Минздрава РФ

Резюме. Для выбора оптимального материала для временных конструкций при ортопедическом лечении на изоэластичных имплантатах с точки зрения их механической прочности и конструкционных особенностей проведено численное моделирование при максимальном соответствии реальным значениям физических и геометрических параметров. Сконструированы 4 модели с опорными элементами в виде базальных, крестальных имплантатов из полиэфирэфиркетона и естественных зубов в различных комбинациях и временными мостовидными протезами, состоящими из трех единиц, выполненных из трех различных материалов. Методом конечных элементов выявлены области максимального напряжения в конструкциях и вычислены максимально допустимые нагрузки.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон; временные коронки; дентальная имплантация.

Study of the stress-strain state of temporary bridges supported by isoelastic implants

Professor **Lubov Dubova**, Doctor of Medical Sciences, Head of Department

Associate Professor **Maria Malik**, Candidate of Medical Sciences

Graduate student **Yulia Serikova**

Department of Prosthetic Dentistry of MSUMD named after A.I. Evdokimov

Summary. We organized numerical modeling in compliance with real physical and geometric parameter for the reason choice of the material for temporary dentures supported by isoelastic implants depending on their mechanical toughness and structural features. Four models were constructed of supporting element (basal PEEK implant, crestal PEEK implant and natural tooth in different combination) and temporary bridge consisting of three units, from three different material. Areas of the maximum voltage in constructions have been revealed and possible loads have been calculated by final element method.

Keywords: PEEK implants; provisional restoration; dental implants.

Важнейшая задача при ортопедическом лечении на имплантатах – выбор материала и конфигурации ортопедической конструкции, обеспечивающих прочность и долговечность в условиях ее эксплуатации [1–3, 8]. Современные возможности метода конечных элементов позволяют рассчитывать ортопедические конструкции на имплантатах с учетом упругих и прочностных свойств конструктивных элементов и контактного взаимодействия между ними [6, 7, 10].

Цель исследования

Выбор оптимального материала для временных конструкций с точки зрения их механической прочности и конструктивных особенностей при ортопедическом лечении на изоэластичных имплантатах.

Материалы и методы

Проведено численное моделирование при максимальном соответствии реальным значениям геометрических и физических параметров, а также нагрузок и ограничений. Было разработано четыре вида моделей опорных конструкций, на которые изготовили временные мостовидные протезы из трех единиц (первый премоляр, второй премоляр, первый моляр) с двумя точками опоры при различных опорных элементах (табл. 1).

Выбор сочетания опорных элементов не случаен, он основан на рекомендациях производителя изоэластичных имплантатов, согласно которым ПEEK-имплантаты рекомендовано объединять конструкциями с зубами [9]. Для исследования выбрано три материала, из которых изготовили временные мостовидные протезы длительного пользования: материал на основе полиэфирэфиркетона

▼ Таблица 1 Разновидность опорных элементов и материалы коронок

Модель	Разновидность опор	Вариант материалов коронки		
1	Два крестальных имплантата	Dentokeep PEEK («Артикон»)	Temp Basic (Zirkonzahn)	«Нолатек» («ВладМиВа»)
2	Крестальный + базальный имплантаты			
3	Крестальный имплантат + естественный зуб			
4	Базальный имплантат + естественный зуб			

▼ Таблица 2 Физические свойства материалов конструкции

Элемент конструкции	Материал	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Предел прочности на сжатие, МПа
Вариант материала коронки	Dentokeep PEEK («Артикон»)	3800	0,31	85,00
	Temp Basic (Zirkonzahn)	2750	0,31	98,35
	«Нолатек» («ВладМиВа»)	2160	0,31	278,30
Имплантат	PEEK Optima	4000	0,31	118,00
Дентин		14 700	0,31	163,70
Губчатая кость		7500	0,45	80,00
Периодонт		200	0,35	200,00

Dentokeep PEEK («Артикон»), материал на основе полиметилметакрилата Temp Basic (Zirkonzahn), безомонерный отечественный фотополимеризационный композитный материал «Нолатек» («ВладМиВа», табл. 2). Изучено влияние материала временного мостовидного протеза на прочностные характеристики конструкции в целом [5].

