

А.В. Иващенко, В.А. Монаков,  
Д.В. Монаков,  
кафедра челюстно-лицевой хирургии  
и стоматологии

Л.Т. Волова,  
НИИ экспериментальной медицины  
и биотехнологий

Самарский государственный медицинский  
университет

## Биомеханическое обоснование применения внутрикостного штифта при реплантации зубов

**Резюме.** В статье представлены данные расчетов напряженно-деформированных состояний реплантированного зуба и фиксирующего его внутрикостного штифта. В результате исследования выявлен оптимальный размер внутрикостного штифта и его расположение относительно реплантированного зуба. Исследования показали способность внутрикостного штифта удерживать реплантированный зуб и длительно функционировать при максимальных жевательных нагрузках.

**Ключевые слова:** реплантация, внутрикостный штифт

**Summary.** The article provides with data of calculation of replanted tooth and fixing osseointegrated post strain-stress state. The research states the optimal size of an osseointegrated post and its location towards replanted tooth, also the ability of an osseointegrated post to fix a replanted tooth and function durably at a constant maximum mastication load.

**Key words:** replantation, intramedullary pin

Восстановление жевательной эффективности с применением реплантации зубов предпринималось неоднократно [1–3].

Для фиксации реплантированных зубов использовались различные способы крепления: назубные и внутрикостные [6, 7]. Однако использование назубных конструкций снижает гигиенический индекс полости рта и не обеспечивает достаточную первичную стабильность реплантированных зубов [5]. Предложенные методы внутрикостной фиксации осуществляются с применением металлических элементов, требующих их последующего удаления. Перспективным направлением в хирургической стоматологии является использование биodeградируемых материалов для фиксации реплантируемых зубов [4]. В представленном исследовании было проведено биомеханическое обоснование применения биodeградируемого штифта при реплантации зубов.

При проведении механических исследований математических моделей мы отдавали предпочтение технологическим возможностям программного продукта ANSYS 5.6, который позволяет не только обоснованно планировать операцию реплантации с точки зрения биомеханики, но и прогнозировать как ее ближайшие, так и отдаленные результаты.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения диаметра и расположения фиксирующего внутрикостного штифта было проведено математическое моделирование распределения механической

нагрузки на зуб и окружающую его альвеолярную часть челюсти, на основании полученных результатов были выбраны диаметр, длина и место расположения штифта. Построение математической модели проводили на основании антропометрических размеров четырех групп зубов. На амбулаторном хирургическом приеме были выбраны 4 зуба (резец, клык, премоляр, моляр), приближенные к средним размерам, описанным в литературе. Выбранные зубы были помещены в оптический сканер Roland Ipx 60. По данным сканирования получены 3D-модели четырех групп зубов (резец, клык, премоляр, моляр). В формате JPEG сканы зубов были конвертированы в программный продукт Solidworks и построены четыре твердотельные модели для расчета НДС. Для идеализации расчетной системы применяли более 156 тысяч объемных элементов тетраэдральной формы для четырех групп зубов. Полученные твердотельные математические модели были подвергнуты математическому анализу в программном продукте ANSYS 5.6 (рис. 1).

Исследовали влияние диаметра и расположения штифта на системы «штифт – зуб – альвеолярный гребень». Нагружение осуществляли вертикальной и горизонтальной составляющей сил. На созданную модель «зуб – зуб-антагонист – внутрикостный штифт – окружающие зубные ткани» приложили нагрузку, равную 450 Н. В процессе исследования было выявлено, что минимально необходимый диаметр штифта составил 2 мм и длина – 30 мм. После создания модели была исследована устойчивость штифта к механическим нагрузкам, возникающим в процессе функционирования.

