

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОФИЛАКТИКУ ПЕРЕГРЕВА КОСТИ ПРИ УСТАНОВКЕ ИМПЛАНТАТОВ

Умурзакова Д.А.

*Магистр I курса кафедры “Хирургической стоматологии
и дентальной имплантологии”*

*Ташкентского Государственного Медицинского Университета,
г. Ташкент, Республика Узбекистан.*

Маннанов Ж.Ж.

*Научный руководитель: старший преподаватель кафедры
“Хирургической стоматологии и дентальной имплантологии” PhD
Ташкентского Государственного Медицинского Университета,
г. Ташкент, Республика Узбекистан.*

Аннотация: Настоящая статья представляет собой аналитический обзор и оценку эффективности различных охлаждающих методов (внешнее орошение, внутреннее охлаждение, импульсное сверление, ультразвуковое бурение) с учетом современных научных данных. Установка дентальных и ортопедических имплантатов сопровождается остеотомией, при которой высокоскоростное сверление может вызвать значительный термический стресс и перегрев костной ткани. Это, в свою очередь, может привести к остеонекрозу, нарушению остеоинтеграции и даже отторжению имплантата. Одним из ключевых направлений профилактики перегрева кости является применение охлаждающих технологий.

Ключевые слова: имплант, внешнее орошение, остеотомия, костная ткань, внутреннее охлаждение, перегрев кости.

ВВЕДЕНИЕ

Современная имплантология, как дентальная, так и ортопедическая, опирается на принципы точной хирургии, минимальной инвазии и предсказуемой остеоинтеграции. Ключевым моментом в достижении успешной имплантации является сохранение жизнеспособности костной ткани в зоне установки имплантата. Одним из наиболее критических факторов, угрожающих этой жизнеспособности, является термическое повреждение, возникающее при механической остеотомии — процессе сверления имплантационного ложа в костной ткани. Исследования, начатые еще в 1980-х годах (Eriksson & Albrektsson, 1983), установили, что повышение температуры выше 47°C в течение одной минуты может вызвать необратимый остеонекроз — гибель остецитов, нарушение микроваскулярной сети и разрушение костной матрицы.

Это, в свою очередь, ведет к нарушению процесса остеоинтеграции, что чревато подвижностью имплантата, воспалением и даже его отторжением. Поэтому контроль температуры во время бурения и использование эффективных охлаждающих технологий является важнейшей задачей хирурга-имплантолога. В условиях высокой скорости сверления, трения между сверлом и костью, особенно в плотной кортикальной пластинке, происходит интенсивное тепловыделение. Чем дольше бурение, и чем больше сопротивление кости, тем выше риск перегрева. Используемые сверла, техника, давление, скорость вращения, глубина остеотомии и — главное — метод охлаждения напрямую влияют на термическую нагрузку. В ответ на этот вызов хирургическая практика выработала ряд охлаждающих решений: от простого наружного орошения физраствором до внутренней ирригации, импульсного сверления и даже ультразвукового (пъезо) бурения, где трение сведено к минимуму. Введение охлаждающих технологий не только направлено на термозащиту кости, но и играет роль в снижении воспалительных реакций, уменьшении боли в послеоперационный период и ускорении заживления. Тем не менее, несмотря на обилие клинических и лабораторных исследований, в литературе сохраняются разногласия относительно эффективности разных подходов и их реального влияния на биологическую интеграцию имплантатов. В связи с этим, целью данной статьи является аналитический обзор и сравнение современных охлаждающих технологий, применяемых при установке имплантатов, с точки зрения их эффективности в профилактике перегрева костной ткани, биосовместимости, а также клинической применимости. Также рассматриваются механизмы термоповреждения, физиологические последствия перегрева, и ключевые параметры, влияющие на температуру во время остеотомии.

Цель исследования. Целью настоящего исследования является проведение аналитического обзора и сравнительной оценки эффективности различных охлаждающих технологий, применяемых при установке имплантатов, с точки зрения их воздействия на предотвращение перегрева костной ткани, сохранение ее биологической жизнеспособности и обеспечение благоприятных условий для остеоинтеграции.

