
СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА

НЕВРОЛОГИЯ / РЕВМАТОЛОГИЯ.
РЕАБИЛИТАЦИЯ

№ 1 (13) / МАРТ / 2019 г.



ИССЛЕДОВАНИЯ



ОБЗОРЫ



ПРАКТИКА



КЕЙСЫ

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

16+

В. П. ХОМУТОВ¹, Н. И. НЕЛИН²

¹ ООО «Медэл», Санкт-Петербург

² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени Е. Е. Евдокимова» МЗ РФ, Москва

Особенности локального биоэлектrogenеза при патологии тазобедренного сустава

Хомутов Виктор Павлович

к. м. н., заместитель генерального директора по медицинским вопросам, врач высшей категории, травматолог-ортопед

E-mail: viktor1352@yandex.ru

Резюме. Остеоартроз тазобедренного сустава – полиэтиологическое заболевание, в основе которого нарушение процесса физиологической регенерации гиалинового хряща и подлежащей кости. Работа основана на многочисленных доказательствах об имеющейся связи между морфологическими изменениями и электрическими свойствами тканей опорно-двигательной системы. В эксперименте на кроликах изучено влияние электрического поля электретного имплантата на течение репаративных процессов в головке бедренной кости и в вертлужной впадине. Клиническими, рентгенологическими, денситометрическими, морфологическими и электрофизиологическими исследованиями выявлено отрицательное влияние танталового имплантата на течение репаративных процессов при асептическом некрозе головки бедренной кости и положительное влияние танталового имплантата с электретным покрытием из анодного оксида тантала.

Ключевые слова: остеоартроз, асептический некроз, биоэлектrogenез, танталовый имплантат, электростатическое поле электрета.

V. P. KHOMUTOV¹, N. I. NELIN²

¹ LLC «Medel», St. Petersburg

² FSBEI HE «Moscow state university of medicine and dentistry named after E. E. Evdokimov», Ministry of health of the Russian Federation, Moscow

Features of local bioelectrogenesis in the pathology of the hip joint

Viktor P. Khomutov

candidate of medical sciences, deputy general director for medical issues, highest category doctor, orthopedic traumatologist

E-mail: viktor1352@yandex.ru

Summary. Osteoarthritis of the hip joint is a polyetiological disease based on impaired physiological regeneration of hyaline cartilage and underlying bone. The work is based on numerous proofs of the existing connection between morphological changes and the electrical properties of the tissues of the musculoskeletal system. In the experiment on rabbits, the influence of the electret implant electric field on the course of reparative processes in the femoral head and in the acetabulum was studied. Clinical, radiological, densitometric, morphological and electrophysiological studies revealed a negative effect of a tantalum implant on the course of reparative processes during aseptic necrosis of the femoral head and a positive effect of a tantalum implant with an electret coating of anodic tantalum oxide.

Key words: osteoarthrosis, aseptic necrosis, bioelectricity, tantalum implant, electret electrostatic field.

Введение

Остеоартроз тазобедренного сустава – это широко распространенное полиэтиологическое заболевание. Среди других известных причин особое место занимает идиопатический асептический некроз головки бедренной кости. В то же время асептический некроз и кистовидная перестройка могут быть проявлениями остеоартроза на поздних стадиях заболевания. Ведущая роль в патогенезе дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов принадлежит нарушению репарации костно-хрящевой ткани на фоне воспалительных и биомеханических из-

менений, нарушении регионарного кровотока эпифизов и околосуставных тканей. Патологические процессы развиваются под воздействием функциональных нагрузок на сустав. При этом в большинстве случаев возникает несоответствие между предъявляемыми запросами и резервными возможностями суставных структур. Биомеханическая трансформация, дестабилизирующая сустав, взаимодействуя с биохимическими, метаболическими и генетическими факторами, способствует развитию патологического процесса [1] Вследствие этого нарушается стройная многофакторная система физиологической

регенерации тканей сустава, в первую очередь гиалинового хряща и подлежащей кости. Развивается дегенеративный процесс, в результате которого в некоторых участках эпифиза кости формируются участки асептического некроза или кистовидной перестройки спонгиозной кости. Клинические проявления протекающего патологического процесса имеют неспецифический характер. Но при помощи современных средств лучевой диагностики можно проследить динамику развития локальных морфологических изменений, определить размеры и локализацию очагов поражения, их отношение к суставному хрящу.

