

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКЕ АНТРОПОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

УДК 616.33–006.6–018.72–073.432.19

Поступила 13.10.2013 г.



Д.В. Макарова, ассистент кафедры лучевой диагностики¹;
Е.А. Егорова, д.м.н., профессор кафедры лучевой диагностики¹;
Е.Г. Горлычева, инженер-электронщик²;
Н.Н. Блинов (мл.), д.техн.н., профессор кафедры лучевой диагностики¹; генеральный директор²;
А.Ю. Васильев, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАМН, зав. кафедрой лучевой диагностики¹;
А.П. Бужилова, д.ист.н., член-корреспондент РАН, директор, зав. отделом фондов и экспозиций
 Научно-исследовательского института и Музея антропологии им. Д.Н. Анучина³

¹Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова,
 Москва, 127473, ул. Делегатская, 20/1;

²ЗАО «АМИКО», Москва, 115432, 2-й Кожуховский проезд, д. 29, корп. 5;

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991, ГСП-1, Ленинские горы

Цель исследования — оценка возможностей проведения экспертизы костного материала останков воинов императорской армии Наполеона Бонапарта с помощью современных методик лучевой диагностики. Задачи экспертизы: оценка структуры фрагментов; определение характера и распространенности повреждений и заболеваний костей и суставов; визуализация и локализация инородных тел металлической плотности, как первично, так и вторично ранящих снарядов при нанесении огнестрельных ранений и сабельных ударов.

Материалы и методы. 24 костных фрагмента, предоставленные НИИ и Музеем антропологии им. Д.Н. Анучина Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, были исследованы с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии, мультисрезовой компьютерной томографии и цифровой микрофокусной рентгенографии с прямым многократным увеличением изображения.

Результаты. В ходе исследования выявлены признаки перенесенных воспалительных заболеваний костей, неправильно консолидированные и несросшиеся переломы. В 37,5% случаев установлен характер ранений. В 16,7% наблюдений удалось детально охарактеризовать особенности ампутационных культей конечностей, в 4,2% — выявить объемные образования.

Заключение. Полученные данные доказывают целесообразность применения современных методов лучевой диагностики с широким спектром возможностей постпроцессорной обработки изображений для характеристики боевых повреждений прошлых войн. При оценке структуры и распространенности патологических изменений костной ткани конусно-лучевая компьютерная томография может использоваться как приоритетная методика.

Ключевые слова: конусно-лучевая компьютерная томография; мультисрезовая компьютерная томография; микрофокусная рентгенография; костная структура.

English

The Opportunities of Modern Radiodiagnostic Methods in Expert Evaluation of Anthropological Material

D.V. Makarova, Assistant of the Department of Radiology¹;
E.A. Egorova, D.Med.Sc., Professor of the Department of Radiology¹;

Для контактов: Макарова Дарья Валерьевна, тел. раб. 8(495)611-01-77, тел. моб. +7 916-860-90-92; e-mail: mdvmail@mail.ru

E.G. Gorlycheva, Electronic Engineer²;

N.N. Blinov Jr., D.Tech.Sc., Professor of the Department of Radiology¹; General Manager²;

A.Y. Vasil'iev, D.Med.Sc., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Medicine Sciences, Head of the Department of Radiology¹;

A.P. Buzhilova, D.Hist.Sc., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, Head of Department of Stocks and Expositions of Research Institute and Museum of Anthropology named after D.N. Anuchin³

¹Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Delegatskaya St., 20/1, Moscow, Russian Federation, 127473;

²JSC "AMICO", 2nd Kozhukhovskiy proezd St., 29, bld. 5, Moscow, Russian Federation, 115432;

³Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991

The aim of the investigation was to assess the opportunities of carrying out an expert examination of bone material of the soldier remains of the Imperial army of Napoleon Bonaparte using modern radiodiagnostic methods. The expert examination aimed at the assessment of the fragments structure; the determination of the nature and incidence of bone and joint diseases; imaging and localization of foreign bodies with metal density of both primary and secondary gunshot wounds and saber cuts.

