

Конусно-лучевая компьютерная томография в палеоантропологии

А.Ю. Васильев¹, д. м. н., чл.-корр. РАН, профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики;

А.П. Бужилова², д. ист. н., чл.-корр. РАН, директор НИИ и Музея антропологии им. Д.Н. Анучина МГУ им. М. В. Ломоносова;

Е.А. Егорова¹, д. м. н., профессор кафедры лучевой диагностики;

Д.В. Макарова¹, ассистент кафедры лучевой диагностики;

Н.Я. Березина², инженер НИИ и Музея антропологии им. Д.Н. Анучина МГУ им. М.В. Ломоносова;

И.С. Зорина¹, ассистент кафедры лучевой диагностики;

В.И. Хартанович³, к. ист. н., заведующий отделом антропологии

¹ ГБОУ ВПО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения РФ,
ул. Вучетича, 9а, Москва, 127206, Российская Федерация;

² НИИ и Музей антропологии им. Д.Н. Анучина ФБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,
ул. Моховая, 11, Москва, 125009, Российская Федерация;

³ ФГБУ «Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого» (Кунсткамера) РАН,
Васильевский остров, Средний пр-т, 24, Санкт-Петербург, 199004, Российская Федерация

Cone-beam computed tomography in paleoanthropology

A.Yu. Vasil'ev¹, MD, PhD, DSc, Corresponding member of Russian academy of sciences, Professor, Head of Chair of Radiology;

A.P. Buzhilova², Dr. of Hist., Corresponding member of Russian academy of sciences, Director of D.N. Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, M.V. Lomonosov Moscow State University;

E.A. Egorova¹, MD, PhD, DSc, Professor of Chair of Radiology;

D.V. Makarova¹, Assistant of Chair of Radiology;

N.Ya. Berezina², Engineer of D.N. Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, M.V. Lomonosov Moscow State University;

I.S. Zorina¹, Assistant of Chair of Radiology;

V.I. Khartanovich³, PhD in Hist. Sci., Head of Department of Anthropology

¹ A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Ministry of Health of the RF,
ul. Vucheticha, 9a, Moscow, 127206, Russian Federation;

² D.N. Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology,
M.V. Lomonosov Moscow State University,
ul. Mokhovaya, 11, Moscow, 125009, Russian Federation;

³ Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (Kunstkamera),
Russian Academy of Science,

Vasil'evskiy ostrov, Sredniy prospekt, 24, St. Petersburg, 199004, Russian Federation

Цель исследования – изучение возможностей конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) в оценке костной структуры при анализе антропологических находок.

Материал и методы. При помощи КЛКТ проведена экспертиза 24 фрагментов костяков – останков солдат императорской армии Наполеона Бонапарта, погибших в военном госпитале Кенигсберга во время отступления из России во время войны 1812 г. Всего было исследовано 28 трубчатых костей с различными признаками заживления травм и 1 череп со следами челюстно-лицевой травмы. Кроме того, для анализа осложненного инфекционного процесса плечевой кости использован объект из палеопатологической коллекции Д.Г. Рохлина. КЛКТ выполнялась с индивидуальным подбором укладок, физико-технических условий и режимов сканирования в зависимости от анатомической принадлежности и размера фрагментов.

Результаты. В ходе обработки полученных изображений в 65,5% (n = 19) случаев выявлялись переломы различных

Objective: to study the capabilities of cone-beam computed tomography (CBCT) in estimating the bone structure when analyzing anthropological findings.

