

Марков А.А., Наумов М.М., Алекберов А.И., Хамитова И.Р.,
Козлов М.В., Мокин Е.А., Лукашенко А.В., Тяпкин А.В., Фидоматова З.Ш. DOI 10.25694/URMJ.2019.09.18

Современные рентгеновские методы изучения костной ткани в экспериментальных исследованиях на животных

ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень

Markov A.A., Naumov A.M., Alekberov R.I., Khamitova I.R., Kozlov M.V., Mokin E.A., Lukashenok A.V., Fidomatova Z.SH., Tyapkin A. V.

Modern X-ray methods for studying bone tissue in experimental animal studies

Резюме

Настоящий литературный обзор посвящен изучению современных рентгенологических методов исследования костной ткани в экспериментальных опытах на животных. В ходе работы проведен анализ опубликованных научных данных российских литературных источников, в которых рассматриваются инструментальные методы исследования костной ткани. В их число входят исследования, проведенные на базе следующих медицинских учреждений Российской Федерации: ГБОУ ВПО «Рязанский государственный медицинский университет им. Академика И.П. Павлова» Минздрава России; травматолого – ортопедического отделения №2 в Екатеринбургском НИИ ортопедии и травматологии; отдела рентгеновских, ультразвуковых и радионуклидных методов диагностики ФГУ РНЦ «ВТО» имени академика Г. А. Илизарова. Помимо этого, мы изучили научные материалы, посвященные вопросам рентгеновской денситометрии, чрескостного остеосинтеза, компьютерной томографии, контрастной рентгенографии. Анализ современной литературы указывает на необходимость знания инструментальных методов исследования органов и систем человека, подробное изучение аспектов различных методов инструментальной диагностики позволит применить каждый из них в наиболее подходящей клинической ситуации и, таким образом, добиться своевременного установления точного диагноза.

Ключевые слова: рентгеновские исследования, эксперименты, регенерация, костная ткань, животные

Summary

This literature review is devoted to the study of modern X-ray methods for studying bone tissue in animal experiments. As a result of the work, an analysis of the published scientific data of Russian literary sources was conducted, in which many instrumental methods of bone tissue research are considered. We attributed the studies of well-known traumatologists of the Russian Federation to these works, on the results of which we analyzed and made the appropriate conclusions for our scientific work. These include studies conducted on the basis of the following medical institutions of the Russian Federation: Ryazan State Medical University. Academician I.P. Pavlova "Ministry of Health of Russia; traumatology and orthopedic department No. 2 at the Ekaterinburg Research Institute of Orthopedics and Traumatology; Department of X-ray, ultrasound and radionuclide diagnostic methods of the FGU RNTs "VTO" named after academician G. A. Ilizarov. In addition, we studied scientific materials on X-ray densitometry, transosseous osteosynthesis, computed tomography, and contrast radiography. Analysis of the modern literature indicates the need for knowledge of instrumental methods of research of human organs and systems, a detailed study of aspects of various methods of instrumental diagnostics will allow us to apply each of them in the most appropriate clinical situation and, thus, to achieve timely establishment of an accurate diagnosis.

Keywords: x-ray studies, experiments, regeneration, bone tissue, animals

Введение

В настоящее время в медицинской литературе представлено множество инструментальных методов исследования костной ткани. Хотя не существует единого мнения о том, какой метод и способ изучения материала являются наиболее достоверными. Одним из распростра-

ненных методов исследование костной ткани - рентгенологическое, и проводится оно чаще, чем другие методы исследования [5-15]. В данной работе представлен обзор основных рентгенологических методов исследования, включающих в себя рентгеновскую денситометрию, рентгеновскую компьютерную микротомографию

и контрастную рентгенографию. Рентгенография - это исследование, при котором можно получить четкое изображение исследуемого объекта, который фиксируется в светочувствительном материале.