Materials and Methods. 24 bone fragments presented by Museum of anthropology named after D.N. Anuchin, Lomonosov Moscow State University, were studied using cone-beam computed tomography (CBCT), multidetector computed tomography (MDCT) and digital microfocus radiography with direct multiple image magnification.

Results. The examination revealed the signs of inflammatory bone diseases, wrong consolidated and non-accrete fractures. We stated the nature of injuries in 37.5% of cases, and managed to characterize in detail the features of amputation stumps of limbs in 16.7% of cases. Space-occupying lesions were revealed in 4.2%.

Conclusion. The findings prove the necessity of applying modern radiodiagnostic methods with a wide range of possibilities of image post-processing to characterize battle damage of past wars. Cone-beam computed tomography can be used as a priority method in the assessment of structure and prevalence of pathological changes of bone tissue.

Key words: cone-beam computed tomography; multidetector computed tomography; digital microfocus radiography; bone structure.

Публикации с упоминаниями о применении рентгеновских лучей в антропологии известны с начала XX столетия. В настоящее время все чаще для экспертизы останков активно используются современные лучевые методы исследований [1–3]. Появились, хотя и в ограниченном количестве, сообщения о проведении оценки антропологического материала с помощью таких рентгеновских методик, как стандартная и микрофокусная рентгенография, мультисрезовая компьютерная томография (МСКТ) [4–6].

Благодаря появлению конусно-лучевых компьютерных томографов нового поколения стало возможным проведение исследований останков костяков с получением высококачественных изображений [7]. В основе их получения при конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ) лежит сканирование исследуемого объекта импульсным конусным рентгеновским пучком. Отличительной особенностью методики является возможность получения первично-трехмерного изображения с высоким пространственным разрешением и последующим построением мультипланарных реконструкций.

В рамках франко-российского проекта по реконструкции событий гибели императорской армии Наполеона Бонапарта во время войны 1812 г. было выполнено исследование костного материала останков воинов с помощью современных методик лучевой диагностики.

Цель исследования — оценка возможностей проведения экспертизы костного материала останков воинов

императорской армии Наполеона Бонапарта с помощью современных методик лучевой диагностики.

Задачи экспертизы фрагментов костяков: 1) оценка структуры фрагментов; 2) определение характера и распространенности повреждений и заболеваний костей и суставов; 3) визуализация и локализация инородных тел металлической плотности, как первично, так и вторично ранящих снарядов при нанесении огнестрельных ранений и сабельных ударов.

Материалы и методы. Материалы для исследований были предоставлены НИИ и Музеем антропологии им. Д.Н. Анучина Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

КЛКТ выполнена 24 костным фрагментам на аппарате NewTom 5G (QR s.r.l., Италия) с последующим построением мультипланарных реконструкций. Полученные данные сопоставлены с результатами МСКТ, проведенной на аппарате Brilliance 64 (Philips, Голландия), и цифровой микрофокусной рентгенографии с прямым многократным увеличением изображения на аппарате «Пардус» (Россия). Также были сделаны фотографии всех исследуемых объектов.

В основе получения изображений при КЛКТ лежит сканирование исследуемой области импульсным рентгеновским пучком, сколламированным таким образом, что излучение распространяется в виде пирамиды. В дальнейшем ослабленное тканями рентгеновское излучение попадает на детектор. Благодаря данной методике всего за один оборот трубки детектора вокруг исследуемого объекта получается трехмерное изобра-

жение, готовое к дальнейшей обработке. Конусно-лучевая система позволяет избежать потерь графической информации в промежутках между срезами, что является важным фактором при исследовании антропологического материала.

