

УДК 61

МЕТОДИКИ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ДИСТРАКЦИОННОГО РЕГЕНЕРАТА ПРИ УДЛИНЕНИИ ГОЛЕНЕЙ У БОЛЬНЫХ АХОНДРОПАЗИЕЙ

Аранович А.М., Дьячкова Г.В., Климов О.В., Дьячков К.А., Неретин А.С.
*ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»
 им. академика Г.А. Илизарова Минздрава России», Курган, e-mail: oklim@mail.ru*

В рамках данного научного исследования изучены возможности применения методов цифровой обработки рентгенологических изображений на персональном компьютере в клинической и научной деятельности травматологов-ортопедов с целью повышения их максимальной информативности, достижения оптимальной наглядности, получения объективных количественных данных и документирования полученных в ходе исследования результатов. Для решения этих задач были использованы метод цветового контрастирования, построение оптического рельефа изображения, определения оптической плотности отдельных фрагментов изображения. Клинической моделью для оценки применяемых методов служило изучение регенеративной активности у пациентов с ахондроплазией, которым проводилось удлинение голеней. Данная работа была выполнена с использованием специализированного программного обеспечения «Hi – scene» предназначенной для чтения и компьютерной обработки цифровых результатов рентгенологического исследования.

Ключевые слова: регенерация кости, анализ изображения, ахондроплазия, удлинение конечностей, метод Илизарова

DIGITAL ANALYSIS TECHNIQUES OF DISTRACTION REGENERATE RADIOLOGICAL IMAGE IN TIBIAL LENGTHENING OF ACHONDROPLASIA PATIENTS

Aranovich A.M., Djachkova G.V., Klimov O.V., Djachkov K.A., Neretin A.S.
Federal State Budgetary Institution «Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics» of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Kurgan, e-mail: oklim@mail.ru

The study reports on the possibilities of application of the radiological images digital processing techniques using PC in the clinical and scientific activity of the orthopaedic surgeon in order to improve their informative value maximally, to achieve optimal visibility, obtain objective quantitative data and to record the resulted obtained during the study. To solve this problem the following was used: color contrasting technique, construction of optical contour of the image, and definition of the optical density of the separate image fragments. The study of reparative activity in the achondroplasia patients who'd undergone tibial lengthening was the clinical model for evaluation of the applied techniques. The work was performed using specialized software «Hi – scene» intended for reading and computer processing of the digital results of the radiological study.

Keywords: bone regeneration, image analysis, achondroplasia, limb lengthening, Ilizarov method

В последнее время технические средства медицинской диагностики претерпевают значительные качественные изменения, которые связаны с бурным прогрессом информационных технологий. Это касается как создания новых диагностических методов, так и совершенствования традиционных, таких, например, как рентгенография. Необходимость подобной модернизации диктуется возросшими требованиями к точности, объективности, а также достоверности и информативности проводимых диагностических или научных исследований, что в конечном итоге и определяет ценность метода в достижении поставленной задачи [3, 4]. Говоря о рентгенографии в чистом виде, как о методе получения информации, следует отметить такие её положительные стороны, как простота, распространенность, наглядность, возможность визуализировать и фиксировать малые пространственные структуры в широком диапазоне оттенков серого цвета практически во всех отделах человеческого

организма [1, 5]. Однако, несмотря на целый ряд достоинств, данный метод обладает также существенными недостатками и ограничениями. К ним можно отнести зависимость плотности и качества полученного изображения от целого ряда субъективных и объективных факторов. Такая несогласованность информационной емкости изображения со свойствами и индивидуальными особенностями зрительного анализатора исследователя обуславливает затрудненность получения и фиксации объективной визуальной и параметрической информации из исходного изображения, что ограничивает применение методов математической статистики для анализа полученных результатов [2, 7, 8]. Все эти недостатки и определяют круг вопросов, которые решаются с использованием методов цифровой обработки изображения, что поднимает процесс анализа медицинского изображения на качественно новый уровень, позволяя решать более широкий круг проблем. В настоящее время данные методы

исследования реализованы в виде состава аппаратно-программных комплексов для проведения УЗИ, КТ и МРТ исследований.