Material and methods. Twenty-four bone fragments (remains) of Napoléon Bonaparte Imperial Army soldiers who had died at a Königsberg military hospital during their retreat from Russia in the War of 1812 were examined by CBCT. A total of 28 tubular bones with different injury healing signs and a skull with maxillofacial trauma marks were investigated. Furthermore, an object from D.G. Rokhlin's paleopathological collection was used to analyze a complicated humeral infectious process. CBCT was performed by

Ключевые слова:

конусно-лучевая компьютерная томография, костная структура, палеоантропология

Index terms:

cone-beam computed tomography, bone structure, paleoanthropology

костей. У 20,7% образцов визуализировались признаки несросшихся переломов. В ходе постпроцессорной обработки изображений у 13,8% антропологических находок были выявлены консолидированные внутрисуставные переломы. В результате проведенного КЛКТ-исследования фрагментов костяков отмечены признаки осложненного сращения переломов костей. У 31% образцов установлен характер ранений. У 17,2% антропологических находок удалось детально охарактеризовать особенности ампутационной культи конечностей. В 51,7% случаев выявлены признаки перенесенных воспалительных заболеваний костей различного генеза, которые в 41,4% случаев были представлены линейными, луковичными и ассимилированными периостальными реакциями и достоверно определялись на КЛКТ-томограммах. В 31% фрагментов визуализировались секвестральные полости.

Заключение. Полученные в результате КЛКТ изображения характеризуются высокой информативностью (от 7,5 до 10,6 пикселей/мм), оптимальным пространственным разрешением, четкостью и контрастностью. Программное обеспечение КЛКТ включает параметры и возможность постпроцессорной обработки изображений (построение панорамных и мультипланарных реконструкций, оценка плотностных характеристик тканей), позволяющих проводить анализ антропологического материала без их разрушения.

Введение

В настоящее время в антропологии для экспертизы костных останков все чаще применяются современные лучевые методы исследования [1–5]. Одной из таких инновационных и перспективных методик является конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ). Ее особенностью является возможность получения первично трехмерного изображения с высоким пространственным разрешением и последующего построения мультипланарных реконструкций [4–8]. В клиническую практику внедрены различные по своей конструкции и физико-техническим условиям съемки КЛКТ-томографы. Для оптимизации схем экспертизы костных останков, оценки эффективности томографиче-

ских методик были изучены останки 24 человек с различными стадиями заживления травм на трубчатых костях из палеопатологической коллекции НИИ и Музея антропологии МГУ им. М.В. Ломоносова (всего 28 трубчатых костей). Для анализа осложненного инфекционного процесса плечевой кости использован объект из палеопатологической коллекции Д.Г. Рохлина, хранящейся в антропологическом отделе Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера).

Целью проведенного исследования было изучение возможностей КЛКТ в оценке костной структуры при анализе антропологических находок с различными признаками нарушения целостности костной ткани.

individually selecting the scanning foldings, physicochemical conditions and regimens in relation to the anatomic location and size of fragments.

Results. Processing of the obtained images revealed fractures of different bones in 19 (65.5%) cases. The signs of ununited fractures were visualized in 20.7% of the samples. Image post-processing showed intraarticular consolidated fractures in 13.8% of the anthropological findings. The CBCT examination of bone fragments exhibited the signs of their fusion. A wound pattern was established in 31% of the samples. The specific features of a bone amputation stump could be characterized in detail in 17.2% of the anthropological findings. 51.7% of the cases were found to have signs of sustained bone inflammatory diseases of various genesis, which in 41.4% of them were presented by linear, bulbar, and assimilated periosteal reactions and significantly detectable on CBCT scans. Sequestral cavities were imaged in 31% of the fragments.

Conclusion. The CBCT images are characterized by high informative value (from 7.5 to 10.6 pixels/mm), optimal spatial resolution, definition, and hardness. The software of CBCT involves the parameters and possible postprocessing of images (building of panoramic and mulplanar reconstructions, assessment of the density characteristics of tissues), which allow an analysis of anthropological material, by needlessly destroying them.

Материал и методы

Для определения возможностей КЛКТ экспертной оценке подвергнуты фрагменты плечевой кости из палеопатологической коллекции Д.Г. Рохлина с признаками остеомиелита и 24 костяков – останков солдат императорской армии Наполеона Бонапарта, погибших в войне 1812 г., – 28 длинных костей и 1 череп (рис. 1). Анализ состояния зубочелюстной системы черепа проведен отдельно.