Неоспоримым преимуществом при выборе конусно-лучевого компьютерного томографа для данного исследования стали технические характеристики аппарата:

размер плоскопанельного детектора, выполненного на основе аморфного кремния, — 20×25 см (размер детектора — максимальный среди аппаратов данного семейства);

максимальное поле захвата — 16×18 см;

фокусное пятно — 0,3 мм;

оборот гентри вокруг объекта исследования — 360°;

воксел — от 75 мкм.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования в 87,5% случаев (n=21) выявлялись признаки перенесенных воспалительных заболеваний костей, которые были представлены фрагментами линейной или луковичной периостальной реакции, секвестральными полостями с нечеткими внутренними контурами и наличием внутрисполостных секвестров (чаще корковых). В некоторых случаях визуализировались свищевые ходы. Отмечалось сужение костно-мозговых каналов, утолщение кортикальных пластин за счет эндостального и периостального компонентов.

При исследовании 41,7% костяков (n=10) наблюдались неправильно консолидированные и несросшиеся переломы (рис. 1, а–г).

В 37,5% случаев (n=9) был установлен характер ранений. В ряде случаев на фоне многооскольчатых переломов визуализировались признаки импрегнации металлом краев дефектов костных фрагментов. Отмечалось наличие множественных инородных тел металлической плотности округлой формы с четкими, ровными контурами, размерами до 2,6 мм, расположенных как в толще кортикальных пластинок, так и в просветах костно-мозговых каналов костяков (рис. 2, а–г; 3, а, б).

В 20,8% случаев (n=5) удалось детально охарактеризовать особенности ампутационной культы конечностей. В трех случаях ампутация была выполнена на уровне средней трети диафиза плечевой и большеберцовых костей, в двух других случаях — на уровне нижней трети диафиза большеберцовых костей. В результате проведения комплексного исследования костяков в ряде случаев достоверно выявлялись болезни культы: признаки остеомиелита и наличие пограничного крахмального остеофита, что может свидетельствовать о технических погрешностях при выполнении оперативного вмешательства и инфицировании раны.

В четырех случаях края опилов имели четкий, ровный контур и прямоугольную форму. В том числе для



Рис. 1. Результаты лучевого исследования неправильно сросшегося многооскольчатого перелома диафиза бедренной кости (а — фото). На цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым трехкратным увеличением изображения (б), МСКТ (в) и КЛКТ (г) определяется смещение бывших отломков по ширине кнаружи более чем на толщину диафиза и захождение их друг за друга под углом, открытым кнутри, консолидация представлена «костными мостиками» за счет сращения промежуточных фрагментов и периостальным компонентом. Между фрагментами определяется патологическая полость, содержащая мелкие (до 5 мм) секвестры и инородные тела металлической плотности. Дополнительно по данным КЛКТ (г) установлено, что кортикальные пластинки утолщены за счет эндостального и периостального компонентов, отмечаются линейное и луковичное периостальные наслоения (стрелка)