Цель исследования

Изучение возможности применения методов цифровой обработки рентгенологических изображений на персональном компьютере в клинической и научной деятельности травматологов-ортопедов для достижения оптимальной наглядности, получения объективных количественных данных и документирования полученных в ходе исследования результатов.

Материалы и методы исследования

В ходе работы проведена оценка клинической и научной значимости рентгенологических исследований полученных при удлинении голени у 25 больных ахондроплазией, которые проходили лечение в ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А.Илизарова» за период с 2010 по 2014 годы. Данная работа была выполнена с использованием специализированного программного обеспечения «Ni – scene», предназначенного для чтения и компьютерной обработки цифровых результатов рентгенологического исследования [6].

Для анализа изображения было использовано 4 метода обработки изображения: цветовое контрастирование, построение оптического рельефа изображения, а также построение профилограммы и гистограммы распределения оптической плотности рентгенологического изображения, которая также сочеталась с его цветовым контрастированием. Решая задачу по получению количественных данных об изображении или его выделенных фрагментах, были использованы методы математической статистики для получения наиболее простых и информативных показателей, таких как мода, медиана, среднее значение параметра, дисперсия, коэффициент вариации и т.д. с возможностью сохранения всех значений гистограммы яркости изображения, которые могут использоваться для вычисления других показателей.

Измерение оптической плотности проводилось в условных единицах (OD_i) по формуле

$$OD_i = \lg(I_i/I_0),$$

где I_i – интенсивность i -го элемента изображения, I_0 – средняя интенсивность фона. Для анализа структурного состава дистракционного костного регенерата на рентгенологическом изображении последнего рассчитывали относительную площадь участков изображения с различной степенью яркости, которая косвенно отражала степень его минерализации.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные гистограммы распределения оптической плотности изображения характеризуются такими показателями, как мода, медиана, среднее значение параметра, дисперсия и коэффициент вариации, которые значительно менялись в ходе процесса репаративного остеогенеза и при этом весьма точно отражали характер и на-

правление данного процесса. Так, в ходе начального этапа минерализации дистракционного регенерата средняя плотность его изображения и мода стремятся к общему значению, которое в свою очередь находится в темной части оптического спектра изображения и имеет максимально низкий показатель, который в дальнейшем будет снижаться до самого снятия аппарата. Стандартное отклонение, полученное для данной гистограммы распределения, на данном этапе демонстрирует минимальные значения.

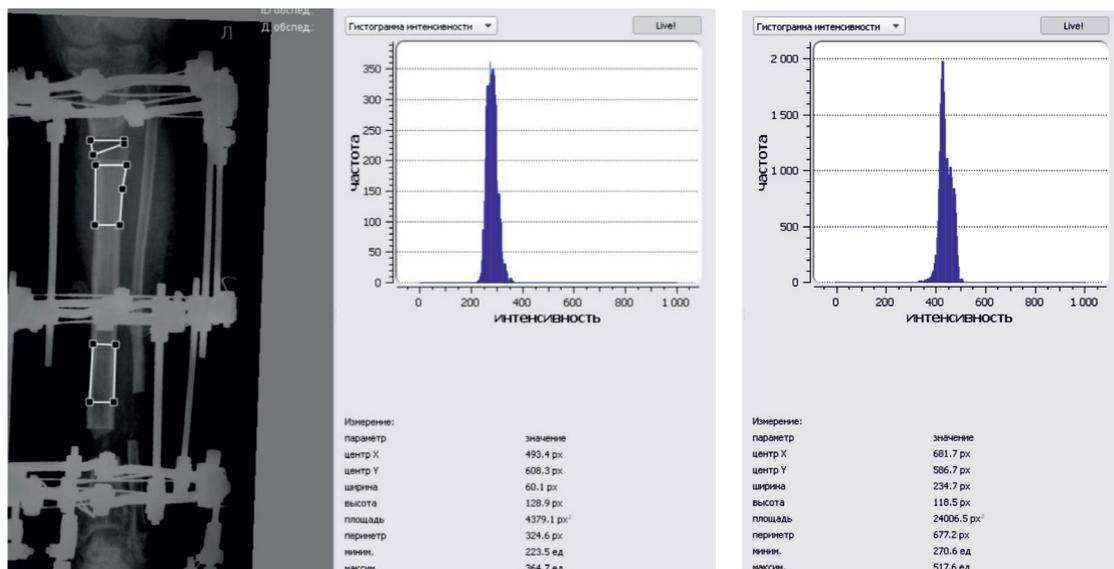
На приведенной клинической модели результаты оптической денситометрии демонстрировали максимальную разницу оптической плотности между материнской костью и областью формирования дистракционного регенерата. Гистограмма распределения яркости изображения, содержащего участки материнской кости, показывала явное смещение пика в сторону повышенной оптической плотности изображения (рис. 1).