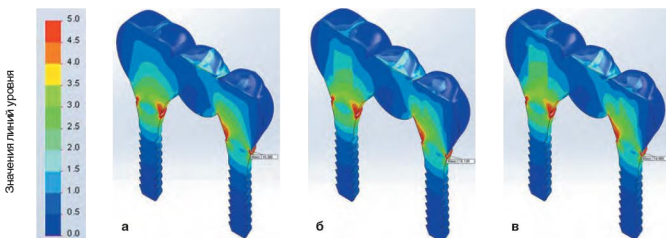
Был применен программный пакет конечно-элементного анализа ASTRА. Задача исследования – определение максимального жевательного давления, при котором сохраняется работоспособность конструкции.

Результаты и их обсуждение

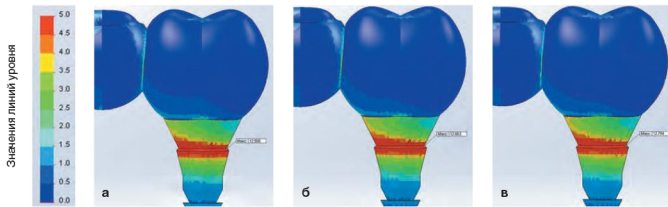
Модель 1: крестальный имплантат – крестальный имплантат

В модели 1 для всех вариантов материалов временных коронок максимум напряжений возникал в шейке имплантата в области первого премоляра: материал 1 – 15,386 МПа, материал 2 – 15,139 МПа, материал 3 – 14,980 МПа (рис. 1).

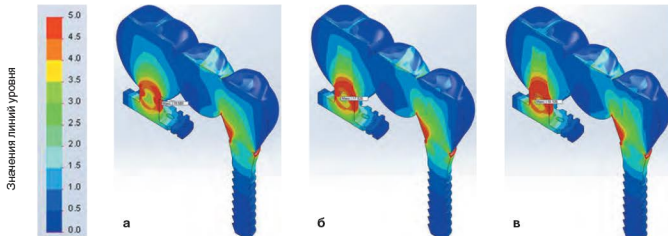
При усреднении узловых значений по объему тетраэдрического элемента положение максимума напряжения сместилось в имплантат в области первого моляра



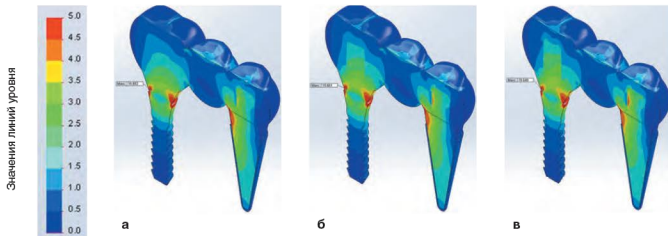
▲ Рис. 1 Модель 1: а) материал 1; б) материал 2; в) материал 3. Линии уровня напряжений на общем виде конструкции, красным цветом выделены области максимальной концентрации напряжения



▲ Рис. 2 Модель 1: а) материал 1; б) материал 2; в) материал 3. Линии уровня напряжений во фрагменте конструкции в окрестности максимума, красным цветом выделены области максимальной концентрации напряжения



▲ Рис. 3 Модель 3: а) материал 1; б) материал 2; в) материал 3. Линии уровня напряжений на общем виде конструкции, красным цветом выделены области максимальной концентрации напряжения



▲ Рис. 4 Модель 3: а) материал 1; б) материал 2; в) материал 3. Линии уровня напряжений на общем виде конструкции, красным цветом выделены области максимальной концентрации напряжения

(рис. 2). Значение максимума по элементам: материал 1 – 12,508 МПа, материал 2 – 12,663 МПа, материал 3 – 12,754 МПа.

Именно эти значения используются для определения предельно допустимых нагрузок.

