

УДК 611.081.4

## КЛЕТОЧНО-МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ ВОСПАЛЕНИЯ, АНГИОГЕНЕЗА И ОСТЕОГЕНЕЗА. КРАТКИЙ ОБЗОР

© 2020 г. К. А. Юрова<sup>1</sup>, О. Г. Хазиахматова<sup>1</sup>, В. В. Малащенко<sup>1</sup>, И. К. Норкин<sup>1</sup>, П. А. Иванов<sup>1</sup>, И. А. Хлусов<sup>1,2,3</sup>, Е. О. Шунькин<sup>1</sup>, Н. М. Тодосенко<sup>1</sup>, Е. С. Мелашенко<sup>1</sup>, Л. С. Литвинова<sup>1</sup>, \*

<sup>1</sup>Центр иммунологии и клеточных биотехнологий Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, 236041 Россия

<sup>2</sup>Кафедра морфологии и общей патологии Сибирского государственного медицинского университета, Томск, 634050 Россия

<sup>3</sup>Исследовательская школа химических и биомедицинских технологий Томского политехнического университета, Томск, 634050 Россия

\*E-mail: [larisalitvinova@yandex.ru](mailto:larisalitvinova@yandex.ru)

Поступила в редакцию 11.02.2020 г.

После доработки 17.02.2020 г.

Принята к публикации 18.02.2020 г.

В обзоре обсуждается сложная, достаточно противоречивая кооперация иммунокомпетентных, костных и стволовых клеток в реализации процессов воспаления, ангиогенеза и остеогенеза. Представлено общее значение посттравматической гематомы и воспаления в репаративной регенерации костной ткани, связь воспаления и ангиогенеза при заживлении травм костной ткани, роль иммунных клеток (в основном, Т-лимфоцитов и макрофагов) и гуморальных факторов (преимущественно, цитокинов и хемокинов) в неоангиогенезе и регенерации костной ткани, которые во многом определяют успешный, отсроченный или неудачный исход костного ремоделирования.

**Ключевые слова:** костная ткань, микроциркуляторное русло, повреждение, гематома, иммунокомпетентные клетки, цитокины и хемокины, регенерация

**DOI:** 10.31857/S0041377120050090

Костная ткань, благодаря клеточному составу, обладает значительной способностью к регенерации (физиологической, репаративной) посредством сложной интеграции резидентных и мигрирующих клеток мезенхимного происхождения, факторов роста и внеклеточного матрикса. Это позволяет поддерживать костную ткань в рабочем состоянии при помощи двух процессов: моделирования и ремоделирования (Lieberman, Friedlaender, 2005; Wang, Yeung, 2017). В процессе моделирования новая кость формируется без предварительной фазы резорбции, тогда как в процессе ремоделирования формирование новой костной ткани следует за резорбцией старого костного матрикса (Merolli, Santin, 2009). Процесс моделирования кости наблюдается, в основном, в период активного роста организма и сопровождается изменением формы, размера и пропорций кости. В зрелом возрасте этот процесс позволяет адаптироваться к функциональным нагрузкам (Wang, Yeung, 2017). Примерно 25% губчатой кости и 3% кортикальной кости подвергаются физиологической регенерации каждый год (Wang, Yeung, 2017).

**Принятые сокращения:** МЦР – микроциркуляторное русло; МСК – мезенхимные стволовые клетки; Трег – Т-регуляторные клетки.

Физиологическое ремоделирование костной ткани протекает на основе динамического равновесия процессов остеогенеза (остеолизиса), что эффективно предотвращает переломы кости, за исключением экстремальной нагрузки (травмы), превышающей биомеханические свойства органа, или постепенно накапливающихся повреждений (усталостных переломов) при циклической нагрузке (Doblare et al., 2004; Wang, Yeung, 2017). В цикле физиологического ремоделирования кости Парфитт (Parfitt, 1988) выделяет следующие периоды: активация–резорбция–реверсия–формирование–покой.

Посттравматическое заживление кости (репаративная регенерация) является онтологическим повторением событий, происходящих во время эмбрионального развития скелета, что во многих случаях позволяет поврежденному органу полностью восстановить свой состав, структуру и функцию (Einhorn, Gerstenfeld, 2015; Wang, Yeung, 2017). При репаративной регенерации фазе ремоделирования кости предшествует период посттравматического воспаления (Kalfas, 2001; Gerstenfeld et al., 2003).

В месте травмы повреждаются кровеносные сосуды, что приводит к кровоизлиянию и формированию гематомы (Mizuno et al., 1990; Hoff et al., 2016),