Сущность метода цветового контрастирования заключалось в преобразовании черно-белого изображения в цветное по признакам, отображающим определенные свойства изображения, в данном случае это его оптическая плотность (яркость изображения). В этом преобразовании цвет играет роль дополнительного информационного признака, что облегчает и ускоряет процесс интерпретации изображения благодаря тому, что человеческий глаз различает больше цветов, чем оттенков какого-либо одного цвета.

В целом цветовое контрастирование рентгенологического изображения позволяло более качественно и наглядно оценить особенности распределения и соотношение структур различной степени плотности изображения.

Так, в приведенном ниже примере на цветном варианте снимка четко визуализируются фрагменты материнской кости одинаковой оптической плотности и участок регенерата, содержащий в своей структуре элементы различной оптической плотности, показывая при этом площадь их распределения (рис. 2).

Таким образом, цветовое контрастирование позволяет визуально четко определить зоны одинаковой или различной плотности различных участков изображения. Дополнительное построение гистограммы зоны интереса демонстрирует параметрические значения распределения отдельных участков изображения с различной степенью яркости, что дает возможность косвенно судить о степени зрелости и плотности регенерата по степени его минерализации.



А

Б

Рис. 1. Рентгенограмма костей голени пациента с ахондроплазией через две недели после операции и гистограмма оптической плотности участка изображения, соответствующего: А – проксимальному уровню удлинения и Б – среднему костному фрагменту

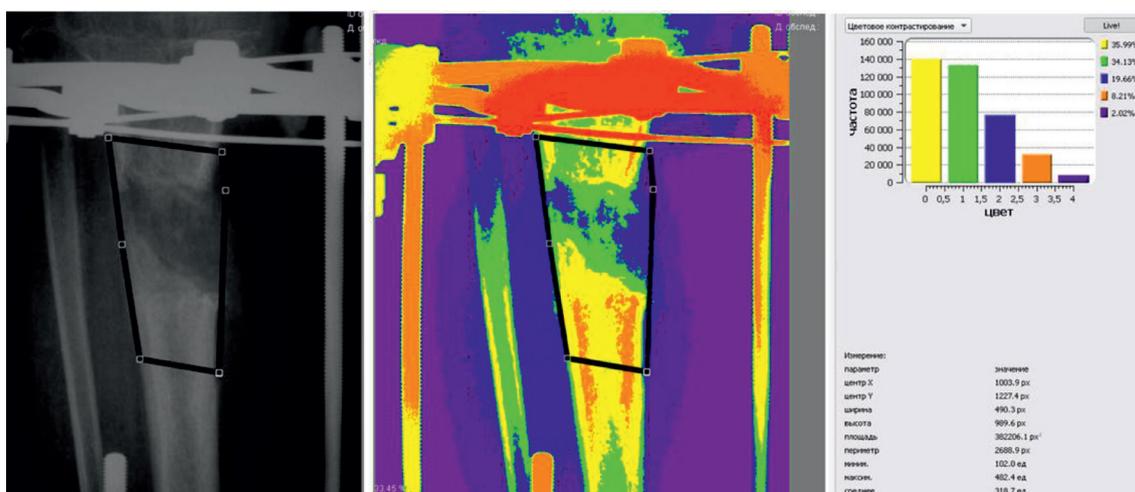


Рис. 2. Рентгенограмма костей голени пациента с ахондроплазией через две недели после операции и ее вариант после цветового контрастирования с гистограммой оптической плотности участка изображения, соответствующего проксимальному уровню удлинения

