

УДК 616.728.3–007.248–073.756.8

## ВОЗМОЖНОСТИ НЕПРЯМОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДЕНСИТОМЕТРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РЕНТГЕНОГРАММ В ОЦЕНКЕ ГОНАРТРОЗА

Осипова Е.В., Чегуров О.К., Матвеева Е.Л., Гасанова А.Г.

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»  
им. акад. Г.А. Илизарова Минздрава России», Курган, e-mail: office@ilizarov.ru

С помощью непрямой компьютерной денситометрии изображений рентгенограмм изучена динамика средней оптической плотности (СрОП) теней эпифизов и метафизов бедренной и большеберцовой костей при гонартрозе. СрОП тени эпифиза увеличивалась, а тени метафиза уменьшалась в зависимости от нарастания дегенеративно-дистрофического поражения суставов. У пациентов с компенсированной и субкомпенсированной формами гонартроза в эпифизе бедренной и большеберцовой костей преобладали слабо- и среднеминерализованные, с декомпенсированной формой – средне- и высокоминерализованные структуры. В метафизе бедренной кости у пациентов всех групп преобладали слабоминерализованные структуры. В метафизе большеберцовой кости у пациентов с компенсированной и декомпенсированной формами гонартроза преобладали среднеминерализованные, с субкомпенсированной формой – высокоминерализованные структуры.

**Ключевые слова:** гонартроз, непрямая компьютерная денситометрия изображений рентгенограмм.

## THE POTENTIAL OF INDIRECT COMPUTED DENSITOMETRY OF X-RAY IMAGES IN GONARTHROSIS ASSESSMENT

Osipova E.V., Chegurov O.K., Matveeva E.L., Gasanova A.G.

FSBI «Russian Ilizarov Scientific Center “Restorative Traumatology and Orthopaedics”  
of the RF Ministry of Health», Kurgan, e-mail: office@ilizarov.ru

The dynamics of the mean optical density (MOD) of femoral and tibial epiphyses and metaphyses shadows for gonarthrosis has been studied using indirect computed densitometry of X-ray images. MOD of epiphysis shadow increased, while that of metaphysis shadow – decreased depending on progressing the degenerative-and-dystrophic involvement of the joints. The structures of low and mean mineralization degree prevailed in femoral and tibial epiphyses of patients with compensated and subcompensated form of gonarthrosis, and those of mean and high mineralization degree – in patients with gonarthrosis decompensated form. The structures of low mineralization degree prevailed in femoral metaphysis of patients from all groups. The structures of mean mineralization degree prevailed in tibial metaphysis of patients with compensated and decompensated gonarthrosis forms, and those of high mineralization degree prevailed in patients with subcompensated gonarthrosis form.

**Keywords:** gonarthrosis, indirect computed densitometry of X-ray images.

### Введение

В настоящее время для диагностики, оценки динамики заболевания и эффективности лечения гонартроза применяется широкий спектр методов исследования: магнитно-резонансная и количественная компьютерная томография, остеосцинтиграфия, ультразвуковая денситометрия, артроскопия [1]. Для каждого из этих методов характерна как хорошая воспроизводимость результатов, так и определенная специфичность. Однако в большинстве случаев традиционная рентгенография остается одним из основных методов исследования, что связано с его доступностью в условиях практического использования [1, 6]. В тоже время визуальная рентгенологическая оценка, как правило, субъективна и в значительной мере зависит от квалификации и опыта врача.

В последние годы в нашей стране и за рубежом активно разрабатывается и используется программное обеспечение для обработки и анализа цифровых изображений, в том числе и рентгенограмм, позволяющее

получать количественные и качественные критерии оценки в диагностике и научных исследованиях у пациентов с заболеванием опорно-двигательного аппарата [8].

**Цель нашего исследования** – изучить возможность использования метода непрямой компьютерной денситометрии изображений рентгенограмм для количественной оценки остеоартрозного процесса.

