

И. Г. Герасимов (д-р.биолог.наук, старший научный сотрудник),
К. В. Бабичев (магистрант)

Донецкий национальный технический университет
iggerasim@mail.ru

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПО РЕНТГЕНОВСКОМУ СНИМКУ

Разработана специализированная компьютерная система (СКС) для определения минеральной плотности костной ткани (МПКТ) с использованием рентгеновского снимка участка костной ткани в двух проекциях и произвольного шаблона плотности и длины. Полученные с помощью СКС результаты определения МПКТ хорошо согласуются с литературными данными.

минеральная плотность костной ткани, шаблон плотности и длины

Введение

Минеральная плотность костной ткани (МПКТ) является важным критерием в диагностике заболеваний костной ткани, в частности остеопороза, хондром разной этиологии и других. Для определения МПКТ применяют различные неинвазивные методы. В настоящее время инструментальное определение МПКТ основано на проведении изотопной денситометрии или рентгеновской денситометрии (моно- и двухфотонная денситометрия, моно- и двухэнергетическая денситометрия), компьютерной томографии или ультразвуковых исследований [1].

Все перечисленные методы основаны на получении физических характеристик костной ткани и сравнении найденных экспериментально величин с эталонными значениями. В то же время такое определение МПКТ требует применения специального оборудования – приборов, снабженных соответствующими измерительными блоками, которые, во-первых, дорогостоящие, и, во-вторых, позволяют определять МПКТ лишь в ограниченных отделах скелета.

По таким причинам, разработка безаппаратного метода определения МПКТ, основанного на анализе рентгеновского снимка, представляется актуальной. Необходимым внешним условием для достижения поставленной цели является наличие на рентгеновском снимке одновременно с интересующим участком костной ткани объекта, представляющего собой эталон плотности. При этом эталон плотности является и масштабирующим элементом. Другим важным внешним условием для достижения указанной цели является получение указанного снимка с участка костной ткани, рассмотренного в двух проекциях. Соблюдение оговоренных условий позволяет достичь цели определения МПКТ с помощью разработки

специализированной компьютерной системы [2]. Однако, описанная компьютерная система имеет ряд недостатков. В частности с ее помощью, при анализе рентгеновских снимков, за исключением единственного стандартного шаблона, нет возможности оперативно использовать, другие шаблоны, отличные от заданного. Это связано с тем, что разработанная система предназначена для работы со ступенчатым шаблоном, плотность ступеней которого изменяется на постоянную величину. Кроме того, обсуждаемая система не позволяет автоматически учитывать толщину участка костной ткани, на котором определяется ее минеральная плотность.

В связи со сказанным, необходимо разработать специализированную компьютерную систему, лишенную перечисленных недостатков.

Постановка задач исследования

С целью разработки специализированной компьютерной системы для определения МПКТ по рентгеновскому снимку участка костной ткани, расположенного в двух проекциях с использованием произвольного шаблона плотности необходимо решить следующие задачи:

- 1) модифицировать существующий метод определения МПКТ по рентгеновскому снимку за счет использования произвольного шаблона;
- 2) разработать и апробировать соответствующую математическую модель определения МПКТ;
- 3) спроектировать программное обеспечение специализированной компьютерной системы.

Результаты исследования и их обсуждение

Костная ткань на 98 % состоит из фосфата кальция, который определяют МПКТ и который при прохождении через него рентгеновских лучей задерживает их примерно на 95 %. Следовательно, степень почернения рентгеновской пленки находится в обратной зависимости от МПКТ. Таким образом, степень почернения рентгеновской пленки может быть поставлена в соответствие МПКТ [3]. Плотность костной ткани можно определить путем анализа оптической плотности изображения на рентгеновском снимке и сопоставления найденной плотности с эталонной. Кроме того, необходимо рассчитать толщину интересующего участка костной ткани, найденной по изображению, полученному в другой проекции.

Оптическую плотность фрагмента оцифрованного изображения легко определить по средней яркости пикселей, составляющих этот фрагмент. Яркость любого пикселя черно-белого изображения выражается в номере градации серого в диапазоне от 0 до 255 (от черного до белого цвета) [4]. Для подсчета физической плотности исследуемого участка костной ткани необходимо пересчитать значение оптической плотности в физические единицы измерения. Последнее проще всего сделать путем сравнения с какой-либо шкалой яркости, характеристики которой известны. В качестве

таковой удобно использовать алюминиевый шаблон, применяемый в методе эталонной рентгеноденситометрии [5-7].

В качестве эталона использован шаблон, изготовленный из алюминия, плотность которого близка плотности костной ткани [5]. Анализировали рентгеновские снимки кисти (19 мужчин, возраст 18-45 лет). На рентгеновском снимке ступени шаблона выглядят следующим образом: наиболее тонкая (первая) оказывается наиболее темной, а наиболее толстая (последняя) – наиболее светлой. Соответственно, чем светлее анализируемая область изображения, тем выше МПКТ исследуемого участка.