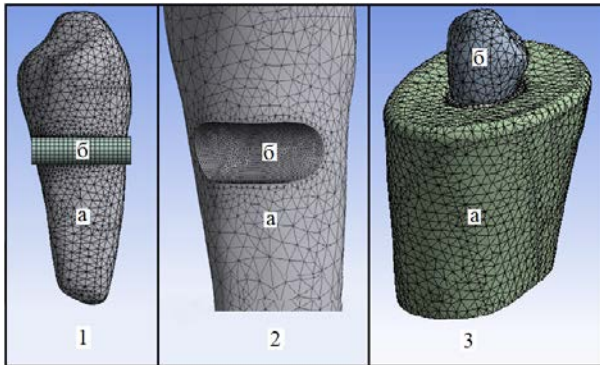


Рис. 1. Конечно-элементная модель зуба и внутрикостного штифта. 1 — боковая проекция: а — модель зуба; б — модель внутрикостного штифта. 2 — модель полулунного канала: а — модель зуба; б — полулунный канал на 1/2 длины зуба. 3 — модель реплантированного зуба и окружающих его тканей: а — участок альвеолярного гребня; б — модель реплантированного зуба

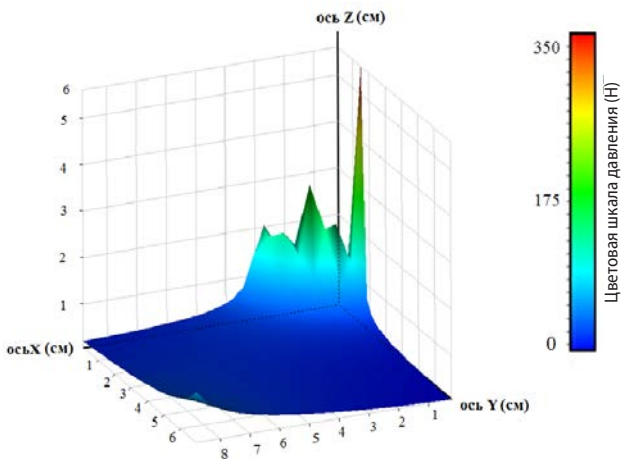


Рис. 2. Графическое изображение влияния уровня расположения штифта относительно корня зуба на главные напряжения во внутрикостном штифте: ось Z — высота зуба (ось зуба); ось X — длина зуба; ось Y — ширина зуба

Провели оптимизацию расположения штифта относительно корня зуба (рис. 2).

Из представленного рис. 2 можно видеть, что оптимальное расположение внутрикостного штифта

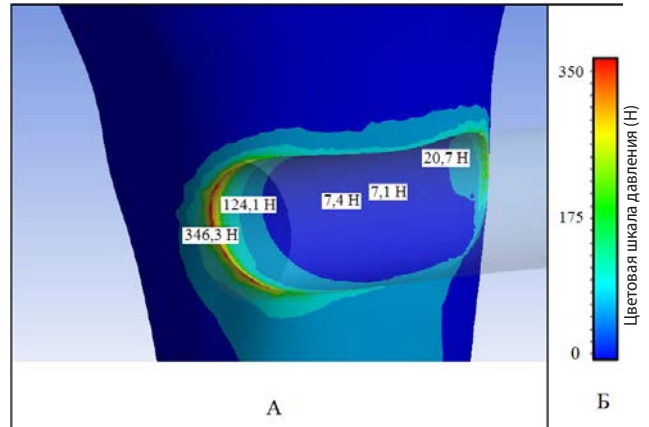


Рис. 3. Графическое изображение давления, возникающего в области контакта внутрикостного штифта с корнем зуба: А — цветовая диаграмма деформаций корня зуба; Б — цветовая шкала жевательного давления

должно быть на уровне 1/2 корня зуба, это обусловлено оптимальным соотношением действующей нагрузки на штифт и удерживающим свойством штифта. Зафиксировали виртуальный зуб виртуальным внутрикостным штифтом. Исследовали нагрузки, оказываемые на полулунный канал, расположенный на 1/2 длины корня зуба (рис. 3).

Анализ динамических нагрузок показал, что в средней части полулунного канала давление колеблется от 20,7 до 124,1 Н. Границы полулунного канала испытывают нагрузки, не превышающие 346,3 Н. При таких нагрузках, оказываемых внутрикостным штифтом, зуб способен функционировать без перелома корневой части. К внутрикостному штифту прикладывали нагрузки в 10, 175 и 430 Н (рис. 4).