В задачи КЛКТ фрагментов костяков входили:

- оценка формы, размеров, структуры;
- определение характера и распространенности повреждений и заболеваний;
- визуализация и локализация инородных тел.

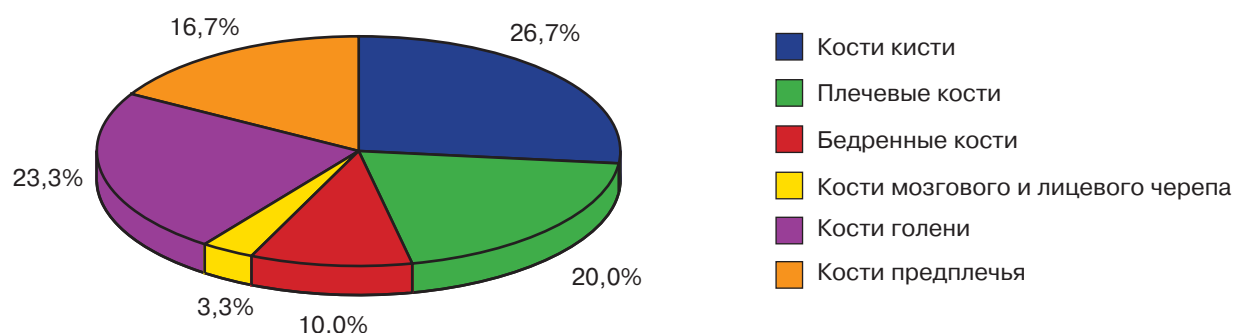


Рис. 1. Распределение исследованных фрагментов костяков в соответствии с их анатомической принадлежностью.

КЛКТ проводилась на конусно-лучевом томографе NewNom 5G (Италия).

Исследование выполнялось с индивидуальным подбором укладок, физико-технических условий и режимов сканирования в зависимости от анатомической принадлежности и размера фрагментов. При постпроцессорной обработке изображений толщина среза варьировала от 0,15 до 0,5 мм. По всем изображениям выполнены различные виды мультипланарных реконструкций с последующим объемным представлением изучаемого объекта.

Результаты и обсуждение

В ходе обработки полученных изображений в 65,5% ($n=19$) случаев выявлялись переломы различных костей, из них 34,5% ($n=10$) – неправильно консолидированные и несросшиеся. При наличии многооскольчатых переломов в 24,1% ($n=7$) случаев прослеживалась консолидация за счет периостальной мозоли в виде «костных мостиков». На томограммах представлялось возможным выявить наличие, определить размеры и пространственное расположение промежуточных фрагментов размером менее 2 мм.

У 20,7% образцов визуализировались признаки несросшихся переломов. Отмечены нечеткость, сглаженность контуров сопоставленных отломков костей, резкое сужение костномозгового канала, наличие периостальных наслоений, утолщение кортикальных пластин за счет эндо- и периостального компонентов.

В ходе постпроцессорной обработки изображений у 13,8% антропологических находок были выявлены консолидированные внутрисуставные переломы.

В результате проведенного КЛКТ-исследования фрагментов костяков отмечены признаки осложненного сращения переломов костей. В первую очередь – ложные суставы, которые зарегистрированы

в 13,8% случаев, они проявлялись отсутствием костной мозоли, закруглением, наличием замыкательной пластинки на концах отломков.

При оценке изображений у 3,4% фрагментов костяков выявлены признаки костного анкилоза: отсутствие суставной щели и переход костных балок с одной поверхности кости на другую.