Рисунок 1 – Фрагмент экранной формы с изображением рентгеновского снимка участка костной ткани (кисть человека), алюминиевого шаблона (слева) и результат калибровки плотности его ступеней (числа справа)

Изображение в двух проекциях участка костной ткани на одном снимке получают путем поворота исследуемого участка (фронтальная проекция) на 90° относительно источника излучения (сагиттальная проекция), положение шаблона не изменяют, а рентгеновскую кладут таким образом, чтобы сагиттальная проекция оказалась на месте, не занятом изображением фронтальной (рис. 2).

Расчет оптической плотности анализируемого участка костной ткани – задача тривиальная [2]. Она решается путем его выделения, например, с помощью мыши и расчета в выделенной области средней яркости (рис. 2а). Определив оптическую плотность изображения анализируемого участка, необходимо сопоставить полученное значение с оптической плотностью изображения градуированного шаблона и определить номер ступени, оптическая плотность которой наиболее близка к таковому значению для объекта.

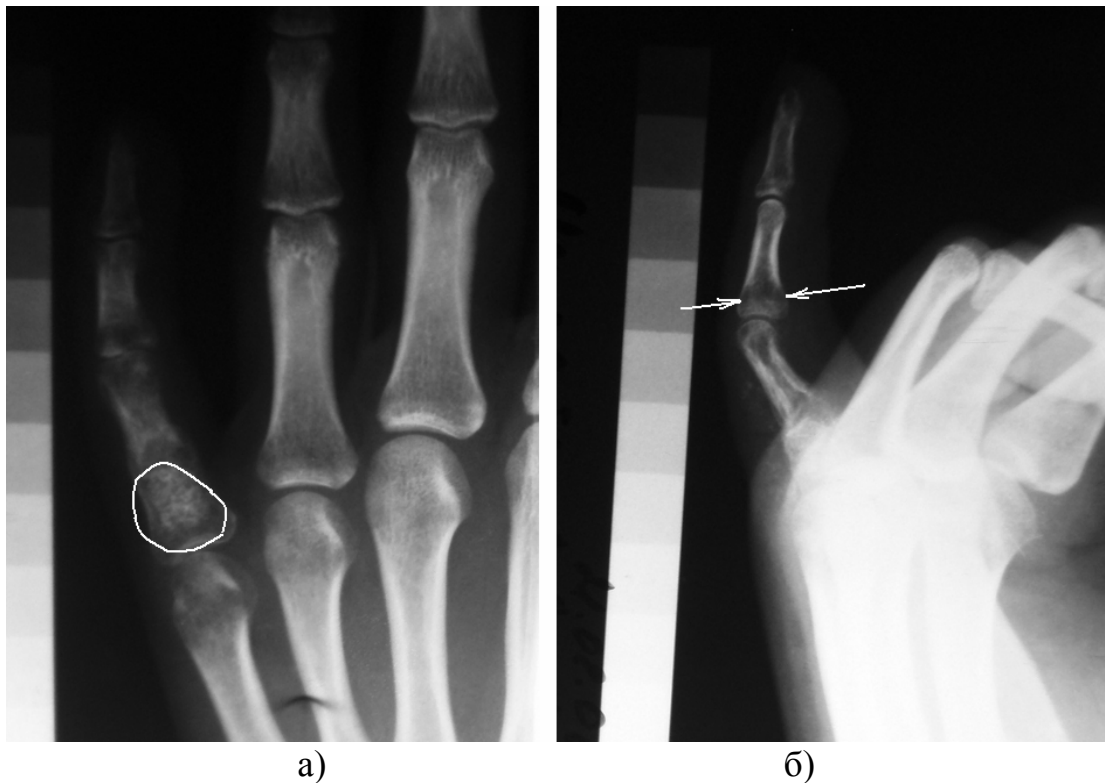


Рисунок 2 – Рентгеновский снимок кисти человека в двух проекциях с шаблоном: а) фронтальная проекция с выделенным исследуемым участком костной ткани; б) сагиттальная проекция с указанием фрагмента изображения, по которому определяется толщина исследуемого участка костной ткани

Задача нахождения плотности в физических единицах измерения участка костной ткани решается последовательно следующим образом. Поскольку толщина каждой ступени шаблона известна и выражена в единицах длины, ее можно с помощью программных средств соотнести с оптической плотностью соответствующих ступеней на рентгеновском снимке (рис. 1, слева).

Запишем следующее условие равенства:

$$\rho_K \times d_K = \rho_A \times d_A, \quad (1)$$

где ρ_K – плотность костной ткани, мг/мм³;

$\rho_A = 2,65$ мг/мм³ – плотность алюминия, из которого изготовлен шаблон;

d_A – толщина соответствующей ступени шаблона, мм;

d_K – толщина исследуемого участка кости, мм.