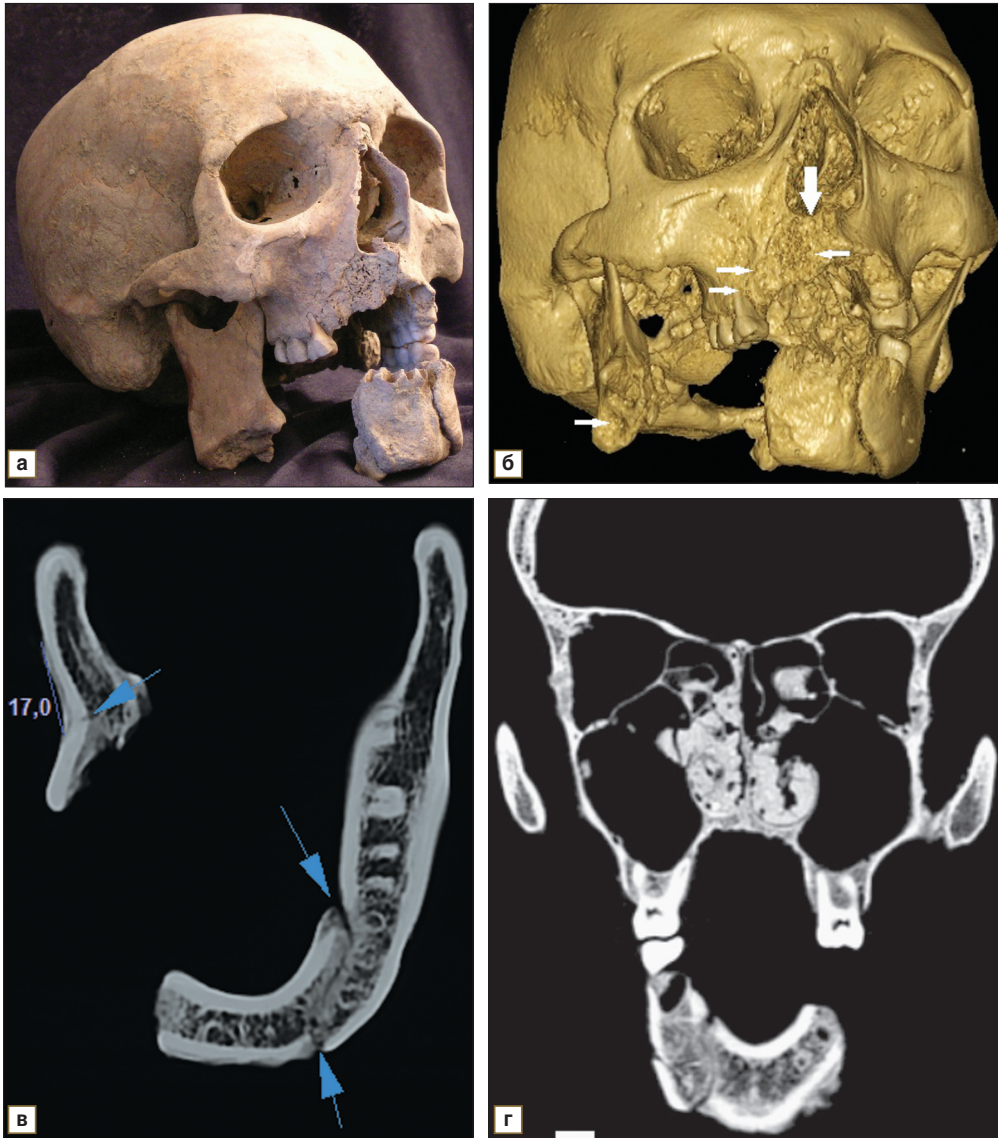


Рис. 2. Результаты лучевого исследования застарелого многооскольчатого перелома костей лицевого скелета без признаков консолидации, полученного, вероятнее всего, в результате нанесения сабельного удара (а — фото). На конусно-лучевых томограммах (б, в) и мультисрезовой компьютерной томограмме (г) визуализируются краевой дефект альвеолярного отростка верхней челюсти во фронтальных отделах; дефект нижней челюсти справа; ложный сустав фронтальных отделов нижней челюсти слева (синие стрелки); частичная адентия; частичный дефект нижне-медиаьной стенки левой орбиты; искривление перегородки носа. При КЛКТ (б) достоверно определяются множественные инородные тела металлической плотности размерами до 1,5 мм на уровне краев дефекта — импрегнация (?) металлом (белые стрелки)

лучевой экспертизы была предоставлена правая плечевая кость, состоящая из двух фрагментов, сопоставленных на уровне опиала. На данном уровне визуализировались гладкие, ровные контуры, имеющие прямоугольную форму.

При анализе изображений, полученных в ходе комплексного исследования ампутационной культи правой плечевой кости, достоверно визуализировались признаки гиперостоза и наличие компактной замыкательной пластинки линейной формы с четким, ровным контуром, полностью перекрывающей костно-мозговой канал. У латерального края опиала визу-

ализировался пограничный краниальный остеофит (рис. 4, а–г).

