

УДК 616.71-007.234-053.2-07

С.В. МАЛЬЦЕВ¹, В.И. ВОРОНОВ², Т.В. КОЛЕСНИЧЕНКО¹

¹Казанская государственная медицинская академия, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 36

²Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева (КНИТУ–КАИ), 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

Использование компьютерного анализа пленочных рентгенограмм для определения минеральной плотности костной ткани новорожденных детей

Мальцев Станислав Викторович — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой педиатрии с курсом поликлинической педиатрии, тел. (843) 236–20–84, e-mail: maltc@mail.ru¹

Воронов Виктор Иванович — доктор технических наук, профессор кафедры радиоэлектронных и квантовых устройств, тел. (843) 238–40–67, e-mail: vvi-kai@mail.ru²

Колесниченко Татьяна Викторовна — соискатель кафедры педиатрии с курсом поликлинической педиатрии, тел. (843) 236–20–84, e-mail: tatianav1978@mail.ru¹

Оценка минеральной плотности кости (МПК) и выявление остеопении и остеопороза у детей младших возрастных групп имеет особое значение, поскольку патология костной массы в этом возрасте играет определяющую роль в течение всего последующего развития ребенка. В статье представлено описание программы (X-Ray Analysis), разработанной авторами для измерения МПК по цифровым рентгенограммам отсканированных пленочных снимков, получаемых на рентгеновских аппаратах общего назначения. Результаты измерений рентгенограмм позволили выявить отличия МПК между двумя группами обследованных новорожденных.

Ключевые слова: минеральная плотность кости у детей, остеопения, остеопороз, компьютерный анализ цифровых рентгенограмм.

S.V. MALTSEV¹, V.I. VORONOV², T.V. KOLESNICHENKO¹

¹Kazan State Medical Academy, 49 Butlerov St., Kazan, Russian Federation 420012

²Tupolev Kazan National Research Technical University (KNRTU–KAI), 10 K. Marks St., Kazan, Russian Federation 420111

Using computer analysis of film X-ray patterns for determining of bone mineral density in new-born children

Maltsev S.V. — D. Med. Sc., Professor, Head of the Department of Pediatrics with a course of outpatient pediatrics, tel. (843) 236–20–84, e-mail: maltc@mail.ru¹

Voronov V.I. — Doctor of Engineering, Professor of the Department of radio–electronic and quantum devices, tel. (843) 238–40–67, e-mail: vvi-kai@mail.ru²

Kolesnichenko T.V. — Candidate of the Department of pediatrics with a course outpatient pediatrics, tel. (843) 236–20–84, e-mail: tatianav1978@mail.ru¹

Evaluation of bone mineral density (BMD) and detection of osteopenia and osteoporosis in children of younger age groups are of particular importance, because pathology of bone mass at that age plays a crucial role throughout the evolution of the child. The article presents the description of the program (X-Ray Analysis), developed by the authors to measure BMD by digitized radiographs of scanned film images from X-ray equipment of general purpose. The measurement results of radiographs revealed differences of BMD between two groups of surveyed newborns.

Key words: bone mineral density in children, osteopenia, osteoporosis, computer analysis of digital radiographs.



Одной из проблем педиатрии продолжает оставаться проблема остеопении и остеопороза, которые встречаются у детей всех возрастов. Особое значение эта проблема имеет у детей младших возрастных групп, поскольку недостаток или избыток костной массы в этом возрасте играет определяющую роль в течение всего последующего развития ребенка. Примерно 80% пиковой костной массы генетически детерминировано, и только 20% определяются факторами образа жизни. Учитывая, что все периоды детства (особенно младенчество и подростковый период) являются важными для формирования костной ткани, возникает необходимость иметь оптимальные методы измерения минеральной плотности кости (МПК) для клинических и исследовательских целей, расширения возможностей костной денситометрии у детей [1].

