

М.И. Левашов, С.Л. Сафонов, П.В. Лахин

Роль электрокинетических механизмов в патофизиологии костной ткани

Отдел клинической патофизиологии Института физиологии им. А.А. Богомольца НАН Украины, Киев

Ключевые слова: кость • потенциал течения

В 1957 году Fukada E. и Yasuda I. опубликовали результаты своих исследований, которые свидетельствовали о том, что при деформации кости в ней возникает слабый электрический ток. Авторы установили, что этот ток имеет пьезоэлектрическую природу и может быть зарегистрирован лишь в сухой кости. Стало очевидным, что возникновение электрического тока при деформации кости *in vivo* обусловлено другими механизмами. Дальнейшие исследования показали, что в качестве таких механизмов во влажной кости могут выступать электрокинетические явления, а именно - потенциал течения (ПТ), возникающий в костных каналах, канальцах, лакунах, полостях резорбции под влиянием гидродинамических эффектов упругих деформаций, обусловленных функциональной нагрузкой. Еще в 1859 году Квинке установил, что при протекании жидкости под давлением через пористую керамическую мембрану или тонкий капилляр на их противоположных концах возникает разность потенциалов, которая и получила название потенциал течения. Было показано, что основную роль в возникновении ПТ играет двойной электрический слой, формирующийся у поверхности раздела фаз. Прошло более ста лет прежде, чем было показано, что этот механизм лежит в основе возникновения электрических потенциалов в костной ткани, представляющей собой высоко минерализованный, пористый, композитный биологический материал с хорошо выраженными анизотропными свойствами. Уже первые исследования ПТ в костной ткани показали, что его параметры значительно варьируют в зависимости от частоты, величины и длительности деформирующего воздействия. Однако каких-либо четких закономерностей до настоящего времени не установлено.

Цель работы - исследовать патофизиологические закономерности изменений ПТ в кортикальной кости крысы при дозированной стереотипной и низкой функциональной нагрузке.

Материалы и методы. Исследовали свежeweделенные бедренные кости 32 крыс-самцов линии Вистар 3-месячного возраста, которые находились в обычных условиях вивария и в условиях жесткой 28-суточной гипокинезии. ПТ регистрировали на периостальной поверхности центра диафиза бедренной кости крысы с помощью Ag-AgCl электродов. Для поддержания кости во влажном состоянии использовали систему капельного увлажнения. Механическую нагрузку на кость осуществляли в аксиальном направлении. Величину нагрузки рассчитывали исходя из условий физиологического распределения весовой нагрузки между передними и задними конечностями кры-

сы. Перед началом эксперимента определяли массу тела крысы и рассчитывали величину нагрузки (гс), соответствующую 30-50 и 100% установленной массы. После выведения животного из эксперимента, бедренную кость скелетировали, закрепляли в установке для измерения ПТ и подключали систему увлажнения. Ступенчатую нагрузку на кость осуществляли с периодичностью 30 воздействий в минуту. Определили величину ПТ (мкВ) и "электрическую эффективность" механической нагрузки (мкВ/гс).

Результаты и их обсуждение. При приложении к бедренной кости крыс ступенчатой механической нагрузки амплитуда ПТ возрастала в экспоненциальной зависимости от величины прилагаемого усилия. Однако существовал определенный оптимум механической нагрузки, обеспечивавший максимальный прирост величины ПТ. Он соответствовал диапазону стереотипных функциональных нагрузок. При более высоких нагрузках увеличение амплитуды ПТ достигалось за счет снижения их эффективности, что выражалось в уменьшении темпов прироста амплитуды электрического потенциала на единицу нагрузки. ПТ бедренных костей крыс, находившихся на протяжении 28 суток в условиях жесткой гипокинезии, имел достоверно меньшую амплитуду (на 26-37%, $p < 0,05$), особенно в диапазоне нагрузок, соответствующих уровню стереотипных. Общая закономерность увеличения амплитуды ПТ при возрастании степени нагрузки на бедренную кость, была характерна как для контрольных, так и для подопытных животных. Однако у животных, которые подвергались воздействию гипокинезии, темпы прироста амплитуды ПТ и "электрическая эффективность" нагрузки были достоверно меньше (на 36%, $p < 0,05$). При уравнивании влажности кости до уровня относительной влажности окружающей среды (55-60%), амплитуда ПТ костей животных контрольной и опытной группы резко уменьшалась, что подтверждало электрокинетическую природу регистрируемого по поверхности кости потенциала.

Выводы. Результаты исследований свидетельствуют о том, что амплитуда ПТ бедренной кости крысы в значительной степени определяется величиной прилагаемого усилия. Воздействия, соответствующие уровню стереотипных функциональных нагрузок, являются наиболее эффективными, так как обеспечивают максимальный прирост величины ПТ на единицу нагрузки. Длительная гипокинезия и уменьшение влажности костной ткани приводят к снижению ПТ и эффективности биоэлектрических механизмов ее ремоделирования.