Источником излучения является рентгеновская трубка, а объектом - костная ткань, что было необходимо для выявления её структурных изменений. Рентгеновская денситометрия - это один из методов исследования, которое проводится для оценки состояния костной ткани. С помощью этого метода можно легко выявить патологию в структуре костной ткани и тем самым предотвратить развитие многочисленных осложнений. Главной задачей данного метода является определение минеральной плотности костной ткани. Исследование проводится при помощи стационарного оборудования и обычно применяется при таком виде заболевания как остеопороз. В современной медицинской практике рентгеновская денситометрия является золотым стандартом при комплексной диагностике костных структур. Это исследование обладает точностью и высокой информативностью, при этом не теряя своей актуальности [3]. Рентгеновская компьютерная микротомография - это метод исследования различных срезов тела человека на любом уровне, основанный на круговом или спиральном сканировании объекта узким пучком рентгеновских лучей и компьютерной реконструкции полученного изображения. Компьютерная микротомография обладает рядом преимуществ перед обычным рентгеновским исследованием: прежде всего высокой чувствительностью, что позволяет дифференцировать отдельные ткани друг от друга по плотности в пределах 1-2%. В отличие от обычной томографии, где на трансмиссионном изображении органа (обычный рентгеновский снимок), суммарно переданы все структуры оказавшихся на пути лучей, компьютерная томография дает возможность получить изображение органов и патологических очагов только в плоскости исследуемого среза без наложения выше- и нижележащих образований. Компьютерная томография позволяет получить томограммы, то есть продольные изображения исследуемой области наподобие рентгеновского снимка путем перемещения большого вдоль неподвижной трубки. Топограммы используются для установления протяженности патологического очага и определения количества срезов [1]. Контрастная рентгенография - это целая группа методов рентгенологического исследования, отличительной особенностью которых является использование в ходе исследования рентгеноконтрастных препаратов для повышения диагностической ценности снимков. Контрастная рентгенография применяется для визуализации полых органов, когда необходимо оценить их локализацию и объем, структурные особенности их стенок, функциональные характеристики. Контрастирование может быть инвазивным, когда контрастное вещество вводится в полость организма (внутримышечно, внутривенно, внутриартериально) с повреждением кожного покрова, слизистых оболочек, или неинвазивным, когда контрастное вещество глотается или нетравматично вводится по другим естественным путям. Рентгеноконтрастные вещества

- это категория диагностических средств, отличающихся по способности поглощать рентгеновское излучение от биологических тканей. Их используют для выделения структур органов и систем, не выявляемых или плохо выявляемых при обычной рентгенографии, рентгеноскопии, компьютерной томографии [11]. В настоящее время наблюдается рост числа стихийных и техногенных катастроф, увеличение количества транспортных средств, что в совокупности приводит к повышению частоты травматизации, из которых повреждения костной ткани составляют 86%. В связи с этим, каждый год происходит незамедлительный поиск подходов, совершенствующих качество лечения сложных диафизарных переломов костей в современной травматологии. На данный момент лечение такой патологии получило положительные результаты в условиях проведения жесткой фиксации методом чрескостного остеосинтеза по Г. А. Илизарову. Оскольчатые переломы сопровождаются значительной травмой мягких тканей и серьезным нарушением трофики, что приводит к продолжительному периоду заживления. Одним из методов активного воздействия на микроциркуляторное русло является гирудотерапия, которая в настоящее время широко применяется в медицинской практике [4,13].

Цель - проанализировать публикации отечественной и зарубежной литературы по инструментальным методам исследования костной ткани, оценить суть и преимущества наиболее часто применяемых методов.

Материалы и методы

Для написания обзора литературы использовались электронные базы данных: Elibrary, SCOPUS, AGRIS, Google Scholar, PubMed, Cyberleninka, Fundamental-research, а также печатные издания и диссертационные работы. Был проведен анализ статистических данных клинических исследований, посвященных различным рентгенологическим методам исследования, способам чрескостного остеосинтеза. На примерах экспериментальных исследований с использованием необходимых инструментальных рентгенологических методик, было изучено повреждение структур и функции костной ткани, необходимая техника лечения, проведена оценка реабилитационных процессов восстановления костной ткани.