Методика построения оптического рельефа изображения заключалась в получении изображения рельефной поверхности, на которой высота каждого участка является функцией яркости (плотности) исходного изображения в данной точке. В данном методе исследования изображение оценивалось при помощи нового дополнительного фактора – третьего измерения, что позволяло оценить изображение в привычном для человека трехмерном пространстве. Оптический рельеф рентгенограммы, совмещенный с цветовым

контрастированием, использует также еще один дополнительный источник информации – цвет изображения. Таким образом, совокупное применение всех дополнительных факторов анализа изображения позволяло более полноценно оценить изображение, задействовав развитые у человека в ходе его филогенеза такие каналы визуальной оценки изучаемого объекта, как: цвет, яркость и форма, дополнив все это параметрическими значениями и гистограммой распределения яркости изображения (рис. 3).

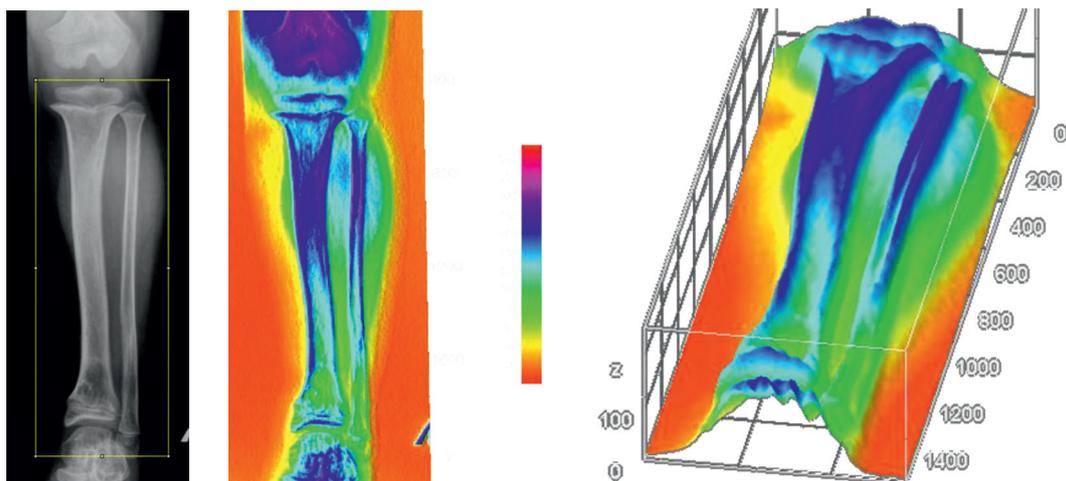


Рис. 3. Оптический рельеф и цветное контрастирование рентгенограммы голени пациента с ахондроплазией после ее удлинения

