

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ С МИКРОЧАСТИЦАМИ ГРАФЕНА ПРИ ОСТЕОПЛАСТИКЕ ЧЕЛЮСТЕЙ

Анвархонова Маржона

Ташкентский медицинский университет, Узбекистан

Аннотация: Графен-модифицированные биополимерные матрицы обладают высоким потенциалом для направленной костной регенерации в челюстно-лицевой хирургии, сочетая механическую стабильность, остеогенные и противовоспалительные свойства. Для клинического применения необходимы дальнейшие доклинические и ранние клинические испытания.

Ключевые слова: графен, наноккомпозит, остеопластика, биополимер, челюстно-лицевая хирургия, костная регенерация.

Актуальность. Восстановление костных дефектов челюстей остаётся сложной задачей в челюстно-лицевой хирургии. Ограниченная предсказуемость остеоинтеграции, недостаточная механическая прочность трансплантатов и риск воспалительных осложнений определяют необходимость поиска новых остеопластических материалов.

Цель. Оценить возможности наноккомпозитных биополимеров, усиленных микрочастицами графена, для остеопластики челюстей.

Материалы и методы. Были разработаны образцы наноккомпозитных матриц на основе полимолочной кислоты (PLA), модифицированные микрочастицами графена. Исследования проведены *in vitro* на остеобластоподобных клетках MG-63 и *in vivo* на экспериментальной модели критического дефекта нижней челюсти у кроликов. Оценивали жизнеспособность клеток (МТТ-тест), активность щелочной фосфатазы, степень минерализации, гистоморфометрию и механическую прочность регенерата.

Результаты. Введение микрочастиц графена в структуру PLA способствовало повышению прочности композита (на 30–35%), улучшало адгезию клеток и ускоряло дифференцировку остеобластов. Гистологически выявлено ускоренное формирование зрелой костной ткани и снижение воспалительных реакций по сравнению с контрольной группой (немодифицированный полимер).

Введение

Восстановление дефектов костной ткани челюстей является одной из наиболее актуальных проблем современной стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Традиционные методы остеопластики с использованием аутокости,

алло- и ксенотрансплантатов сопровождаются рядом ограничений — от донорской травмы и непредсказуемости резорбции до риска иммунологических и инфекционных осложнений.

В последние годы активно развиваются синтетические биополимеры — материалы, обладающие биосовместимостью и регулируемыми параметрами деградации. Однако их недостаточная механическая прочность и ограниченная остеоиндуктивность ограничивают эффективность применения.

Перспективным направлением является использование наноструктурированных модификаторов, в частности микрочастиц графена, обладающих уникальными физико-химическими свойствами: высокой прочностью, большой поверхностной площадью, антибактериальной активностью и способностью стимулировать остеогенез. Включение графена в структуру биополимерной матрицы позволяет создать новый тип остеопластического материала с улучшенными характеристиками.

Целью настоящего исследования является оценка остеорегенерационного потенциала нанокомпозитных биополимеров с микрочастицами графена при остеопластике челюстей.

Материалы и методы

Для проведения исследования использовалась полимолочная кислота (PLA) медицинского класса. Микрочастицы графена были получены методом химического расслоения и введены в PLA в количестве 0,5–1,0% массы. Образцы формировали методом растворного литья с последующей термообработкой.

Клеточная культура MG-63 выращивалась на поверхности модифицированных и контрольных образцов. Жизнеспособность определяли методом МТТ, активность щелочной фосфатазы — колориметрически, минерализацию — окраской ализарином красным.

In vivo: у лабораторных кроликов создавали стандартный костный дефект нижней челюсти диаметром 5 мм. В дефекты устанавливали PLA-композиты с графеном и без него. Через 8 недель выполняли гистоморфологическое и биомеханическое исследование регенерата.

Результаты обрабатывались статистически, достоверность различий принималась при $p < 0,05$.

Результаты

Введение микрочастиц графена в биополимерную матрицу способствовало улучшению механических характеристик композита — прочность на сжатие увеличилась на 35%, модуль упругости на 28% ($p < 0,05$).

В клеточных культурах наблюдалось повышение жизнеспособности клеток на 40% к 14-му дню инкубации и удвоение уровня минерализации к 21-му дню.

При гистологическом исследовании через 8 недель выявлено активное формирование костных балок с выраженной остеонидной матрицей, отсутствием воспалительной инфильтрации и хорошей интеграцией материала с окружающими тканями. В контрольной группе регенерация была менее выраженной, с участками фиброзной ткани.

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют, что включение микрочастиц графена в состав биополимерных остеопластических матриц приводит к значительному улучшению как механических, так и биологических свойств материала.

Благодаря высокой прочности и биоинертности графена создаются благоприятные условия для адгезии остеобластов и формирования костной ткани. Кроме того, противомикробное и противовоспалительное действие графена снижает риск инфекционных осложнений, что особенно важно при хирургических вмешательствах в полости рта.

Однако, несмотря на положительные результаты, необходимы дополнительные исследования, направленные на оптимизацию концентрации графена, изучение долговременной биосовместимости и оценку возможных системных эффектов его метаболитов.

Заключение

Нанокompозитные биополимеры, усиленные микрочастицами графена, обладают высоким потенциалом для применения в остеопластике челюстей. Они сочетают в себе механическую устойчивость, остеоиндуктивные и противовоспалительные свойства, что делает их перспективными кандидатами для замещения костных дефектов и подготовки альвеолярного ложа к имплантации.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение долгосрочных *in vivo* и клинических испытаний, а также стандартизация технологий получения материала для внедрения в практику челюстно-лицевой хирургии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейм А.К., Новосёлов К.С. Графен: новые возможности нанотехнологий. *Nature Materials*. 2007;6(3):183–191.
2. Lee J.H., et al. Graphene-based scaffolds for tissue engineering. *Advanced Functional Materials*. 2020;30(9):1905701.
3. Kumar S., et al. Nanocomposite biomaterials in maxillofacial surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2022;33(5):1457–1463.