Однако до настоящего времени пусковой фактор изменения равновесия в сторону усиления резорбции и угнетения репарации при асептическом некрозе или искажение восстановительных процессов при артрозе остается неясным, и это негативно влияет на разработку патогенетически обоснованных методов лечения. Костная и хрящевая ткани относятся к группе скелетных тканей и обладают сходной микроструктурой. Основу составляют упорядоченные пучки коллагеновых волокон. При этом кости конечностей проходят в развитии стадию хрящевой модели, или энхондральный, вторичный остеогенез. Источником развития костной ткани служит остеогенная мезенхима. А необходимым условием остеобластической дифференцировки мезенхимоцитов является хорошая оксигенация. При наличии эффективного кровоснабжения формируется остеобластический дифферон. Гиалиновый хрящ развивается в условиях ишемии.

В то же время все клеточные, органические, неорганические элементы кости и хряща развиваются и функционируют в сопровождении и под управлением электрических сигналов, которые, в свою очередь, обеспечиваются формированием биопотенциалов. Всем биологическим структурам свойственны активные биоэлектрические свойства – биоэлектrogenез [2, 3]. Любые метаболические процессы в живых тканях индуцируются, сочетаются, регулируются и реализуются посредством изменения градиентов и векторов электрических полей. Поиск реального активного целенаправленного воздействия на восстановительные процессы в патологически измененных костно-хрящевых структурах сустава потребовал изучения электрофизиологической основы регенерации кости и хряща в норме и при патологии. Полученные результаты исследований подтвердили взаимосвязь биоэлектrogenеза и репаративных процессов в костно-хрящевых структурах и позволили разработать новые эффективные хирургические методы лечения повреждений и заболеваний опорно-двигательной системы на основе воздействия электростатического поля электретов [4, 5, 6, 7].

Цель исследования – изучить особенности биоэлектrogenеза головки бедренной кости и вертлужной впадины и его взаимосвязь с репаративными процессами на модели асептического некроза головки бедренной кости и определить возможности повышения эффективности лечения посредством коррекции аномалий статического электrogenеза в эксперименте.

Материал и методы исследования

Поиск оптимального сочетания основных принципов лечения остеоартроза тазобедренного сустава с электрофизиологией костной и хрящевой ткани явился обоснованием для проведения экспериментального исследования. Предполагалось установить характер распределения электростатического потенциала головки бедренной кости и вертлужной впадины в норме и при формировании патологического процесса. Установленная взаимосвязь биоэлектrogenеза и структуры костной и хрящевой ткани потребовала изучения зависимости изменений статических электрических потенциалов от морфофункциональных нарушений при асептическом некрозе головки

бедренной кости. На следующем этапе исследования проводилось изучение влияния коррекции искажений статического электrogenеза на течение восстановительных процессов в головке бедренной кости.

Экспериментальное исследование выполнено на 30 кроликах породы шиншилла в возрасте 2-2,5 месяцев массой 0,5-0,6 кг. В первой серии экспериментов у 10 лабораторных животных была разработана экспериментальная модель асептического некроза бедренной кости. Во второй серии у 10 лабораторных животных изучали влияние специальной металлической конструкции на репаративный электrogenез и развитие морфологических изменений в гиалиновом хряще и костной ткани проксимального эпифиза и вертлужной впадины. В третьей серии экспериментов у 10 кроликов исследовали возможность коррекции нарушения репаративного электrogenеза и влияния этой коррекции на процессы регенерации хрящевой и костной ткани.

Все эксперименты проведены в соответствии с приказом МЗ СССР от 12.08.1977 г. № 755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм с использованием экспериментальных животных» и Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123) от 18.03.1986 г.

Оперативное вмешательство проводили в асептических условиях под внутримышечной анальгин-димедроловой анестезией. Выведение животных из эксперимента осуществляли в I серии через 8 недель, а в II-III сериях – через 10 и 12 недель.

Модель асептического некроза головки бедренной кости с последующим формированием деформирующего артроза тазобедренного сустава получали путем ликвидации источников локального кровообращения. Для этого осуществляли задний доступ к правому тазобедренному суставу экспериментального животного. Отсекали от мест прикрепления к проксимальному метафизу глубокие мышцы, капсулу сустава и круглую связку головки бедра. После вывиха головки бедренной кости часть отсеченных тканей перемещали и подшивали в освобожденную вертлужную впадину. Поверх сформированной тканевой прокладки укладывали головку бедренной кости. После ее вправления частично восстанавливали мышечную муфту проксимального отдела бедренной кости и ушивали рану (рис. 1). Дополнительную внешнюю иммобилизацию оперированной конечности не применяли.