Главным показателем остеопении и остеопороза считается величина минеральной плотности кости, которая является основным параметром известных критериев костной патологии у детей (Z-критерий) и взрослых (T-критерий). Для определения МПК в основном используются следующие методы [2]: двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (dual-energy X-ray absorptiometry — DEXA), метод компьютерной количественной томографии (ККТ), метод рентгеновской денситометрии и метод ультрасонометрии (количественное ультразвуковое исследование). Анализ публикаций свидетельствует о том, что все эти методы имеют ряд недостатков. В частности определение МПК каждым из методов требует наличия современного и достаточно дорогостоящего оборудования. Кроме того, данные по плотности костной ткани, полученные различными методами, не всегда сравнимы между собой, поскольку имеют различный физический смысл, различные численные значения, а также несопоставимую размерность. Так, например, размерность МПК, получаемая методами DEXA и рентгеновской денситометрии, выражается в $г/см^2$ (количество эквивалента минеральной плотности кости — гидроксипатита кальция, приходящегося на единицу площади поперечного сечения просвечиваемого материала). В методе ККТ определяется, по сути дела, физическая объемная плотность костной ткани, характеризующаяся размерностью $г/см^3$ (масса костной ткани, приходящаяся на единицу объема). Ультрасонометрия оперирует скоростью распространения ультразвуковой волны в кортикальном слое кости, и измеряемые данные имеют размерность м/с (метр в секунду). Именно по этой причине в 1994 году рабочей группой ВОЗ было решено диагностировать снижение МПК на основании универсального критерия (Z-критерия у детей), выраженного в единицах стандартного отклонения (SD), единого для всех методов костной денситометрии.

Следует также отметить, что при диагностике костной патологии у детей имеются известные ограничения по дозе рентгеновского излучения так, что сравнение в этом отношении методов DEXA и метода рентгеновской денситометрии оказывается в пользу последнего, поскольку пациент при использовании метода DEXA подвергается облучению в течение достаточно длительного периода времени (3-4 минуты [3]), а при использовании метода рентгеновской денситометрии эта операция выполняется одновременно.

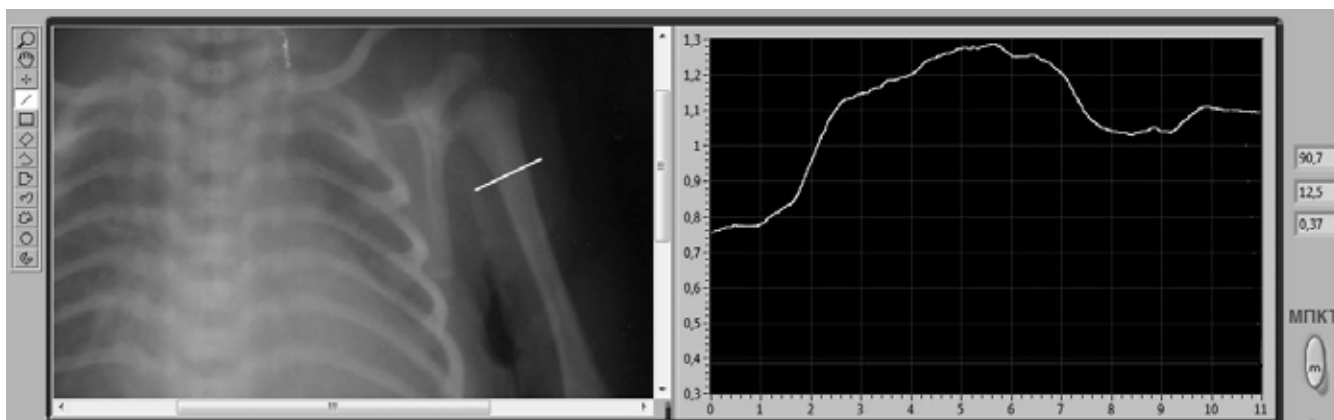
В клинической практике в нашей стране, особенно в сельских лечебных заведениях, не оснащенных современными аппаратами для DEXA, ККТ или ультрасонометрии, но имеющих стандартное рентгеновское оборудование, часто требуется оценка минеральной плотности костной ткани по рентгеновским снимкам, что можно реализовать на основе денситометрических

измерений. В этом случае МПК оценивается по степени почернения участков рентгеновской фотопленки в характерных областях интереса. Однако степень почернения зависит не только от плотности материала кости, но и от значительного числа дополнительных факторов. Главными из них являются интенсивность рентгеновского излучения источника, характерные свойства самой рентгеновской фотопленки, в частности ее контрастность и чувствительность к рентгеновскому излучению, условия последующей обработки в проявляюще-закрепляющих растворах, химический состав и чистота растворов, температура обработки и ряд других факторов, меняющихся от снимка к снимку.