Результаты и обсуждение

В изучении костной системы постоянно появляются новые методы исследования, которые считаются более информативными и обладают рядом преимуществ. К таким методам относятся: рентгеновская денситометрия, рентгеновская компьютерная томография и контрастная рентгенография. Особый интерес представляют рентгеноморфологические особенности при проведении чрескостного остеосинтеза. В первом исследовании Назарова Е.А: для эксперимента изготовили 4 группы штифтов. В первой группе они были изготовлены из медицинской стали, во второй - из титанового сплава с химико-термической обработкой, в третьей - из титанового сплава с покрытием из кальция фосфатов и 1% германия, а к

четвертой группе добавили 5% раствор германия. Эксперимент провели на 29 беспородных кошек мужского пола, массой до 5000 гр, в возрасте до 4 лет, разделенных соответственно штифтам на 4 группы. Выполняли разрез кожи по наружной поверхности верхней трети задней конечности длиной 1,5 см. Затем обнажали вертлужную впадину и сверлом формировали канал в дистальном направлении бедренной кости, в который устанавливали штифт, затем на противоположной стороне провели аналогичное вмешательство и ушили послеодно раны. Через 3 месяца, при проведении наркоза, после остановки дыхательной и сердечной деятельности, извлекали кости и готовили микропрепараты, проводили рентгенографию. По данным рентгеновского исследования все штифты располагались внутрикостно. Далее при рентгеновской компьютерной микромографии было выявлено умеренное разрежение костной ткани в шейках бедренных костей, что является костным признаком регенераторного процесса. Максимальное разрежение костной ткани наблюдалось в 4 группе, меньше – в 3 группе. Таким образом, в этих группах преобладали процессы регенерации и остеинтеграции [1]. В Новосибирском НИИ травматологии и ортопедии провели изучение функциональных и структурных изменений костной ткани крыс Охус. Изучение такого заболевания, как остеопороз, в данное время считается очень значимым. Для исследования этой болезни провели эксперимент на крысах – самцах Охус возрастом от 2 до 18 месяцев, которых вырастили в лабораторных условиях. Контрольную группу составили крысы-самцы Wistar такого же возрастного промежутка. Каждая группа (Охус и Wistar) составили по 7-11 крыс. Далее каждому грызуну вводили эфирный наркоз и измеряли минеральную плотность костной ткани методом рентгеновской абсорбциометрии на денситометре «LUNAR-Exert-XL» (США). Таким образом, измеряли всю минеральную плотность скелета крыс. Следующим этапом было проведение морфологического исследования. Для этого провели экванизацию каждого животного и стали брать костные фрагменты задних и передних конечностей на границах средних и верхних трети, а также с тела первого поясничного позвонка. Затем эти фрагменты погружали в раствор формалина, далее декальцинировали в растворе соляной кислоты 0,5%, а следом срезы окрашивали эозином и гематоксилином. Исследование костных фрагментов проводили методом гистоморфометрии с помощью программ «Motic Images Plus 2.0 ML» фирмы «Микромед» (Россия). Так, метод денситометрии показал, что у крыс группы Охус, по сравнению с Wistar, наблюдается прирост минеральной плотности костной ткани, но, уже начиная с шестимесячного возрастного промежутка, рост минеральной плотности прогрессивно снижался. После проведения всех исследований был сделан вывод о том, что изучение костных фрагментов крыс Охус показало изменение костной ткани, характерных для остеопороза, что в итоге позволило рассмотреть этих животных, как модель изучения данного заболевания, для разработки его лечения и профилактики [3]. В следующем исследовании Гюльназаровой С.В: эксперимент прово-