В II и III сериях экспериментов после образования асептического некроза головки бедренной кости дополнительно трансвертикально имплантировали в головку бедра субхондрально танталовый конусовидный стержень длиной 1,5 см и диаметром основания 2 мм (рис. 2). При этом животным второй серии экспериментов имплантировали электрически нейтральный танталовый имплантат для изучения влияния на электрофизиологические и морфологические процессы в структурах сустава. В третьей серии экспериментов для изучения влияния электростатического поля электрета на плотность костной и хрящевой ткани применяли танталовый имплантат, покрытый анодной оксидной пленкой в электретном состоянии с функционально необходимым распределением плотности отрицательного заряда. Электретная разность потенциалов $U_э$ между внешней поверхностью анодного оксида и танталом составляла порядка $25 \pm 2,5$ В с максимумом на заостренном конце имплантата и дальнейшим уменьшением к противоположному концу. Танталовые имплантаты изготавливали из тантала высокой чистоты марки ТВЧ [8].

Всем животным ежедневно выполняли клинический мониторинг, который включал наблюдение за общей реакцией животных, общей температурной реакцией, течением раневого процесса, динамикой массы тела. Рентгенологи-

ческие исследования проводили по общепринятой методике после операции и в динамике изучения процессов репарации через каждые 2 недели в течение всего периода наблюдения за экспериментальными животными. Рентгенденситометрические исследования выполняли на образцах проксимального эпифиза бедренной кости и вертлужной впадины с определением рентгенографической плотности костной ткани в пяти точках. Морфологические изменения изучали по образцам метаэпифиза бедренной кости и вертлужной впадины после подготовки и фиксации в 10%-ном растворе нейтрального формалина, декальцинации в 3%-ном растворе соляной кислоты и заливки в парафин. Микропрепараты окрашивали гематоксилин-эозином и по Ван-Гизону. Электрофизиологические исследования осуществляли на свежеснятых препаратах головки бедренной кости и вертлужной впадины с применением неполяризующихся позолоченных электродов с активной площадью 0,38 мм² после предварительной калибровки в 2%-ном растворе хлорида калия [9, 10]. Измеряли электростатический потенциал поверхности головки бедренной кости и вертлужной впадины в 4 условных секторах в соответствии с распределением биомеханических нагрузок на сегмент. Электрофизиологические и морфологические исследования здорового и пораженного тазобедренного сустава проводили после выведения животных из эксперимента.

Результаты и их обсуждение

Клинические, рентгенологические, морфологические и электрофизиологические экспериментальные исследования показали взаимосвязь биоэлектрических процессов и морфологических изменений в патогенезе асептического некроза головки бедренной кости, а также целесообразность коррекции нарушений биоэлектрических потенциалов посредством электростатического поля электретов.

Раневая процесс во всех сериях экспериментов протекал типично, заживление послеоперационных ран происходило первичным натяжением на 9–10-е сутки. К концу 3-й недели формировалась сгибательно-приводящая контрактура тазобедренного сустава и комбинированная контрактура коленного сустава, которые в последующем прогрессировали. К концу 6-й недели функциональная нагрузка на оперированную конечность резко снижалась, и она не участвовала в передвижении животного. Начало формирования дегенеративно-дистрофических изменений в тазобедренном суставе во всех сериях экспериментов достоверно определялось при рентгенографическом исследовании через 4–5 недель после операции. Рост бедренной кости, пораженной патологическим процессом, замедлялся, достоверные отличия размеров пораженной и интактной головок бедренных костей наблюдали к концу 4-й недели наблюдений ($p \leq 0,001$).