На практике проконтролировать влияние всех вышеупомянутых факторов, действующих на пленку в конкретном сеансе получения рентгеновского изображения, не представляется возможным. Поэтому для их, по сути дела, компенсационного учета используют различные калибровочные элементы — тест-фантомы, располагаемые при получении рентгенограмм рядом с диагностируемым объектом [4]. В рентгеновских аппаратах общего назначения в качестве калибровочных элементов используют тест-фантомы в виде ступенчатых клиньев, выполненных из материала, поглощающего рентгеновское излучение. Высота каждой ступени в направлении прохождения рентгеновского излучения определяет степень почернения рентгеновской пленки для области, соответствующей этой ступени. Эквивалентное значение МПК для каждой ступени при известном материале клина можно найти либо расчетным методом [5], либо экспериментально на аттестованных денситометрах. Таким образом, сравнивая степень почернения ступеней с почернением областей на рентгеновском изображении диагностируемого медицинского объекта можно определить МПК для этих областей.

Современная компьютерная техника позволяет проводить сравнение степени почернения участков тест-фантома с областями на рентгеновском снимке с помощью компьютерных программ. С этой целью снимок сканируется, оцифровывается и вводится в программу. Однако стандартные медицинские программы, с помощью которых можно выполнить оценку МПК по снимкам, получаемым с помощью рентгеновской аппаратуры общего назначения, производителями такого оборудования не выпускаются. Тем не менее информация по использованию подобных программных средств имеется в ряде публикаций. В частности в работах С.В. Мальцева и Н.В. Зиятдиновой [6, 7] с помощью компьютерной программы проводилась оценка МПК у детей с костной патологией, обусловленной различными формами рахита. Информация о разработке подобной программы представлена также в работе [8]. Однако в указанных работах сопоставление степени почернения различных участков изображения с соответствующим почернением ступеней тест-фантома осуществлялось, по сути, визуальное, что снижает точность получаемых результатов.

Нами разработана программа — X-Ray Analysis, которая позволяет в автоматическом режиме определить значения МПК не только в конкретной точке, но и вдоль трассы, указанной оператором на снимке, а также в области произвольной формы, ограниченной кусочно-ломаной замкнутой линией. Первый вариант программы для использования в OS Windows 95/98 описан в [9]. В настоящее время более функциональная версия программы, разработанной в системе LabView для OS Windows 7, используется на кафедре педиатрии с курсом поликлинической педиатрии КГМА при проведении научных исследований.

Рисунок.**Результат работы программы при измерении МПК вдоль линейной трассы**

Методика оценки МПК с помощью данной программы сводится к следующему. При получении рентгеновского изображения объекта тест-фантом располагают рядом с диагностируемым объектом. На рентгеновской пленке одновременно фиксируется изображение объекта и изображение тест-фантома. Поэтому все факторы, влияющие на денситометрические свойства пленки (в том числе и на степень почернения), одинаковым образом будут влиять и на изображение объекта, и на изображение тест-фантома. После стандартной процедуры химической обработки и сушки рентгеновская пленка сканируется, что позволяет получить компьютерное изображение диагностируемого объекта и тест-фантома. На первом этапе работы X-Ray Analysis осуществляется ввод изображения в программу и выполняется ее калибровка. Для этого оператор с помощью манипулятора мышь проводит на изображении тест-фантома калибровочную трассу. Яркости пикселей изображения вдоль трассы считываются программой, сравниваются с соответствующими эквивалентными значениями МПК тест-фантома для этой трассы и запоминаются. На следующем этапе работы — этапе измерений — оператор проводит линейную трассу в интересующей области либо вычерчивает замкнутую ломаную, охватывающую эту область. Программа автоматически пересчитывает яркости пикселей в значения МПК и выдает на экран график этих значений вдоль трассы либо среднюю величину МПК в области. Пользовательский интерфейс программы в режиме измерений проиллюстрирован на рисунке. В левой части рисунка показано цифровое рентгеновское изображение диагностируемого объекта и трасса (в данном случае прямая линия), проведенная оператором. В правой части представлен график значений МПК вдоль этой трассы. График вычерчивается автоматически по окончании проведения трассы. При использовании