дили на 80 крысах Wistar в возрасте до 4 месяцев, массой до 150гр. Животных разделили на 2 группы. Далее, под наркозом, выполнялось оперативное вмешательство. Предварительно крысам второй группы моделировали иммобилизационный остеопороз трети голени одной задней конечности. Объем группам животным выполнялась имплантация спиц из медицинской стали в область дистального метафиза бедренной и проксимального большеберцовой костей. Сроки наблюдения – 7, 14, 30, 90 и 120 дней. Из фрагментов метафизов вырезали костные блоки и заливали парафином. Гистологические препараты окрашивали гематоксилин-эозином. Изучение выполняли под микроскопом Olympus. Ввод изображений производили на цифровом модуле визуализации VIDI-CAM. Для анализа использовали программу «Видео – Тест Мастер – Морфология 5.2». Анализ опытов показал, что у животных с ИОП после имплантации спиц явления остеопороза нарастали. Увеличение диаметра спицевого канала при ИОП связано с изменением структуры костной ткани и сниженной её прочностью при остеопорозе. Это подтверждается данными сравнительного исследования, которые показали, что во все сроки наблюдения у здоровых животных диаметр спицевого канала оставался без изменений [2]. В последнем исследовании по работе Дьячковой Г.В: Эксперимент проводили на 54 собаках. В котором изучали состояние мышц при удлинении голени. В качестве модели использовали моно- и билатеральный distractionный остеосинтез по Ф.А.Илизарову, которая была разработана специально для экспериментов на собаках, и представляла собой вариант для многостороннего исследования. Она оказывает влияние на регенерацию и рост тканей, в частности костной. Применяли клинические, рентгенологические, биохимические, морфологические методики исследования. У всех животных были проведены рентгеноконтрастные и анатомические исследования. У 18 животных рентгеноконтрастное исследование выполнено в условиях острого опыта [11]. В Курганской области г.Курган в научном центре "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г. А. Илизарова» было проведено исследование рентгенологических и морфологических особенностей костного регенерата методом чрескостного остеосинтеза при лечении оскольчатых переломов. Эксперимент провели на 42 беспородных собаках в возрастном промежутке от 1 до 4 лет, которым моделировали оскольчатые переломы диафизов берцовых костей голени, затем конечность шинировали, а через сутки осуществляли закрытую репозицию перелома методом чрескостного остеосинтеза Собак разделили на две группы (контрольную и опытную). В первой - лечение проводили по классической методике, а во второй её сочетали с гирудотерапией. По рентгенологическим признакам определяли период фиксации конечности в аппарате, где в первой группе этот период занял 48 дней, а во второй – 36 суток.

Рентгенологическое исследование в двух проекциях проводили на аппарате АРД-2-125-К4 в периоды: после перелома, после операции, через 6, 13, 20, 27, 34, 41, 48 суток фиксации. Чтобы проанализировать рентгенологи-

ческое изображение для оценки оптической плотности регенерата, который был сформирован в межотломковой области. применяли аппаратно-программный комплекс «ДиаМорф». На изображениях провели и выделили контур перелома, а затем измеряли среднюю интенсивность ее тени и фон зоны перелома. Далее по данным рентгенографии оценивали остеогенез. Для этого изучали следующие виды признаков: - форму и структуру регенерата; - процентное заполнение тенями области перелома; - протяженность и толщина периостальной реакции. По завершении работы было установлено, что, благодаря методу гирудотерапии в период исследования, значительно снижался травматический отек, быстрее развивалось капиллярное русло, а также ускорилась стимуляция остеогенеза. Далее на фоне проводимого лечения, ускорению всех процессов способствовала поверхность сосудистой сети и повышенная проницаемость капилляров. Данные эффекты сократили сроки фиксации на 30%. Таким образом, проведенное исследование показало, что лечение оскольчатых переломов костей голени в условиях чрескостного остеосинтеза в сочетании с сеансами гирудотерапии способствует оптимизации репаративных процессов, что выражается в сокращении сроков созревания регенерата [4,13].

Заключение

Анализ современной литературы показывает, что знание инструментальных методов исследования очень важно в медицинской практике, их возможность для выявления патологических процессов позволяет целенаправленно использовать тот метод исследования, который в каждом конкретном случае будет наиболее информативным, что обеспечит своевременность установления диагноза и его точность. Представленный обзор

литературы наглядно демонстрирует совершенствование инструментальных методов исследования костной ткани в травматологии. К новым достижениям можно отнести такие методики, как рентгеновская денситометрия, рентгеновская компьютерная микромография, контрастная рентгенография и операции методом чрескостного остеосинтеза. В анализе работ известных травматологов, проводимых в экспериментах на животных, нельзя не заметить всю значимость и важность данных видов исследований для детального разбора проблем нарушений структур костной ткани, в подборе необходимой тактики лечения и профилактики, чтобы в дальнейшем применять эти методы и в лечении заболеваний у человека. ■

Марков Александр Анатольевич – к.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии с курсом детской травматологии ИИПР ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Тяпкин Александр Владимирович, студент 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Алекберов Ровшан Ибиш оглы, студент 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Фидаматова З.Ш., студентка 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Моккин Егор Алексеевич, студент 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Козлов Максим Владиславович, студент 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Лукашенко Александр Владимирович, студент 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень. Хамитова Ильнара Раилевна, студентка 6 курса лечебного факультета ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России, г. Тюмень.