Среди фрагментов костяков с признаками боевых повреждений в 4,2% случаев (n=1) были выявлены объемные образования, что явилось случайной находкой (рис. 5, а–г). Данные лучевых исследований, вероятнее всего, соответствуют остеохондроме проксимального метаэпифиза большеберцовой кости.

При анализе результатов исследований, полученных в ходе проведения цифровой микрофокусной рентгенографии с прямым многократным увеличением изображений, МСКТ и КЛКТ, обращает на себя

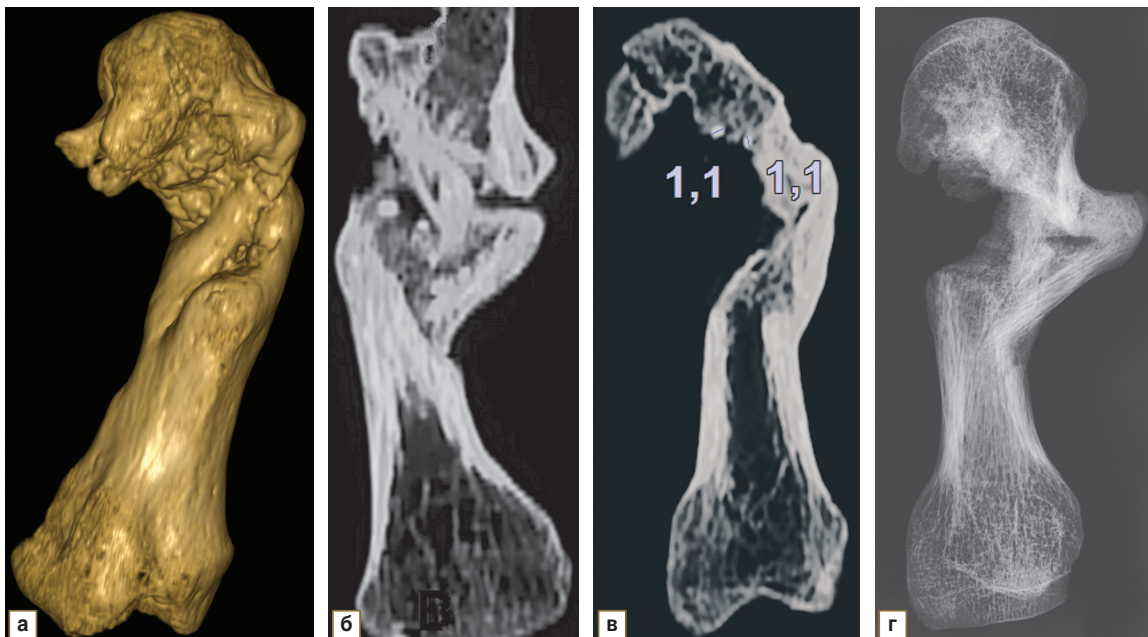


Рис. 3. Результаты лучевого исследования неправильно консолидированного многоскользящего перелома пястной кости с деформацией ее оси, вероятнее всего, полученного в результате дробового ранения (а — фото, г — цифровая микрофокусная рентгенограмма с прямым 3,2-кратным увеличением изображения). На КЛКТ (б, в) визуализируются признаки хронического остеомиелита. Множественные инородные тела металлической плотности — дробь (?)