Отмечали изменение формы проксимального метаэпифиза: контуры суставного хряща головки бедренной кости становились нечеткими, в субхондральной зоне наблюдали остеосклероз губчатой костной ткани, сплющивание кости, перелом костных трабекул. В результате отсутствия функциональной нагрузки и усиления процессов резорбции через 6 недель после операции отмечали очаги остеопороза. Ростковый хрящ менял типичную S-образную форму, становился неравномерным по толщине. Перераспределение напряжения мышц, перемещенных к большому вертелу бедренной кости, меняло вектор его роста. Контуры вертлужной впадины к 4-й неделе после операции становились нечеткими, глубина ее уменьшалась, и достоверные отличия с интактным суставом отмечены к концу 5-й недели ($p \leq 0,001$). К концу периода наблюдений величины вертлужной впадины пораженного и интактного суставов различались в 2,5 раза.

Рисунок 1. Схема моделирования асептического некроза головки бедренной кости кролика

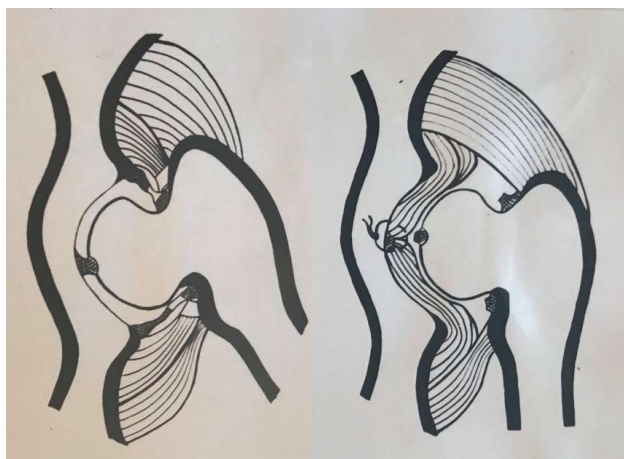


Рисунок 2. Танталовый имплантат при асептическом некрозе головки бедренной кости



Рентгенденситометрия распилов проксимального эпифиза бедренной кости выявила статистически достоверные отличия плотности костной ткани интактной и пораженной сторон. На пораженном суставе плотность губчатой костной ткани была на 16,2 % ниже по отношению к непораженному суставу и коррелировала с данными рентгенологических и морфологических исследований.

Через 8 недель после операции при макроскопическом изучении препаратов первой серии эксперимента выявлены дегенеративно-дистрофические изменения параартикулярных тканей и мышечных групп. В головке бедренной кости прослеживались участки некроза гиалинового хряща с подлежащей губчатой костью. Вертлужная впадина заполнялась рубцовой тканью. На гистологических препаратах головки бедренной кости определялась активная пролиферация суставного хряща, участки некроза и восстановления губчатой кости, запустения лакун красного костного мозга и замещение его жировыми клетками, неравномерная толщина и извилистость росткового хряща.

Электрофизиологические исследования показали, что статический электрический потенциал при асептическом некрозе головки бедренной кости составлял 177 мВ и был меньше на 21 %, чем на непораженной головке бедренной кости. В то же время вертлужная впадина пораженного сустава индуцировала статический электрический потенциал (236 мВ), который был на 15 % больше, чем в интактном суставе (227 мВ). Нарушение статического электрогенеза при моделировании асептического некроза головки бедренной кости было вызвано деструктивными изменениями костной и хрящевой ткани. Значения статических

биопотенциалов вертлужной впадины можно объяснить большей биоэлектрической активностью рубцовой ткани, которой последняя была заполнена, по сравнению с гиалиновым хрящом.

Таким образом, через 8 недель после хирургического вмешательства имелись отчетливые рентгенологические и морфологические макро- и микроскопические признаки асептического некроза головки бедренной кости и деформирующего артроза тазобедренного сустава. В этот период наблюдали некроз и перелом костных балочек, субхондральный остеосклероз, жировое перерождение красного костного мозга, повреждение суставного и росткового хряща, его неравномерную толщину и извилистость. Все эти процессы сопровождалось искажением статического электрогенеза компонентов пораженного сустава.

При изучении результатов воздействия имплантата на течение репаративных процессов во второй и третьей серии эксперимента выявлены рентгенологические, морфологические и электрофизиологические различия. При этом клинических различий не отмечено. Функциональные нарушения во всех сериях были обусловлены подвывихом, ухудшением кровообращения и денервацией головки и шейки бедренной кости в результате отсечения капсулы и мышц от проксимального отдела бедренной кости, травматизацией мышц области тазобедренного сустава, уменьшением головки бедренной кости в результате ишемии, уплощением вертлужной впадины с последующим развитием сгибательно-приводящей контрактуры.