Литература:

1. Назаров Е.А., Папков В.Г., Кузьманин С.А., Веснов И.Г., 2016. Изучение остеоинтеграции внутрикостных имплантатов с разными типами покрытий в условиях эксперимента. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Пирогова, 2. С. 62-67.
2. Гольназарова С.В., Кудрявцева И.П., Ганжа А.А., 2014. Морфоструктурные изменения костной ткани в условиях применения металлофиксаторов на фоне иммобилизационного остеопороза. Журнал фундаментальные исследования, 7 (часть 3). С.468-472
3. Фаламеева О.В., Садовой М. А., Храпова Ю. В., Колосова Н. Г., 2006. Структурно-функциональные изменения костной ткани позвоночника и конечностей у крыс ОХУС. Хирургия позвоночника. С. 88-94.
4. Якиманская Ю. О., Горбач Е. Н., Осипова Е.В., Степанов М. А., 2011. Особенности формирования регенерата при лечении оскольчатых переломов костей нижних конечностей методом чрескостного остеосинтеза в сочетании с гирудотерапией (экспериментально-морфологическое исследование). Гений Ортопедии, 4. С. 14-18.
5. Борзунов Д. Ю., Петровская Д. Н., Чиркова А. М., 2001. Рентгено-морфологические аспекты ремоделирования костной ткани при замещении дефекта большеберцовой кости одновременным двухуровневым удлинением ее проксимального отломка (экспериментальное исследование). Гений ортопедии, 3. С.7-12.
6. Кожушко П. С., Язников С. А., 2014. Рентгено-морфологическая характеристика аваскулярного атрофического несращения отломков кости у собак карликовых пород. Оригинальные статьи, ортопедия, 2. С.28-29.
7. Кожушко П. С., Язников С. А., Кемельман Е.Л., 2014. Анатомические и биомеханические предпосылки возникновения переломов костей предплечья у собак карликовых пород. Оригинальные статьи, ортопедия, 3. С.22-25.
8. Борзунов Д. Ю., Петровская Д. Н., Чиркова А. М.

- Куфтырев Л. М., 2000. Рентгено-морфологическая характеристика костеобразования при замещении дефекта берцовых костей последовательным двух-уровневым удлинением проксимального отламка большеберцовой кости. *Гений ортопедии*, 1. С.72-76.
9. Борзунов Д. Ю., 2016. Ремоделирование большеберцовой кости при замещении дефекта берцовых костей палилокальным удлинением отламков по Г.А. Илизарову (экспериментальное исследование). *Биомедицинские исследования – том 8*, 1. С.64-72.
10. Костив Р.Е., Кабальк М. А., Невзорова В. А., Майстровская Ю. В., 2018. Рентгеноморфологическая характеристика области консолидации перелома трубчатой кости в условиях экспериментального остеопороза при использовании модифицированных имплантатов. *Вестник современной клинической медицины*, том 11, выпуск 4. С.140-149.
11. Дьячкова Г.В., 1992. Рентгеноконтрастное исследование мышц у больных с заболеваниями опорно-двигательной системы при лечении по Илизарову. *Библиотека диссертаций*. С.49
12. Соколова В. Н., Потрахов Н. Н., Грязнов А.Ю., Староверов Н. Е., Васильев А.Ю., 2017. Микрофокусная рентгенография для контроля положения электродной решетки при кохлеарной имплантации. *Биомедицинские исследования – том 9*, 3.С. 39-44.
13. Силантьева Т.А., Кочетков С.Ю., Ирьянов Ю.М., Кирсанов К.П., 2011. Репаративная регенерация при лечении центральных переломов вертлужной впадины с подвывихом головки бедра в условиях применения метода чрескостного остеосинтеза. *Гений ортопедии*, 1. С.98-103
14. Нетьлько Г.И., Румакин В.П., Конев В.А., 2014. Экспериментальное моделирование костного дефекта со склерозированной стенкой. *Гений ортопедии*, 3. С.72-76
15. Степанов М. А., Кононович Н. А., Горбач Е. Н., 2010. Репаративная регенерация костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного дистракционного остеосинтеза. *Гений ортопедии*, 3. С. 89-94.