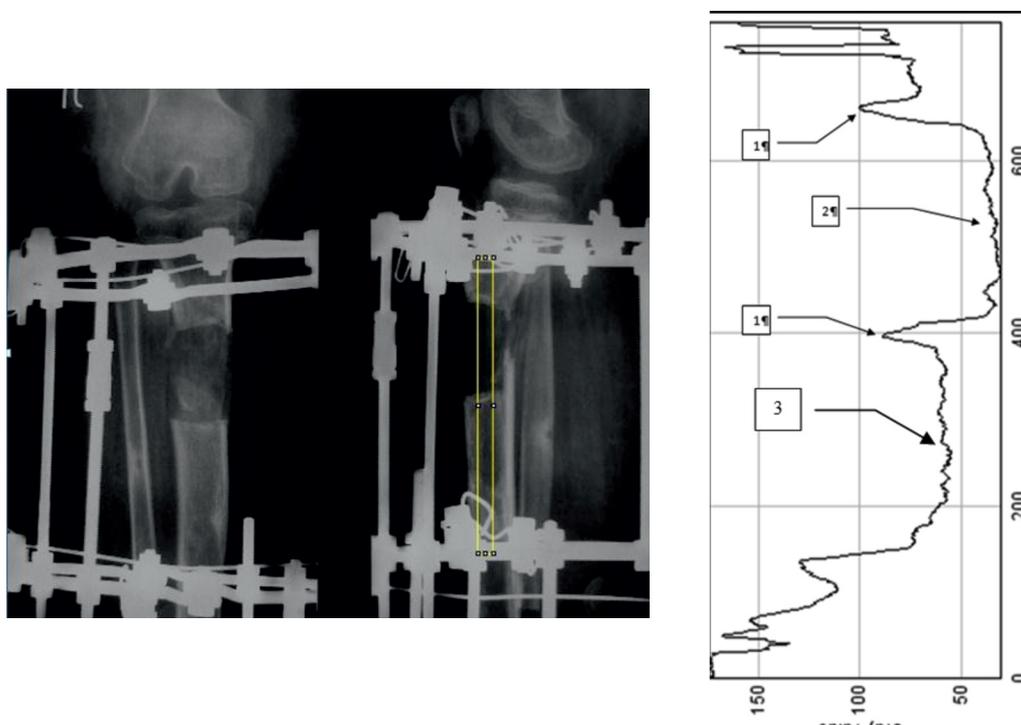


Рис. 4. Рентгенограмма и оптическая продольная профилограмма рентгенологического изображения голени пациента с ахондроплазией в боковой проекции через два месяца от начала удлинения

Построение оптического профиля исследуемого изображения представляет собой график яркости совокупности точек изображения, расположенных вдоль прямой линии или прямоугольника, проведенных на изображении в произвольном направлении. Таким образом, данное исследование позволяло нам в виде графика представить изменение плотности (яркости) изображения в интересующем нас разрезе, что характеризует структуру изображения в заданной плоскости.

На выбранной нами клинической модели оптическая продольная профилограмма регенерата и материнских отделов кости показывала, что плотность регенерата (2) значительно ниже плотности материнской кости (3). Оптический профиль также демонстрирует повышение плотности края материнской кости, непосредственно прилегающего к регенерату (1) (рис. 4).

Данное исследование, проведенное на протяжении всей зоны интереса, позволяло

нам составить полную последовательную картину, что иногда довольно затруднительно при построении 3D оптического рельефа.

Выводы

В процессе филогенеза человек приобрел способность создавать целостную картину окружающего его трехмерного пространства посредством анализа и синтеза поступающей к нему информации от разных каналов восприятия. При этом известно, что до 90% информации человек получает посредством зрительного анализатора. Данный источник восприятия позволяет оценивать такие факторы внешней среды, как яркость, цвет, форма, размер и положение в пространстве. В ходе традиционного анализа рентгенологического изображения мы фактически из всех перечисленных возможностей зрительного анализатора используем только один – яркость изображения. Проведенное нами исследование показало, что добавление дополнительных каналов информации позволяет существенно расширить объем получаемой информации, сделать ее более наглядной, доступной для сравнительного анализа, легко документировать результаты исследования, а также получить параметрические показатели, что повышает качество проводимого исследования. Программное обеспечение, созданное для реализации данного вида исследования, позволяет проводить его не только на таком дорогостоящем оборудовании, как КТ, МРТ или аппарат для УЗИ, но и на персональном компьютере, что позволяет использовать данный вид исследования в более широкой клинической практике и научных исследованиях.