Откуда:

$$\rho_K = (\rho_A \times d_A) / d_K. \quad (2)$$

По рентгеновскому снимку сагиттальной проекции участка костной ткани определяется толщина интересующего фрагмента, выраженная в пикселях. Время экспозиции, мощность излучения и расстояние до анализируемого участка костной ткани не изменяется. По такой причине,

поворот участка костной ткани не влияет на качество снимка. Последнее обуславливает правомерность сопоставления значений параметров, вычисленных по изображению участка костной ткани и шаблона. Для пересчета толщины участка костной ткани из пикселей в физические единицы длины (мм) необходимо воспользоваться следующим соотношением между физическим размером ступени шаблона и ее размером на рентгеновском снимке:

$$n = L'/L, \quad (3)$$

где L – физическая ширина ступени шаблона, мм;

L' – ширина ступени шаблона на снимке, пиксели.

Для определения количества пикселей на единицу длины изображения используется шаблон, линейные размеры которого известны:

$$d_K = d_K'/n, \quad (4)$$

где d_K' – толщина исследуемого участка кости на снимке, пиксели.

Подставляя (4) в (2), приходим к формуле для расчета минеральной плотности фрагмента костной ткани по ее изображению на рентгеновском снимке, полученном в двух проекциях с использованием известных физических (плотность) и геометрических (размер ступени) параметров шаблона:

$$\rho_K = (\rho_A \times d_A \times n) / d_K'. \quad (5)$$

Следовательно, для определения плотности костной ткани в физических единицах измерения, необходимо соотнести толщину анализируемого участка с физической длиной, ступени шаблона. Для этого на изображении шаблона с помощью мыши проводят отрезок длиной, равной длине ступени шаблона. Результат такого масштабирования приведен на рис. 3. С другой стороны, с помощью программных средств на снимке в сагиттальной указывают толщину анализируемого участка костной ткани проекции (рис. 2б).

С помощью разработанного программного обеспечения рассчитана МПТК мизинца кисти левой руки мужчин (18 – 45 лет), которая составила $\rho_K = 1,60 \pm 0,41$ мг/мм³, что хорошо согласуется с данными литературы.



Рисунок 3 – Результат масштабирования рентгеновского снимка. На изображении шаблона (справа) вертикальной линией показан отрезок единичной длины, полученный с помощью мыши

Выводы

1. Предложен метод определения минеральной плотности костной ткани по рентгеновскому снимку с использованием произвольного шаблона плотности и масштаба длины;
2. Разработана математическая модель определения минеральной плотности костной ткани по рентгеновскому снимку исследуемого участка костной ткани в двух проекциях, на основе которой реализован соответствующий алгоритм.
3. Спроектировано программное обеспечение специализированной компьютерной системы, реализующее алгоритм определения минеральной плотности костной ткани с помощью разработанной математической модели.

Список литературы

1. Франке Ю. Остеопороз / Ю. Франке, Г. Рунге // М.: Медицина, 1995. – 300 с.
2. Герасимов И. Г. Определение минеральной плотности костной ткани по рентгеновскому снимку / И. Г. Герасимов, О. В. Ломовцева, Н. А. Борзых // Наук. праці Донецького держ. техніч. ун-ту. Сер.: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2008. – Вип. 14. – С. 84 – 89.
3. Тайц Н. С. Определение минеральной насыщенности костей методом рентгенофотометрии / Н. С. Тайц, Л. К. Лукаш // Вестн. рентгенол. – 1969. – № 3. – С. 22 – 25.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: в 2-х томах. : пер. с англ. / У. Прэтт. – М.: Мир, 1982. - Т. 1. – 312 с.

5. Вайншенкер Г. А. Измерение степени декальцинации кости по рентгенограмме / Г. А. Вайншенкер // Ортопед. и травматол. – 1967. – № 2. – С. 89 – 92.
6. Корнев М. А. Эталонная линейная рентгеноденситометрия как метод прижизненного определения минеральной насыщенности костной ткани / М. А. Корнев // Арх. анат. – 1977. – Т. 62, Вып. 6. – С. 58 – 61.
7. Рыбакова И. И. Микрофотометрия в оценке изменений скелета при миеломной болезни / И. И. Рыбакова, Н. Б. Рассохин, И. И. Галиакберов // Вестн. рентгенол. – 1969. – № 6. – С. 17 – 21.

Надійшла до редакції 10.11.2010

Рецензент: канд.техн.наук, доц. Ярошенко А.Н.

І. Г. Герасимов, К. В. Бабічев

Донецький національний технічний університет

Комп'ютерна система для визначення мінеральної щільності кісткової тканини по рентгенівському знімку. Розроблена спеціалізована комп'ютерна система (СКС) для визначення мінеральної щільності кісткової тканини (МПКТ) з використанням рентгенівського знімку ділянки кісткової тканини в двох проекціях и призвільного шаблону щільності та довжини. Отримані за допомогою СКС результати визначення МПКТ добре узгоджуються з літературними даними.

мінеральна щільність кісткової тканини, шаблон щільності та довжини

I. G. Gerasimov, K. V. Babichev

Donetsk National Technical University

Computer System for Definition of Mineral Density of Bone Tissue on X-Ray Pictures. The special computer system (SKS) for definition of mineral density of bone tissue(MDBT) with the use of X-ray picture of a bone tissue area in two projections and any template of density and length is developed. The results of defining MDBT obtained by means of SKS correspond to literary data.

mineral density of bone tissue, density and length template