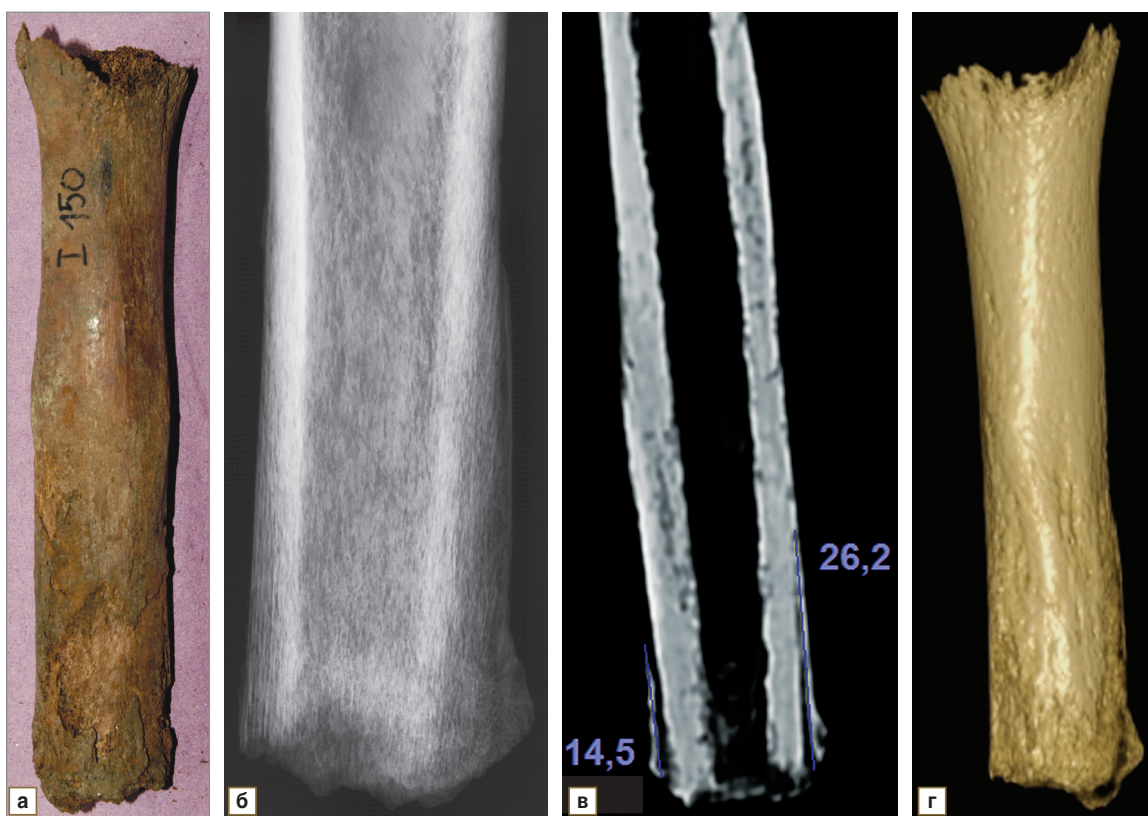


Рис. 4. Результаты лучевого исследования ампутационной культи правой плечевой кости с признаками периостоза (а — фото). На цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым 3,2-кратным увеличением изображения (б), конусно-лучевой томограмме (в) и мультисрезовой компьютерной томограмме (г) у латерального края опилов определяется пограничный краниальный остеофит. Край опилов имеет неровный, четкий контур. Отмечается наличие компактной замыкательной пластинки (в). По латеральной и медиальной поверхностям в зоне изменений имеются признаки гиперостоза (б–г). На указанном уровне костно-мозговой канал неравномерно сужен, в его просвете определяют высокоплотные включения. Кортикальные пластинки спонгиозированы, утолщены за счет периостального компонента костной мозоли (в)