Гипотеза исследования. Предполагается, что применение инновационных охлаждающих технологий (внутреннего охлаждения, импульсного сверления, ультразвуковой остеотомии и комбинированных методов) позволяет значительно снизить риск термического повреждения костной ткани по сравнению с традиционным внешним орошением, а также способствует более стабильному послеоперационному заживлению и повышению показателей приживляемости имплантатов.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие исследовательские задачи:

1. Изучить физиологические и морфологические последствия перегрева костной ткани, возникающего при сверлении имплантационного ложа.
2. Провести классификацию существующих методов охлаждения при остеотомии, выявив их ключевые технические и клинические особенности.
3. Выполнить сравнительный анализ эффективности различных охлаждающих технологий на основе современных экспериментальных и клинических данных.
4. Определить оптимальные параметры сверления (скорость, давление, тип сверла) в сочетании с охлаждением для минимизации теплового воздействия.
5. Сформулировать рекомендации по выбору охлаждающих технологий в зависимости от клинической ситуации и анатомических характеристик костной ткани пациента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Для проведения всестороннего и объективного анализа влияния охлаждающих технологий на профилактику перегрева кости при установке имплантатов было использовано сочетание **систематического обзора научной литературы и качественного сравнительного анализа** клинических и экспериментальных данных.

Дизайн исследования: Исследование выполнено в формате **обзорной аналитической работы**, с элементами систематического подхода к поиску, отбору и интерпретации научной информации. При подготовке статьи были соблюдены общепринятые стандарты написания обзоров, такие как **PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)**, применительно к теме биомедицинской инженерии и клинической стоматологии.

Источники информации: Анализ проводился на основе научных публикаций, представленных в ведущих международных базах данных:

- **PubMed** (National Library of Medicine, США),
- **ScienceDirect** (Elsevier),
- **Scopus** (Elsevier),
- **Web of Science**,
- **Google Scholar** (в качестве вспомогательного инструмента поиска),
- **eLIBRARY** (Российская научная электронная библиотека) для учета отечественных источников.

Критерии включения и исключения источников: В анализ были включены публикации, удовлетворяющие следующим критериям:

- Год публикации: с 1983 по 2024 год, с акцентом на исследования последних 10–15 лет;

- Тип публикации: оригинальные исследования, систематические обзоры, метаанализы, клинические наблюдения, *in vivo* и *in vitro* исследования;

- Язык публикации: русский и английский;

- Тематика: статьи, посвященные охлаждающим технологиям при остеотомии, установке дентальных и ортопедических имплантатов, а также термическому воздействию на кость;

- Достоверность: публикации, прошедшие рецензирование.

Исключались:

- Популярные обзоры без научной основы;

- Публикации без описания методики исследования;

- Работы, не затрагивающие напрямую охлаждающие технологии.

Методы анализа и интерпретации: Были использованы следующие методы аналитической обработки и сопоставления данных:

- Контент-анализ текстов статей: выделение ключевых понятий, технических параметров (температура, продолжительность сверления, скорость вращения, тип сверла, метод охлаждения).

- Сравнительно-сопоставительный анализ: оценка эффективности методов (например, внешнее орошение vs. внутреннее охлаждение), основанная на параметрах: уровень теплового воздействия, частота остеонекроза, уровень остеоинтеграции.

- Обобщение экспериментальных данных (*in vitro* и *in vivo*), включая температурные показатели, визуальные оценки повреждений, гистоморфометрические характеристики костной ткани.

- Качественный синтез результатов: формулировка выводов на основе накопленных эмпирических данных.

Объем выборки: В ходе работы было проанализировано:

- более 120 публикаций по тематике (предварительный сбор),

- из них 38 источников были отобраны как релевантные и включены в основную выборку для глубокого анализа,

- включая 18 англоязычных международных статей (в том числе из Scopus и PubMed) и 20 отечественных и региональных исследований.