Расчетные данные показали, что внутрикостный штифт, фиксирующий реплантированный зуб способен выдерживать нагрузку до 430,2 Н. Исследование материала, формы и условий функционирования штифта на предмет усталости в процессе эксплуатации показало, что штифт сохраняет свои прочностные характеристики 90±3 суток. По истечении 90±3 суток фиксирующий штифт подвергается механическому разрушению.

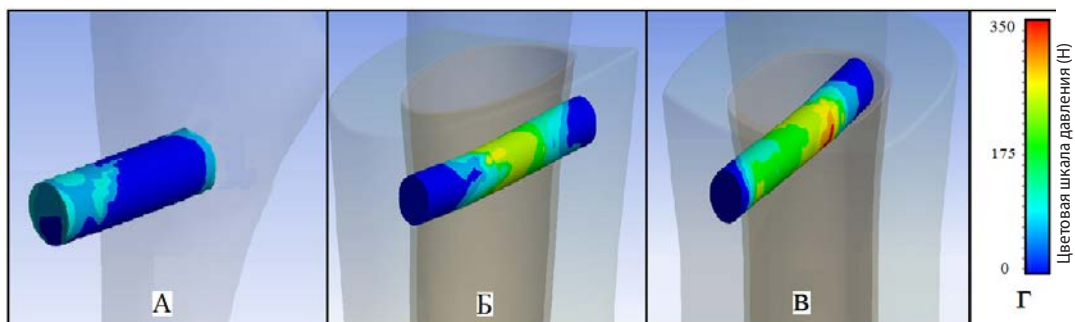


Рис. 4. Графическое изображение процесса нагружения внутрикостного штифта: А — начальная нагрузка 10 Н; Б — нагрузка 175 Н; В — нагрузка свыше 430,2 Н (момент перелома штифта); Г — цветовая шкала динамических нагрузок

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя экспериментальные математические модели, можно заключить, что для внутрикостной фиксации реплантированных зубов можно использовать штифты диаметром 2 мм и длиной 30 мм. Использование штифта с такими механическими характеристиками позволяет надежно фиксировать зубы и не приводит к перелому корневой части реплантированных зубов.

Выводы:

1. В процессе исследования выявлено, что внутрикостный штифт с диаметром 2 мм и длиной 30 мм способен выдерживать нагрузку до 430,2 Н. Давление штифта на полулунный канал варьирует от 20,7 до 346,3 Н, при таких нагрузках не происходит перелома корневой части реплантированного зуба.
2. Оптимальное расположение внутрикостного штифта должно быть на уровне  $\frac{1}{2}$  корня зуба, это обусловлено оптимальным соотношением действующей нагрузки на штифт и его удерживающим свойством.

## ЛИТЕРАТУРА :

1. **Антоневич В.М.** О реплантации и трансплантации зубов: дис. ... д.м.н. — М., 1885. — 95 с.
2. **Богатов А.И.** Модифицированный способ реплантации зубов. — Сб. статей I международного конгресса по проблемам зубной трансплантологии. — Уфа, 1994. — С. 40—42.
3. **Богатов А.И.** Реплантация зубов. — Сб. статей V съезда стоматологической ассоциации России. — М., 1999. — С. 226—227.
4. **Akiyama Y., Fukuda H., Hashimoto K.** A clinical and radiographic study of 25 autotransplanted third molars. — *J Oral Rehabil.* — 1998; 25 (8): 640—4.
5. **Akkocaoglu M. Kasaboglu O.** Success rate of autotransplanted teeth without stabilization by splints: a long-term clinical and radiological follow-up. — *Br J Oral Maxillofac Surg.* — 2005; 43 (1): 31—5.
6. **Andersen J.O.** Atlas of replantation and transplantation of teeth. — 1992. — P. 207.
7. **Andreasen J.O.** Replantation of 400 avulsed permanent incisors. Factors related to periodontal ligament healing. — *Endodontics & Dental Traumatology.* — 1995; 26 (11): 76—89.