Список литературы

1. Информативность различных методов визуализации при исследовании мышц нижних конечностей у больных ахондроплазией / Г.В. Дьячкова, Т.И. Менщикова, Д.Ш. Варки, П.В. Невцетов // Мед. визуализация. – 2002. – № 2. – С. 133–137.
2. Кармазановский Г.Г., Лейченко А.И. Цифровые технологии в отделении лучевой диагностики: руководство для врачей. – М.: Издательский дом Видар-М, 2007. – 200 с., ил.
3. Компьютерная визуализация чрескостного остеосинтеза: монография / А.Б. Слободской [и др.]. – Самара: Офорт, Самар. гос.мед. ун-т, 2004. – 200 с.: ил.
4. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
5. Розенфельд Л.Г., Макомела Н.М., Синицкий С.И., Колотилов Н.Н., Огир А.С. Возможности постобработки диагностических КТ- и МРТ-изображений на персональном

компьютере // Украинский Медицинский Журнал. – 2006. – № 6. – С. 69–73.

6. Свидетельство РФ № 2014611777, 10.02.2014 о государственной регистрации программы ЭВМ «Hi – scene» для проведения компьютерного анализа, оценки и документации данных лучевых методов исследования и любых электронных изображений, а также проведения на основании полученных данных предоперационного моделирования. / Климов О.В., Лященко А.Н., Баньшиков А.С.

7. Kuni C.C. Introduction to computers and digital Processing in Medical Imaging // Year Book Medical Publishes, Inc. Chicago, 1988. Kraus M. Virtual Reality in Medical Environments // Proceedings of the International Symposium CAR'93. – P. 747.

8. Son I.Y., Winslow M., Yazici B., Xu X.G. X-ray imaging optimization using virtual phantoms and computerized observer modeling // Phys Med Biol. – 2006, Sep 7. Vol. 51(17). – P. 289–310.

References

1. Informativnost razlichnyh metodov vizualizacii pri issledovanii myshc nizh-nih konechnostej u bol'nyh ahondroplaziej / G.V. Djachkova, T.I. Menshnikova, D.Sh. Varki, P.V. Neevetov // Med. vizualizacija. 2002. no. 2. pp. 133–137.

2. Karmazanovskij G.G., Lejchenko A.I. Cifrovye tehnologii v otdelenii luchevoj diagnostiki: rukovodstvo dlja vrachej. M.: Izdatel'skij dom Vidar-M, 2007. 200 p., il.

3. Kompjuternaja vizualizacija chreskostnogo osteosinteza: monografija / A.B. Slobodskoj [i dr.]. Samara: Ofort, Samar. gos.med. un-t, 2004. 200 p.: il.

4. Metody komp'juternoj obrabotki izobrazhenij / Pod red. V.A. Sojfera. 2-e izd., ispr. M.: FIZMATLIT, 2003. 784 p.

5. Rozenfeld L.G., Makomela N.M., Sinickij S.I., Kolotilov N.N., Ogir A.S. Voz-mozhnosti postobrabotki diagnosticheskikh KT- i MRT-izobrazhenij na personal'-nom komp'jutere // Ukrainskij Medicinskij Zhurnal. 2006. no. 6. pp. 69–73.

6. Svidetelstvo RF no. 2014611777, 10.02.2014 o gosudarstvennoj registracii pro-grammy JeVM «Hi scene» dlja provedenija komp'juternogo analiza, ocenki i dokumentacii dannyh luchevyh metodov issledovanija i ljubyh jelektronnyh izobrazhenij, a takzhe provedenija na osnovanii poluchennyh dannyh predoperaci-onnogo modelirovanija. / Klimov O.V., Ljashhenko A.N., Ban'shshikov A.S.

7. Kuni C.C. Introduction to computers and digital Processing in Medical Imaging // Year Book Medical Publishes, Inc. Chicago, 1988. Kraus M. Virtual Reality in Medical Environments // Proceedings of the International Symposium CAR'93. pp. 747.

8. Son I.Y., Winslow M., Yazici B., Xu X.G. X-ray imaging optimization using virtual phantoms and computerized observer modeling // Phys Med Biol. 2006, Sep 7. Vol. 51(17). pp. 289–310.

Рецензенты:

Новиков К.И., д.м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова, г. Курган;

Солдатов Ю.П., д.м.н., профессор кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ Тюменской государственной медицинской академии Министерства здравоохранения РФ, г. Тюмень.