При рентгенологических исследованиях во всех наблюдениях второй контрольной группы отмечено смещение танталового имплантата относительно первоначального положения вследствие остеолитического в головке бедренной кости. Положение электретного имплантата у животных третьей опытной серии было неизменным на протяжении всего периода наблюдения.

В контрольной 2-й серии экспериментов при рентгенологическом исследовании остеопороз был выражен больше, чем в опытной 3-й серии, где он проявлялся только в первые недели, а в последующем определялось восстановление костной структуры. Полученные данные позволяют предположить, что внутрикостный металлический незаряженный имплантат, как чужеродное тело, оказывает негативное воздействие на остеорепарацию. Его наличие активизирует остеокластические процессы, способствует развитию инкапсуляции имплантата соединительно-фиброзной тканью, что тормозит восстановление губчатой кости. Вокруг имплантата с электретным покрытием формируется губчатая кость без фиброзной прослойки.

Денситометрические исследования не выявили достоверных различий в костных препаратах пораженных суставов животных 2-й и 3-й серий.

При морфологических исследованиях препаратов головки бедренной кости выявлены следующие отличия. У животных 2-й серии участки некроза чередовались с зонами фиброза и остеосклероза. Костные балочки лишены остеоцитов. Между костными балочками сформированы широкие пустоты. Местами определяются участки отслойки суставного хряща от субхондральной кости, которая имеет более рыхлое строение.

При воздействии электростатического поля электрета выявили достоверные отличия по сравнению с имплантацией незаряженного танталового имплантата. Трабекулярное строение имело более равномерный и упорядоченный характер. На поверхности костных балочек располагались остеообласты в большом количестве. Очаги деструкции представлены в незначительном количестве, больше в метафизарной зоне.

Под влиянием постоянного электростатического поля электрета деструктивные и репаративные процессы протекали иначе. Первичное раздражение электростатическим полем активизировало рассасывание участков

некроза в головке бедренной кости и в последующем стимулировало репаративные процессы в костной и хрящевой ткани (рис. 3).

Рисунок 3. Суставной хрящ головки бедренной кости у кролика опытной серии. Окуляр 7, объектив 10, окр. по Ван-Гизону



Выявленная взаимосвязь между морфологическими изменениями и электрогенезом пораженного сустава в эксперименте позволила предположить, что возможна оптимизация условий остеорепарации посредством коррекции искаженных статических электропотенциалов электретным полем электрета.

Выводы

1. Экспериментальные исследования подтвердили взаимосвязь морфологических и биоэлектрических процессов при наблюдении за течением дегенеративных и репаративных процессов в головке бедренной кости кролика.
2. Обнаружены закономерности распределения статических электропотенциалов головки бедренной кости в норме и при патологии, доказана корреляция между значениями статических электрических потенциалов и степенью морфологических изменений при асептическом некрозе головки бедренной кости.
3. Электростатическое поле электрета активизирует репаративные процессы в костной и хрящевой ткани при асептическом некрозе головки бедренной кости в эксперименте.

Литература

1. Mobsheri A., Batt M. An update in the pathophysiology of osteoarthritis // *Annals Physical and Rehabilitation Medicine*. Vol. 59. Issues 5–6. Pp. 333–339.
2. Кулин Е. Т. Биоэлектретный эффект / Е. Т. Кулик. Минск: Наука и техника, 1980. 216 с.
3. Ткаченко С. С. Электростимуляция остеорепарации / С. С. Ткаченко, В. В. Руцкий. Л.: Медицина, 1989. 208 с.
4. Хомутов В. П. Применение электретов в медицине / В. П. Хомутов, Ю. А. Быстров, С. В. Василевич, В. Н. Корещкий // А. И. Грицанов, В. П. Хомутов. Эволюция остеосинтеза. СПб.: МОРСАР АВ, 2005. С. 135–151.
5. Василевич С. В. Влияние электретов на оптимизацию кожных покровов / С. В. Василевич // А. И. Грицанов, В. П. Хомутов. Эволюция остеосинтеза. СПб.: МОРСАР АВ, 2005. С. 151–157.
6. Линник С. А. Исследование эффективности электростатического поля в лечении остеоартроза / С. А. Линник, В. П. Хомутов // *PMЖ. Мед. Обозрение*. 2017. № 1. С. 2–5.

Полный список литературы доступен по запросу в редакции