У 31% образцов установлен характер ранений. На полученных изображениях отмечалось наличие множественных инородных тел металлической плотности, округлой формы, с четкими, ровными контурами, размером до 2,6 мм, расположенных как в толще кортикальных пластин или костной мозоли, так и в просветах костномозговых каналов фрагментов, вероятнее всего, в результате слепых или сквозных огнестрельных ранений. В 3,4% случаев при КЛКТ на фоне многооскольчатых переломов отмечались признаки импрегнации металлом краев дефектов костных фрагментов. Обращало на себя внимание отсутствие значимых артефактов от высокоплотных инородных тел на КЛКТ-томограммах.

Среди фрагментов костяков у 3,4% образцов были обнаружены признаки объемных процессов, что явилось случайной находкой. Достоверно визуализировалось наличие объемного образования из губчатого вещества с нечетким, неровным наружным контуром.

У 17,2% антропологических находок удалось детально охарактеризовать особенности ампутированной кисти конечностей. Края опилов 13,8% фрагментов имели четкий, ровный контур и прямоугольную форму, без признаков регенерации. В одном из представленных образцов ампутированная кисть имела неровный, четкий край опилов, у латерального края которого визуализировался пограничный краиниальный остеофит. На уровне опилов определялось наличие

фрагментов компактной замыкательной пластинки.

В 51,7% случаев выявлены признаки перенесенных воспалительных заболеваний костей различного генеза, которые в 41,4% случаев были представлены линейными, луковичными и ассимилированными периостальными реакциями и достоверно определялись на КЛКТ-томограммах. Проследить их удавалось даже в тех случаях, когда толщина измененной надкостницы не превышала 2 мм (рис. 2).

В 31% фрагментов визуализировались секвестральные полости, в 27,6% – отмечалось наличие внутрисуставных секвестров, чаще корковых. Проведена оценка их локализации и пространственного расположения. При КЛКТ у 10,3% образцов были выявлены извитые свищевые ходы. Удалось оценить их пространственное расположение и охарактеризовать внутренние контуры, связь с ранее существовавшими воспалительными полостями.

Особое внимание уделено случаю остеомиелита плечевой кости из коллекции Д.Г. Рохлина. Весь диафиз был утолщен за счет ассимилированных периостальных наслоений, в кортикальном слое отмечаются множественные свищевые ходы, достигающие в диаметре 2,4–17 мм. В костномозговом канале прослеживаются разнокалиберные секвестры (размером от 1×3 до 5×9 мм), которые находятся как внутри секвестральных полостей, так и penetрируют через дефекты кортикальных пластинок (рис. 3). Как указывал сам Д.Г. Рохлин (1965 г.), «больной, долго страдавший остеомиелитом, погиб от амилоидоза».

Выводы

1. В ходе КЛКТ-исследования получены высококачественные изображения, которые позволили провести детальную оценку формы, размеров и структуры костных фрагментов ископаемых останков людей.



Рис. 2. Фотография (а) и КЛК-томограммы (б – 3D-реконструкция, в, г – мультипланарные реконструкции) фрагмента правой плечевой кости, на которых на уровне нижней трети диафиза и дистального эпифиза определяется неправильно сросшийся многооскольчатый перелом (размеры в мм). Смещение бывших отломков по ширине и под углом не устранено (синие стрелки). Консолидация представлена периостальными «костными мостиками». Кортикальные пластинки отломков и промежуточных фрагментов деформированы, склерозированы, костномозговой канал резко сужен. По латеральной и медиальной поверхностям центрального и периферического отломков визуализируются линейные и луковичные периостальные наслоения.