### Материалы и методы

С помощью метода непрямой компьютерной денситометрии на аппаратно-программном комплексе «ДиаМорф» (Россия, г. Москва, регистрационное удостоверение МЗ РФ № 98 / 219 – 137) [4] анализировали изображения рентгенограмм, выполненные в 2-х стандартных переднезадней и боковой проекциях. Исследовано 68 изображений рентгенограмм коленного сустава 37 пациентов (13 мужчин и 24 женщин) в возрасте от 20 до 78 лет. Пациенты, в соответствии с клинико-рентгенологической классификацией гонартроза [3], разработанной в лаборатории патологии суставов РНЦ «ВТО» и отражающей стадии дегенеративно-дистрофического поражения сустава, были разделены на три группы:

1 группа – пациенты с компенсированной формой гонартроза (n=3);

2 группа – пациенты с субкомпенсированной формой гонартроза (n=11);

3 группа – пациенты с декомпенсированной формой гонартроза (n=23).

После оцифровки изображений рентгенограмм для увеличения четкости контуров суставных концов бедренной и большеберцовой костей выполняли высокочастотную фильтрацию, оконтуривали тени эпифиза и метафиза, исключая тень надколенника. Полученный контур копировали на исходное изображение (не повергавшееся фильтрации), удаляли изображение, находящееся вне контура, в результате чего на экране оставался фрагмент изображения (эпифиз или метафиз), подлежащий анализу. После бинарной сегментации и идентификации изображения измеряли заданные параметры – площадь и среднюю интенсивность (яркость) выделенного участка. Затем в автоматическом режиме выполняли 3-х уровневую сегментацию, позволяющую выделить и измерить в выделенном участке площади, занимаемые структурами с различной степенью минерализации (неминерализованные, слабоминерализованные, среднеминерализованные, высокоминерализованные) [9].

С учетом оптической калибровки в табличном редакторе «Microsoft Excel – 2010» рассчитывали среднюю оптическую плотность (СрОП) выделенных объектов по формуле:

$$OD_i = \lg ((I_i - I_m) / I_o),$$

где  $OD_i$  – оптическая плотность  $i$ -го элемента изображения;

$I_i$  – интенсивность  $i$ -го элемента изображения;

$I_m$  – средняя интенсивность тени мягких тканей

$I_o$  – средняя интенсивность фона.

В площади исследуемого участка, которую принимали за 100%, определяли доли структур с различной степенью минерализации и их соотношение. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы «Microsoft Excel – 2010» и программного обеспечения для анализа и обработки данных «AtteStat» Версия 1.0, [2]. Для оценки статистической значимости различий средних и медиан, в зависимости от нормальности распределения, использовали критерии Стьюдента и Вилкоксона. Различия между группами считали существенными при  $p < 0,05$ .

## Результаты исследования и их обсуждение

Анализ результатов исследования показал, что СрОП теней эпифизов бедренной и большеберцовой костей увеличивалась в зависимости от стадии дегенеративно-дистрофического поражения суставов (рис. 1). Несмотря на то, что у пациентов с компенсированной и субкомпенсированной формами гонартроза плотность тени эпифиза большеберцовой кости была выше плотности эпифиза бедренной кости, нарастание изменений в последней имело более выраженный характер. Об этом свидетельствует, то, что у пациентов с декомпенсированной формой СрОП эпифизов бедра и большеберцовой костей была уже практически одинаковой. Данный факт подтверждают и значения коэффициента линейного тренда, характеризующего скорость развития патологического процесса, а также показатели СрОП эпифиза бедра, которые значимо увеличивались у пациентов с декомпенсированной формой гонартроза по сравнению с компенсированной ( $p=0,003$ ) и субкомпенсированной ( $p=0,02$ ).

Изменение показателей СрОП тени эпифизов определяли соотношения структур с различной степенью минерализации. Если у пациентов с компенсированной и субкомпенсированной формами гонартроза в эпифизе бедренной и большеберцовой костей преобладали структуры соответствующие слабо- и среднеминерализованным, то у пациентов с декомпенсированной формой – средне- и высокоминерализованным (рис. 2).

