**Анализ кламмеров из полиэфирэфиркетона (PEEK) для частичных съемных протезов методом конечных элементов**

**Введение**

Развитие компьютерных технологий привело к популярности и востребованности цифрового создания и производства реставраций в стоматологии. В то же время развитие цифрового производства означает, что материалы, которые раньше было трудно обрабатывать, теперь легко доступны для использования. Эти факторы послужили источником огромных изменений в области стоматологии за последние несколько десятилетий [1,2\*]. Металлические сплавы остаются востребованным используемым материалом для изготовления каркасов частичных съемных протезов. Однако эти материалы не выглядят эстетично из-за своего металлического цвета, могут вызывать аллергические реакции, к тому же их обработка сложна и требует много времени. Все это привело к увеличению числа пациентов, которым требуются реставрации без использования металла [3,4\*]. Для получения полностью безметалловых реставраций вместо металлических компонентов используются армированные волокном композиты или удерживающие элементы из термопластической пластмассы. Однако долговечность этих альтернативных материалов вызывает споры [5–7\*]. Кроме того, недавно были разработаны и применены в рамках стоматологических реставраций различные типы высокопрочных керамических материалов на основе циркония. Были предприняты попытки применения циркониевой керамики для кламмеров частичных съемных протезов, но их клинический срок службы еще предстоит оценить [7,8\*]. Развитие материаловедения привело к внедрению полиэфирэфиркетона (PEEK), высокоэффективного термопластичного полимера, в реставрационную стоматологию в качестве альтернативы для замены металлических компонентов в зубных протезах. Механические свойства PEEK не меняются в процессе стерилизации, а его модуль упругости аналогичен модулю упругости костей, эмали и дентина человека, что дает возможность предположить, что он является подходящим реставрационным материалом. PEEK обладает стабильными химическими свойствами, является биосовместимым, износостойким, стабильным при высоких температурах, нерастворимым в воде материалом. Он также имеет низкую реакционную способность по сравнению с другими материалами, не вызывает аллергии и меньше удерживает на себе зубной налет, чем металлы и смолы. Кроме того, PEEK можно обрабатывать с помощью цифровых технологий (CAD/CAM), что делает его легко воспроизводимым в случае поломки и легко поддающимся перебазировке в случае резорбции кости [9–16\*].

Сочетание этих уникальных механических и физических свойства делают PEEK высокоперспективным материалом для замены металлических каркасов. На сегодняшний день было проведено несколько клинических исследований, в которых обсуждается применение PEEK в качестве каркасного материала для частичных съемных протезов [17,18\*]. Тем не менее, учитывая его гибкость, получение необходимой удерживающей силы и сопротивления усталости будут ключевыми проблемами при разработке кламмеров для частичных съемных протезов из PEEK [19,20\*].

**Цель**

Таким образом, целью данного исследования является оптимизация конструкции кламмеров из PEEK для обеспечения механических свойств, необходимых для частичных съемных протезов.

**Материалы и методы**

Были созданы семьдесят две трехмерные модели в форме стержня, основанные на четырех отношениях толщины/ширины, трех базовых значениях ширины и шести отношениях конусности. Эти модели были проанализированы с использованием методов конечных элементов, чтобы определить, какая модифицированная форма плеча кламмера обеспечивает наиболее подходящие механические свойства. Затем были изготовлены три образца PEEK оптимизированной формы и один образец сплава Co–Cr (кобальт-хром) стандартной формы. Испытания на усталость при постоянном смещении проводились для расчета значений нагрузок и деформаций после десяти лет клинического использования.

**Результаты**

Оптимизация формы указала на максимальную концентрацию напряжений, которая находилась в основании образца, корреляцию между средними значениями нагрузки и толщиной, которая была больше, чем корреляция между средними значениями нагрузки и шириной, и корреляцию между коэффициентом конусности и средними значениями нагрузки. Испытания на усталость показали, что, хотя PEEK показал значительно более низкие средние значения нагрузки, чем сплав Co–Cr, их было достаточно для клинического использования. Все образцы показали значительную деформацию в течение первого периода цикла; однако после испытаний на усталость не было существенной разницы в деформации между двумя исследуемыми материалами.

**Выводы**

Кламмеры на основе PEEK оказывают меньшее напряжение на опорные зубы по сравнению с кламмерами из стандартного сплава, обеспечивают адекватную фиксацию и удовлетворяют эстетическим требованиям, что указывает на то, что PEEK представляет собой многообещающую альтернативу обычным металлическим кламмерам.

\*Указатели ссылок в квадратных скобках соответствуют списку литературы в первоисточнике.