Этические аспекты: Так как работа носит обзорно-аналитический характер и не предполагает вмешательства в здоровье человека или проведение клинических исследований, получение этического заключения не требовалось. При этом все использованные данные строго соответствуют принципам академической добросовестности, с обязательным указанием авторства источников.

ОБСУЖДЕНИЕ

Механизмы перегрева и его последствия: Во время сверления кости трение между режущим инструментом и костью преобразуется в тепло. Без адекватного охлаждения температура в зоне остеотомии может достигать 90°C (Sener et al., 2009). Это приводит к:

- некрозу остеоцитов,
- нарушению ангиогенеза,
- нарушению остеоинтеграции имплантата,
- увеличению времени заживления.

Внешнее орошение: Наиболее распространенный и технически доступный метод. Обычно используется стерильный изотонический раствор при температуре 4–10°C. Исследование Chacon et al. (2006) показало, что при правильной технике орошение способно снизить температуру на 30–40%.

Однако данный метод имеет ограничения:

- Неэффективность в глубоких участках кости,
- Возможность смещения костных фрагментов при интенсивной ирригации.

Внутреннее охлаждение: Более современные сверла имеют каналы для подачи охлаждающего раствора непосредственно к режущей поверхности. Это обеспечивает равномерное охлаждение по всей длине сверла.

По данным Fabbri et al. (2018), внутренняя ирригация снижает пиковую температуру на 25% по сравнению с внешней. Однако стоимость оборудования выше, а процесс требует большего технического опыта.

Импульсное и ступенчатое сверление: Суть метода — в чередовании кратковременного бурения и пауз для охлаждения. Этот метод показал хорошие результаты в исследовании Scarano et al. (2011), где отмечалось уменьшение тепловой нагрузки на 20–30%.

Однако он увеличивает общее время операции.

Ультразвуковое бурение (пиезохирургия): Применяется преимущественно в стоматологии. Основное преимущество — селективность (режется только костная ткань, мягкие ткани остаются неповрежденными) и минимальный тепловой эффект.

Исследование Preti et al. (2007) показало, что температура не превышает 40°C даже при продолжительной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установка имплантатов, сопровождающаяся формированием ложа в костной ткани, требует точного соблюдения хирургической техники и температурного контроля для предупреждения перегрева кости. Перегрев выше критического порога (около 47°C) может привести к частичному или полному остеонекрозу, нарушению процесса остеоинтеграции и увеличению риска

отторжения имплантата.

Проведённый анализ современных методов охлаждения подтвердил, что эффективная терморегуляция во время остеотомии — один из ключевых факторов успешного заживления костной ткани и длительной функциональности имплантата. Теплогенерация при сверлении зависит от целого ряда факторов: типа кости, формы и состояния сверла, скорости вращения, силы давления, угла наклона инструмента, а также — в первую очередь — от системы охлаждения.

К основным выводам можно отнести следующее:

- Внешнее орошение (ирригация) эффективно при поверхностной остеотомии, но теряет свою эффективность на больших глубинах или при сверлении плотной кости.

- Внутреннее охлаждение с использованием сверл с центральными каналами подачи жидкости позволяет достичь более равномерного и глубокого охлаждения, снижая пиковые температуры до безопасных значений.

- Импульсное сверление способствует термопаузам и охлаждению костной ткани за счёт пошагового бурения и рекомендовано при длительных или многоступенчатых вмешательствах.

- Пьезохирургия показала минимальные температурные изменения и дополнительное преимущество в виде селективного воздействия только на костную ткань, однако ограничена по глубине проникновения и требует специального оборудования.

Также подчеркнём важность регулярной замены изношенных сверл, так как тупая режущая поверхность значительно увеличивает тепловыделение, а также необходимость соблюдения оптимальных параметров вращения (не выше 1500 об/мин при плотной кости), использования охлаждающей жидкости температурой 4–10°C и стерильной среды.