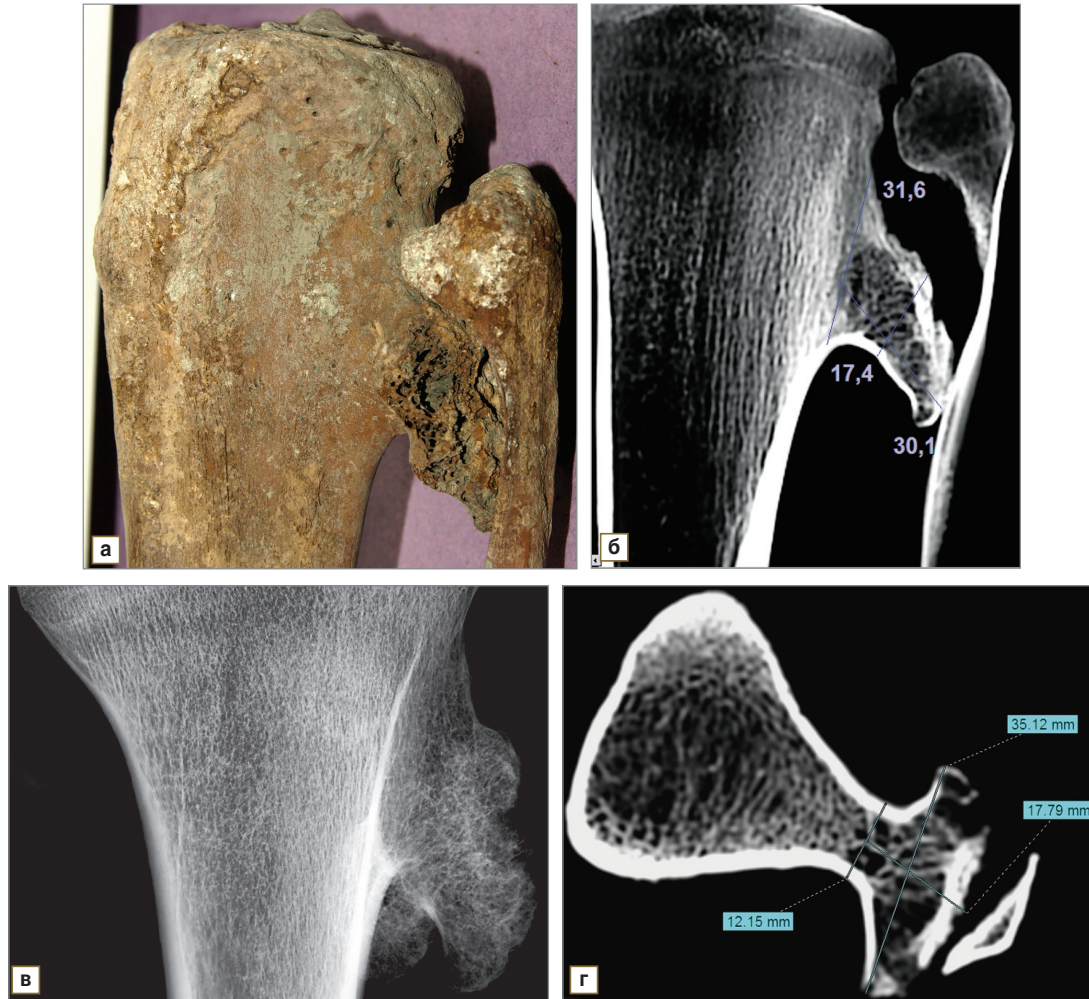


Рис. 5. В результате лучевого исследования костей голени по латеральной поверхности большеберцовой кости на уровне проксимального эпифиза обнаружено объемное образование из губчатого вещества с нечетким, неровным наружным контуром (а — фото). Ось малоберцовой кости на данном уровне искривлена за счет латеральной девиации, отмечается атрофия ее головки и шейки. Костно-мозговой канал резко сужен, деформирован (б — конусно-лучевая томограмма). Данные лучевых исследований не позволяют исключить остеохондрому проксимального метаэпифиза большеберцовой кости (б, в — цифровая микрофокусная рентгенограмма с прямым двукратным увеличением изображения, г — мультисрезовая компьютерная томограмма)

внимание высокое качество конусно-лучевых компьютерных томограмм. В ряде случаев они не уступают изображениям, полученным при МСКТ. При выполнении МСКТ и КЛКТ достоверно определялось наличие фрагментов металлической плотности размерами от 1,0 мм, которые не визуализировались при проведении цифровой микрофокусной рентгенографии с прямым многократным увеличением изображения (рис. 6, а–г).