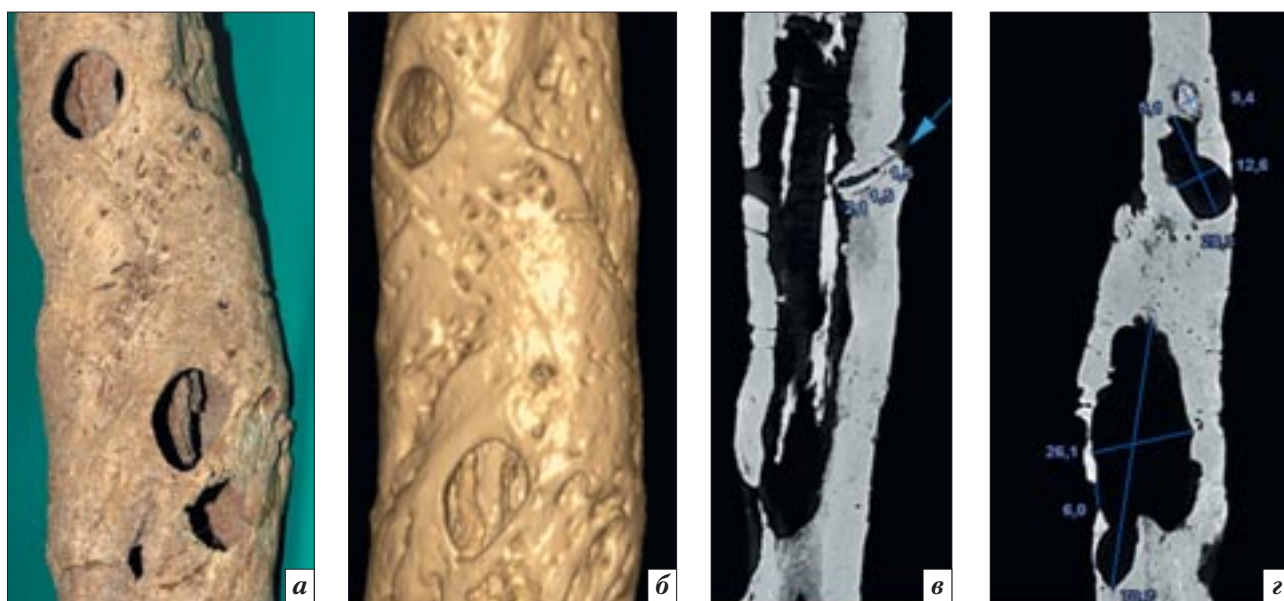


Рис. 3. Фотография (а) и КЛК-томограммы (б – 3D-реконструкция, в, г – мультипланарные реконструкции) фрагмента правой плечевой кости, на которых отмечаются признаки гиперостоза за счет ассимилированных периостальных наслоений, множественные секвестральные полости, содержащие центральные и пенетрирующие кортикальные секвестры (размеры в мм). Распространенность патологических изменений с заинтересованностью всего диафиза, наличие множества секвестральных полостей и свищей более характерно для гематогенного остеомиелита.

2. Программное обеспечение КЛКТ включает параметры и возможности постпроцессорной обработки изображений (построение панорамных и мультипла-

нарных реконструкций, оценка плотностных характеристик тканей), что позволяет проводить анализ антропологического материала без их разрушения.

Работа частично выполнена в рамках проекта РФФИ № 12-06-00009-а. Тема, предмет и содержание работы не затрагивают конкурирующих интересов авторов.