курсоров, включаемых оператором на поле графика, программой рассчитывается и величина кортико-диафизарного индекса, являющегося, как известно, относительным показателем толщины кортикального слоя.

С помощью данной программы нами было выполнено измерение МПК у 120 новорожденных детей гестационного возраста 32-40 недель (50 — доношенных, 70 — недоношенных новорожденных). Целью исследования было изучение МПК у новорожденных детей на основе компьютерного анализа пленочных рентгенограмм. Оценка МПК проводилась на уровне эпифиза и диафиза плечевой кости, диафиза ключицы. Данные области изучения МПК были выбраны в связи с наименьшим их «перекрытием» тенями других костных образований, тенями внутренних органов, что повышает точность измерения МПК.

Были выявлены отличия МПК между двумя группами обследованных новорожденных. В частности уже предварительный анализ показал, что у недоношенных детей средние значения МПК в области эпифиза плечевой кости находятся в диапазоне от 0,5 до 0,9 г/см² в зависимости от гестационного возраста, у доношенных детей диапазон составил от 1,0 до 1,4 г/см². В области диафиза плечевой кости диапазон МПК составил от 0,8 до 1,1 г/см² у недоношенных детей, от 1,1 до 1,5 г/см² — у доношенных детей. В области диафиза ключицы МПК находилась в диапазоне от 0,8 до 1,0 г/см² у недоношенных детей и от 1,0 до 1,3 г/см² у доношенных.

В заключение следует отметить, что оценка МПК у детей продолжает оставаться актуальной проблемой и использование компьютерного анализа делает метод рентгеновской денситометрии более доступным для широкого использования даже при наличии рентгеновской аппаратуры общего назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Практическое руководство по костной денситометрии у детей. Сокращенный перевод материалов National Osteoporosis Society. — Novembre 2009.
2. Казначеева Т.В., Осипова А.А. Современные методы определения минеральной плотности костной ткани // Проблемы репродукции. — 2007. — № 6. — С. 57-61
3. Баранова О.В., Малевич Э.Е. Современные возможности лучевых методов диагностики остеопороза // Медицинские новости. — 2009. — № 10. — С. 12-16.
4. Чиж Г.В., Полойко Ю.Ф. Оценка качественных характеристик медицинских рентгеновских пленок. Инструкция по применению // Министерство здравоохранения Республики Беларусь. — 2003. — 26 с.
5. Гайдарова Т.А. и др. Метод использования рентгеноморфометрии для оценки минеральной плотности костной ткани альвеолярной кости // Бюллетень ВШЦ СО РАМН. — 2006. — № 5 (51). — С. 46-49.

6. Зиатдинова Н.В. Клинико-диагностическое значение определения цинка, хрома и стронция при различных формах рахита у детей: автореф. дис. ... к.м.н. — Казань, 2001.
7. Мальцев С.В., Зиатдинова Н.В., Фофанов В.Б. Рентгеноденситометрия костной ткани у детей с различными формами рахита // Казанский медицинский журнал. — 2003. — Т. 84, № 1. — С. 41-42.
8. Ломовцева О.В. Проектирование специализированной компьютерной системы определения минеральной плотности костной ткани по рентгеновскому снимку [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2006/kita/lomovceva/diss/index.htm>
9. Воронов В.И., Воронова Т.В. Компьютерная программа обработки цифровых рентгеновских снимков / Зарегистрирована ОФАП, ID 6635, N 50200601393 от 8.09.2006, см. также «Инновации в науке и образовании, издание» ФГНУ «Гос. коор. центр информационных технологий». — 2006. — № 7 (18). — С. 29.