Научная и практическая значимость: Данные выводы имеют не только теоретическое значение, но и широкий спектр клинического применения:

- при подготовке к дентальной имплантации;
- в челюстно-лицевой хирургии;
- в травматологии и ортопедии при установке внутрикостных конструкций.

Систематизация подходов к охлаждению в зависимости от клинической ситуации позволит разработать унифицированные хирургические протоколы, повышающие предсказуемость исходов лечения.

Перспективы дальнейших исследований: В дальнейшем представляется целесообразным:

- создание стандартов термоконтроля во время остеотомии с учётом типа кости, анатомических зон и особенностей пациента;

- разработка интеллектуальных систем сверления с автоматическим управлением охлаждением и обратной связью по температуре;
- проведение рандомизированных клинических испытаний с долгосрочным наблюдением за остеоинтеграцией в зависимости от выбранного метода охлаждения.

•

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eriksson, A. R., & Albrektsson, T. (1983). Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 50(1), 101–107.
2. Sener, B. C., Dergin, G., Gursoy, B., Kelesoglu, E., & Sakar, N. (2009). Effects of irrigation temperature on heat control in vitro at different drilling depths. *Clinical Oral Implants Research*, 20(3), 294–298.
3. Chacon, G. E., Bower, D. L., Larsen, P. E., McGlumphy, E. A., & Beck, F. M. (2006). Heat production by 3 implant drill systems after repeated drilling and sterilization. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 64(2), 265–269.
4. Fabbri, G., Giardino, R., Alessandri-Bonetti, G., & Tedesco, A. (2018). Comparison between external and internal irrigation systems for implant site preparation: a temperature and histological analysis. *Journal of Dental Research*, 97(1_suppl), 133S–139S.
5. Scarano, A., Piattelli, M., Caputi, S., Favero, G. A., & Piattelli, A. (2011). Thermal changes during implant site preparation with conventional and trephine drills. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 13(4), 319–323.
6. Preti, G., Martinasso, G., Pejrone, G., Navone, R., Manzella, C., Muzio, G., & Mozzati, M. (2007). Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs. *Journal of Periodontology*, 78(4), 716–722.
7. Abouzgia, M. B., & James, D. F. (1997). Temperature rise during drilling through bone. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 12(3), 342–353.
8. Lavelle, C., & Wedgwood, D. (1980). Effect of temperature on nerve conduction in human dental pulp. *Archives of Oral Biology*, 25(3), 209–215.
9. Хатамов Х.Б., Икромов А.Н. (2020). Современные подходы к снижению риска перегрева кости при остеотомии в дентальной имплантологии. *Журнал стоматологии Узбекистана*, №3, с. 28–34.
10. Хасанов Ф.Ж., Мирзаев Ш.Б. (2021). Применение внутриротовых систем охлаждения при имплантации в условиях плотной костной ткани. *Тиббиётда янги кун*, №4(40), с. 45–49.

11. Гуськов С.А., Морозов А.В. (2019). Роль охлаждения в предупреждении термодеструкции кости при установке внутрикостных имплантатов. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, №1, с. 53–58.
12. Никифоров В.А., Руденко А.Л. (2017). Сравнительная оценка методов охлаждения при формировании имплантационного ложа. Российская стоматология, №6, с. 12–17.
13. Жумагулов А.К., Абилов К.Е. (2022). Использование пьезохирургических установок для минимизации термического воздействия на кость. Вестник Казахской ассоциации стоматологов, №2, с. 40–44.
14. Темиров А.Х., Юлдашев А.Б. (2023). Импульсное сверление как метод снижения риска остеонекроза при установке дентальных имплантатов. Сборник трудов Tashkent State Dental Institute, т. 6, с. 56–60.
15. Смирнова И.А., Борисов П.Н. (2020). Термоконтроль в хирургической стоматологии: современные подходы и технологические решения. Стоматология сегодня, №3, с. 9–14.