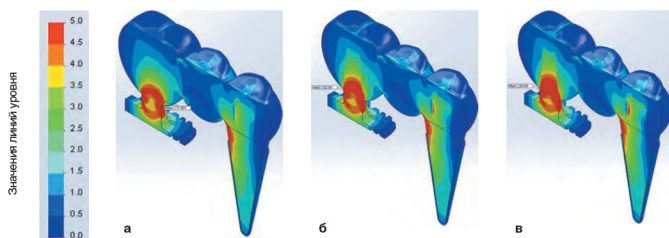
Модель 2: кристалльный имплантат – базальный имплантат

При нагружении модели 2 отмечено, что в конструкции с материалом 1 максимум напряжений возникает в зоне контакта базального имплантата и десневой кромки

коронки первого моляра, в случаях материала 2 и материала 3 – в центре цилиндрической части базального имплантата (материал 1 – 19,599 МПа, материал 2 – 17,826 МПа, материал 3 – 18,108 МПа, рис. 3).

После усреднения узловых значений положение максимума во всех вариантах материалов не изменилось. Значение максимума по элементам: материал 1 – 16,270 МПа, материал 2 – 16,446 МПа, материал 3 – 16,605 МПа.

Модель 3: кристалльный имплантат – естественный зуб



▲ Рис. 5 Модель 4: а) материал 1; б) материал 2; в) материал 3. Линии уровня напряжений на общем виде конструкции, красным цветом выделены области максимальной концентрации напряжения

▼ Таблица 3 Сводка местоположений и значений максимумов напряжений в конструкции

Модель	Вариант	Положение максимума	Материал	Максимум по узлам, МПа	Максимум по элементам, МПа
1	1	Имплантат	PEEK Optima	15,386	12,508
	2	Имплантат	PEEK Optima	15,139	12,663
	3	Имплантат	PEEK Optima	14,980	12,794
2	1	Имплантат	PEEK Optima	19,589	16,270
	2	Имплантат	PEEK Optima	17,826	16,446
	3	Имплантат	PEEK Optima	18,108	16,605
3	1	Имплантат	PEEK Optima	15,692	12,354
	2	Имплантат	PEEK Optima	15,661	12,309
	3	Имплантат	PEEK Optima	15,649	12,287
4	1	Имплантат	PEEK Optima	21,003	18,450
	2	Имплантат	PEEK Optima	20,241	18,638
	3	Имплантат	PEEK Optima	20,426	18,817

При исследовании модели 3 наблюдали, что во всех вариантах материалов временных коронок максимум напряжений возникает в шейке имплантата в области моляра: материал 1 – 15,692 МПа, материал 2 – 15,661 МПа, материал 3 – 15,649 МПа (рис. 4).

После усреднения узловых значений положение максимального напряжения в конструкции не изменилось. Значение максимума по элементам: материал 1 – 12,354 МПа, материал 2 – 12,309 МПа, материал 3 – 12,287 МПа.

Модель 4: базальный имплантат – естественный зуб

В модели 4 с материалом 1 максимум напряжений возник в зоне контакта базального имплантата и десневой кромки коронки моляра, в случаях материала 1 и материала 2 – в центре цилиндрической части базального имплантата: материал 1 – 21,003 МПа, материал 2 – 20,241 МПа, материал 3 – 20,426 МПа (рис. 5).

После усреднения узловых значений положение максимума напряжения совпало во всех вариантах матери-

Важнейшая задача при ортопедическом лечении на имплантатах – выбор материала и конфигурации конструкции, обеспечивающих прочность и долговечность в условиях эксплуатации.

▼ Таблица 4 Максимальные напряжения и предельные нагрузки

Модель	Вариант	Максимальное напряжение, МПа	Максимально допустимое давление, МПа	Максимально допустимая нагрузка на моляр, Н	Максимально допустимая нагрузка на премоляр, Н
1	1	12,508	9,434	550,568	391,322
	2	12,663	9,318	543,798	386,511
	3	12,794	9,223	538,254	382,570
2	1	16,270	7,253	423,262	300,838
	2	16,446	7,175	418,733	297,619
	3	16,605	7,106	414,723	294,769
3	1	12,354	9,552	557,429	396,199
	2	12,309	9,586	559,467	397,647
	3	12,287	9,604	560,469	398,359
4	1	18,450	6,396	373,251	265,292
	2	18,638	6,331	369,486	262,616
	3	18,817	6,271	365,971	260,118

алов временного мостовидного протеза. Значение максимума по элементам после усреднения узловых значений: материал 1 – 18,450 МПа, материал 2 – 18,638 МПа, материал 3 – 18,817 МПа (табл. 3).