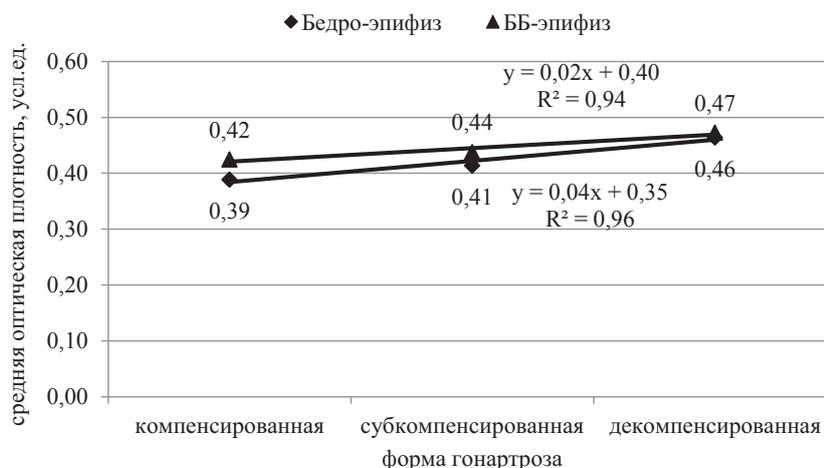


Рис. 1. Динамика СрОП теней эпифизов бедренной (Б) и большеберцовой (ББ) костей на изображениях рентгенограмм

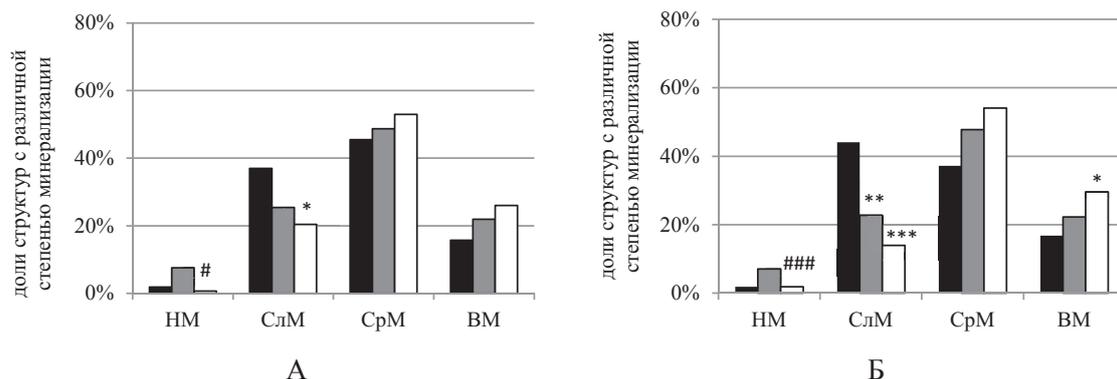


Рис. 2. Соотношение структур с различной степенью минерализации в эпифизах бедренной (А) и большеберцовой (Б) костей.  
 ■ – компенсированная; ■ – субкомпенсированная; □ – декомпенсированная  
 НМ – неминерализованные; СлМ – слабоминерализованные;  
 СрМ – среднеминерализованные; ВМ – высокоминерализованные  
 Различия значимы по сравнению с 1 группой: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ .  
 Различия значимы по сравнению со 2 группой: # $p < 0,05$ ; ## $p < 0,01$ ; ### $p < 0,001$

СрОП тени метафиза также зависела от стадии дегенеративно-дистрофического поражения суставов, однако по сравнению с эпифизом она не увеличивалась, а снижа-

лась. При этом плотность метафиза большеберцовой кости у пациентов всех групп была значимо выше плотности метафиза бедренной кости (рис. 3).