Литература

1. Бужилова А.П., Березина Н.Я., Селезнева В.И. Новые находки из коллекции Рохлина: рентгенологический анализ образцов из палеопатологического фонда МАЭ РАН. Электронная библиотека Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН. http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/08/08_02/978-5-88431-238-8/
2. Бужилова А.П., Потрахов Н.Н., Потрахов Е.Н., Грязнов А.Ю. Анализ маркеров эпизодического стресса методом микрофокусной рентгенографии (по антропологическим материалам эпохи каменного века). *Биотехносфера*. 2013; 2/26: 7–14.
3. Васильев А.Ю., Блинов Н.Н. (мл.), Егорова Е.А., Макарова Д.В., Горлычева Е.Г. Возможности применения современных методов лучевой диагностики в антропологии. В кн. Матер. научн.-практ. конф. «Поволжские чтения». Саратов; 2013: 12–3.
4. Макарова Д.В. Новые возможности методов лучевой диагностики в антропологии. В кн.: Мат. Междунар. VI конф. «Невский радиологический форум-2013». СПб; 2013: 318.
5. Медникова М.Б. Кисть сунгирца (новые данные о строении трубчатых костей). *Вестник Моск. универ. С. XXIII. Антроп.* 2012; 4: 4. URL: http://www.antropos.msu.ru/vestnic/12_4.html
6. Васильев А.Ю., Буланова И.М., Бужилова А.П., Медникова М.Б., Березина Н.Я. Микрофокусная рентгенография и спиральная рентгеновская компьютерная томография в распознавании изменений костной ткани у древних людей. *Казанский медицинский журнал*. 2010; 1: 44–8.
7. Макарова Д.В., Егорова Е.А., Горлычева Е.Г., Блинов Н.Н., Васильев А.Ю., Бужилова А.П. Возможности современных методов лучевой диагностики в экспертной оценке антропологического материала. *Совр. технол. в мед.* 2014; 6 (1): 34–42.
8. De Froidmont S., Grabherr S., Vaucher P., De Cesare M., Egger C., Papageorgopoulou C. et al. Virtual anthropology: a comparison between the performance of conventional X-ray and MDCT in investigating the trabecular structure of long bones. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23153800>.
9. Coopersmith H. How X-rays demystified a 2,500-year-old battle wound. LiveScience's Exp. Voices: Op-Ed & Insights. URL: <http://www.livescience.com/37929-deadly-barbed-arrowhead-revealed-by-xray.html>
10. Gorlycheva E.G. Application opportunities of modern X-ray diagnostics in anthropology. In: Mat. sci.-pract. conf. «Volga reading». Saratov; 2013: 12–3 (in Russian).
11. Makarova D.V. New opportunities of radiodiagnostics in anthropology. In: Mat. Int. VI конф.: «Neva Radiology Forum-2013». St. Petersburg. 2013: 318 (in Russian).
12. Mednikova M.B. The sungirc's brush (new data about structure of tubular bones). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya*. 2012; 4: 4. URL: http://www.antropos.msu.ru/vestnic/12_4.html (in Russian).
13. Vasil'ev A.Yu., Bulanova I.M., Buzhilova A.P., Mednikova M.B., Berezina N.Ya. Microfocus radiography and spiral X-ray computed tomography in recognition of changes of bone tissue of ancient people. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2010; 1: 44–8 (in Russian).
14. Makarova D.V., Egorova E.A., Gorlycheva E.G., Blinov N.N., Vasil'ev A.Yu., Buzhilova A.P. Opportunities of modern methods of X-ray diagnostics in the expert evaluation of anthropological material. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2014; 6 (1): 34–42 (in Russian).
15. De Froidmont S., Grabherr S., Vaucher P., De Cesare M., Egger C., Papageorgopoulou C. et al. Virtual anthropology: a comparison between the performance of conventional X-ray and MDCT in investigating the trabecular structure of long bones. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23153800>
16. Coopersmith H. How X-rays demystified a 2,500-year-old battle wound. LiveScience's Exp. Voices: Op-Ed & Insights. URL: <http://www.livescience.com/37929-deadly-barbed-arrowhead-revealed-by-xray.html>

References

1. Buzhilova A.P., Berezina N.Ya., Selezneva V.I. New findings from the collection of Rokhlin: roentgenological analysis of samples from the Paleopatological Fund of MAE RAS. Electronic Library of the Museum of Anthropology and Ethnography named after Peter the Great (Cabinet of curiosities), Russian academy of sciences. http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/08/08_02/978-5-88431-238-8/ (in Russian).
2. Buzhilova A.P., Potrakhov N.N., Potrakhov E.N., Gryaznov A.Yu. An analysis of markers of episodic stress with microfocus X-ray method (on the anthropological materials of the stone age). *Biotechnosfera*. 2013; 2/26: 7–14 (in Russian).
3. Vasil'ev A.Yu., Blinov N.N. (jr), Egorova E.A., Makarova D.V.,

Поступила 19.04.2014