С учетом величины нагруженной площади вычислили максимально допустимые нагрузки на коронку с поддежающей опорой. Полученные для всех моделей предельные нагрузки лежат в пределах диапазона максимальных эксплуатационных нагрузок (табл. 4).

Выводы

Обозначенные в техническом задании эксплуатационные предельные нагрузки на премоляр составляли 200 Н, на моляр – 250 Н [4]. Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что во всех моделях распределение напряжений в большой степени зависит от материала временного мостовидного протеза. Средний уровень напряжений в области коронок намного меньше напряжения, возникающего в области имплантатов во всех исследуемых сочетаниях конструкций и материалов.

Наиболее прочными оказались модели 1 и 3 (кристалльный имплантат в области моляра). Наименее прочной – модель 4 (базальный имплантат в области моляра и натуральный корень в области первого премоляра).

Координаты для связи с авторами:

dubova.l@gmail.com, +7 (916) 675-12-48 – Дубова Любовь Валерьевна; marimalik@mail.ru, +7 (916) 655-86-77 – Малик Мария Васильевна; yuladent@gmail.com, +7 (916) 251-58-86 – Серикова Юлия Сергеевна

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнов С.Д., Ерохин В.А., Перевезенцева А.А. с соавт. Критерии прочности и долговременности временных несъемных зубных протезов. – Институт стоматологии, 2010, № 4. – С. 84–85.

2. Арутюнов С.Д., Панин А.М., Антоник М.М. с соавт. Особенности формирования окклюзии искусственных зубных рядов, опирающихся на дентальные имплантаты. – Стоматология, 2012, № 1 (91). – С. 54–58.
3. Галочкина Л.Л., Гончаров Н.А., Чувев В.П. с соавт. Физико-механические свойства материалов для изготовления временных конструкций. Сравнительная характеристика. – Институт стоматологии, 2014, № 4. – С. 100–101.
4. Журули Г.Н. Биомеханические факторы эффективности внутрикостных стоматологических имплантатов (экспериментальное-клиническое исследование). – Автореф. докт. дисс., М., 2010, Инст. повышения квалификации федерального медицинского агентства. – 43 с.
5. Каламкар А.Э. Биологические и механические аспекты взаимодействия в системе «зубной протез – дентальный имплантат – костная ткань челюсти» при ортопедическом лечении пациентов с полным отсутствием зубов. – Dental Forum, 2014, № 3. – С. 9–12.
6. Митронин А.В., Вавилова Т.П., Жилкина О.В. с соавт. Применение гелиосодержащих препаратов «Гиалудент» в лечении воспалительных заболеваний пародонта. – Cathedra – Кафедра. Стоматологическое образование, 2011, № 35. – С. 31–34.
7. Саввиди К.Г., Каламкар А.Э. Анализ напряженно-деформированного состояния в системе «зубной протез – дентальный имплантат – костная ткань челюсти» при ортопедическом лечении пациентов с полным отсутствием зубов. – Институт стоматологии, 2014, № 4. – С. 94–95.
8. Смирнов В.Г., Янушев О.О., Митронин А.В. с соавт. Клиническая анатомия крылоидно-челюстного и межкрылоидного пространств (по данным компьютерной и магнитно-резонансной томографии). – Cathedra – Кафедра. Стоматологическое образование, 2015, № 55. – С. 37–39.
9. Техника имплантации PEEK-PERSON. Протоколы ведения пациентов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.sisom.com/procedures/#p=1>
10. Чумаченко Е.Н., Арутюнов С.Д., Лебенко И.Ю. Математическое моделирование напряженно-деформационного состояния зубных протезов. // Учеб. пособие. – М.: ММСУ, 2003. – 271 с.