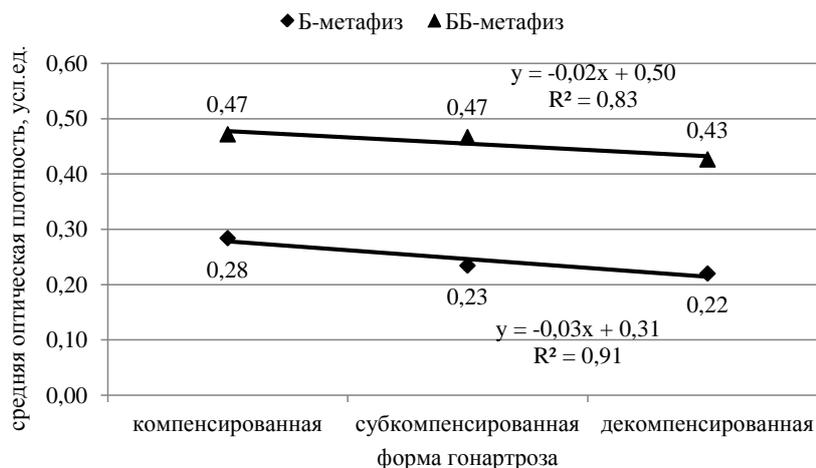


Рис. 3. Динамика СрОП теней метафизов бедренной (Б) и большеберцовой (ББ) костей на изображениях рентгенограмм

В метафизе бедренной кости у пациентов всех групп преобладали структуры соответствующие слабоминерализованным, их доля составляла более 60% (рис. 4 А). В зависимости от стадии заболевания отмечено увеличение доли структур соответствующих неминерализованным и уменьшение долей структур соответствующих средне- и высокоминерализованным.

В метафизе большеберцовой кости наблюдали иное соотношение минерализованных структур (рис. 4 Б). У пациентов с

компенсированной и декомпенсированной формами гонартроза преобладали структуры соответствующие среднеминерализованным, у пациентов с субкомпенсированной формой – высокоминерализованным. Во всех группах суммированные доли средне- и высокоминерализованных структур в 2-3,5 раза были выше соответствующих показателей метафиза бедра, что и объясняет более высокие значения СрОП тени метафиза большеберцовой кости на изображениях рентгенограмм.

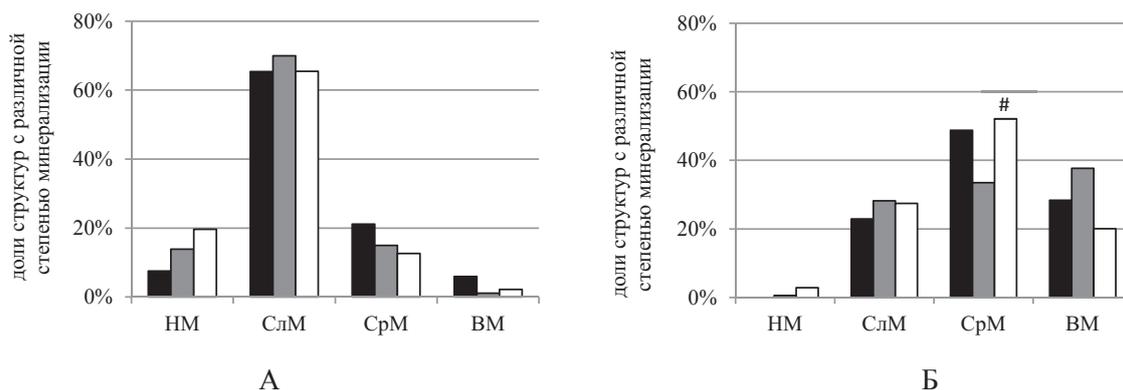


Рис. 4. Соотношение структур с различной степенью минерализации в метафизах бедренной (А) и большеберцовой (Б) костей.

■ – компенсированная; ■ – субкомпенсированная; □ – декомпенсированная  
 НМ – неминерализованные; СлМ – слабоминерализованные;  
 СрМ – среднеминерализованные; ВМ – высокоминерализованные  
 Различия значимы по сравнению со 2 группой: # $p < 0,05$

Известно, что при гонартрозе деструктивно-дистрофические изменения происходят как в хрящевых, так и в костных структурах. Неравномерное распределение механической нагрузки на суставные поверхности костей приводит к сочетанию разных морфологических стадий, с чем связано несоответствие рентгенологических изменений гистологическим [7]. В ненагружаемых участках происходит истончение и спонгиозация субхондральной кости. В нагружаемых участках, напротив, полное отсутствие хрящевого покрова способствует возникновению субхондрального склероза, проявляющегося в виде утолщения субхондральной костной пластинки и костных трабекул, кортикализации губчатого вещества.

Мы считаем, что именно данные изменения приводят к увеличению СрОП тени эпифиза, связанного с преобладанием структур соответствующих высокоминерализованным, на изображениях рентгенограмм. Снижение СрОП теней метафиза вероятно связано с остеопеническим синдромом, обусловленным недостатком двигательной активности, сопутствующей остеоартрозу [6]. Кроме того, изменение анализируемых параметров зависит от минеральной плотности костной ткани и ее микроархитектоники.

Так, при исследовании методом магнитно-резонансной томографии статических параметров, характеризующих объем и микроархитектонику губчатой кости установлены значимые различия между показателями дистального отдела бедренной кости и проксимального отдела большеберцовой

кости, которые уменьшаются в зависимости от стадии заболевания [10].

Зависимость минеральной плотности костной ткани (МПКТ) при гонартрозе от стадии заболевания недостаточно изучена. Как правило, исследования ограничиваются определением МПКТ в эпифизарной зоне суставов [5]. И лишь единичные исследования посвящены определению минеральной плотности метафизов или метадиафизов [3]. Результаты этих исследований свидетельствуют о более низкой МПКТ дистального метадиафиза бедренной кости по сравнению с проксимальным метадиафизом большеберцовой кости, а также ее зависимость от стадии гонартроза.

#### Заключение

Таким образом, при компьютерном анализе изображений рентгенограмм пациентов с гонартрозом установлена зависимость изменения СрОП и соотношения структур с различной степенью минерализации в эпифизе и метафизе от стадии заболевания. Результаты не прямой компьютерной денситометрии изображений рентгенограмм совпадают с данными литературы, полученными другими методами [3, 5, 10]. Учитывая, что рентгенологическое исследование остается ведущим в диагностике гонартроза, а динамика рентгенологических изменений отличается медленным темпом, метод не прямой компьютерной денситометрии может быть использован для получения дополнительной объективной информации, отражающей стадию заболевания.

**Список литературы**

1. Бадочкин В.В. Остеоартроз коленного сустава: клиника, диагностика, лечение // Современная ревматология. – 2013. – № 3. – С.70-75.
2. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. – СПб.: ВХВ Петербург, 2004. – 505 с.
3. Гонартроз: альтернативные методы оперативного лечения / под ред. В.Д. Макушина. – Курган: Зауралье, 2010. – 625 с.
4. ДиаМорф-Сито: Интегрированный пакет прикладных программ анализа изображений: Руководство пользователя. Версия 1.1. Книга 2. – М., 1995. – 179 с.
5. Зайцева Е.М., Смирнов А.В., Алексеева Л.И. Оценка минеральной плотности костной ткани субхондральных отделов бедренной и большеберцовой костей при гонартрозе // Научно-практическая ревматология. – 2005. – № 1. – С. 27-30.
6. Коваленко В.Н., Борткевич О.П. Остеоартроз. Практическое руководство. – К.: Морион, 2003. – 448 с.
7. Семенова Л.А., Раденска-Лоповок С.Г., Алексеева Л.И. Морфологическая характеристика остеоартроза // Архив патологии. – 2010. – Т. 72, № 2. – С. 47-51.
8. Слободской А.Б. Возможности современных компьютерных технологий в травматологии и ортопедии (обзор литературы) // Анналы травматологии и ортопедии. – 2002. – №1. – С. 64-70.
9. Шевцов В.И., Щудло М.М., Щудло Н.А. и др. Компьютерная томография, трехмерная реконструкция и стереологический анализ distractionного регенерата // Гений Ортопедии. – 1998. – № 4. – С. 42-51.
10. Beuf O., Ghosh S., Newitt DC et al. Magnetic resonance imaging of normal and osteoarthritic trabecular bone structure in the human knee // Arthritis Rheum. – 2002. – № 46 (2). – P. 385-393.