Выполнение МСКТ и КЛКТ дает возможность визуализировать мелкие костные фрагменты и участки патологической перестройки костной ткани размерами менее 3,0 мм, уточнить их локализацию и пространственное расположение. При цифровой микрофокусной рентгенографии с многократным увеличением достоверно выявить вышеуказанные изменения не удалось (рис. 7, а–в).

Комплексное использование современных методов лучевой диагностики позволило обнаружить наличие костного анкилоза, участков воспалительной деструкции размерами до 3,0 мм, проследить протяженность линии перелома и реакции надкостницы. Следует отметить, что признаки костного анкилоза достоверно визуализировались на изображениях, полученных в результате применения каждой из трех используемых методик. Наиболее информативными при выявлении остальных вышеуказанных изменений были изображения, полученные в результате КЛКТ (рис. 8, а–в).

Заключение. Полученные данные доказывают целесообразность применения современных методов лучевой диагностики с широким спектром возможностей постпроцессорной обработки изображений для характеристики боевых повреждений прошлых войн.

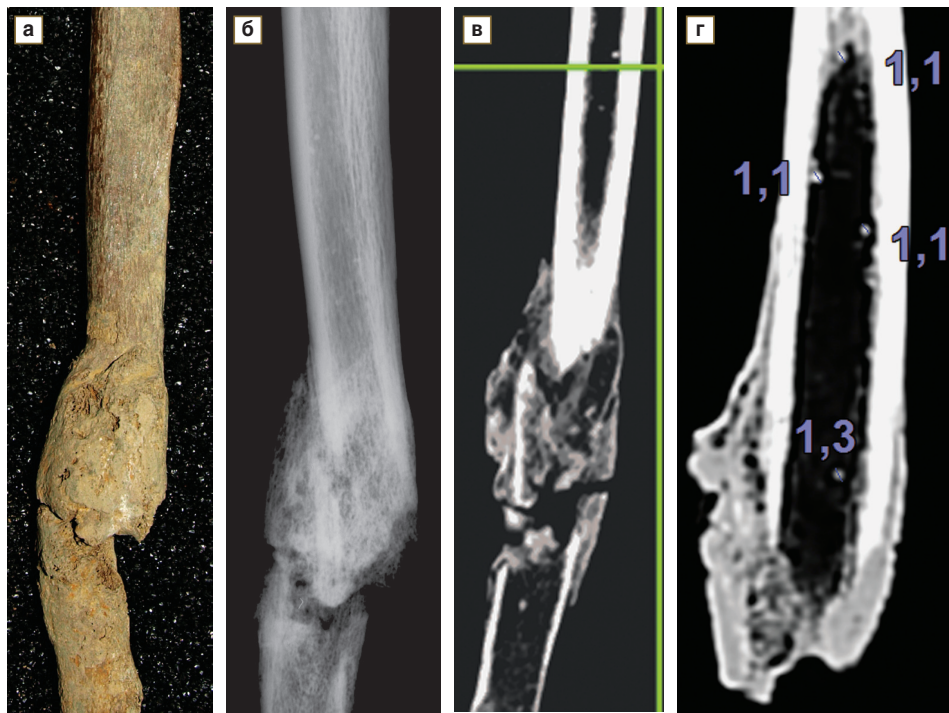


Рис. 6. Результаты лучевого исследования сопоставленных фрагментов правой локтевой кости (а — фото). На цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым двукратным увеличением изображения (б), мультисрезовой компьютерной томограмме (в) и конусно-лучевой компьютерной томограмме (г) визуализируются признаки консолидированного многооскольчатого перелома правой локтевой кости. При КЛКТ (г) и МСКТ (в) достоверно определяются множественные инородные тела металлической плотности (дробь — ?), однако они не визуализируются на цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым двукратным увеличением изображения (б)

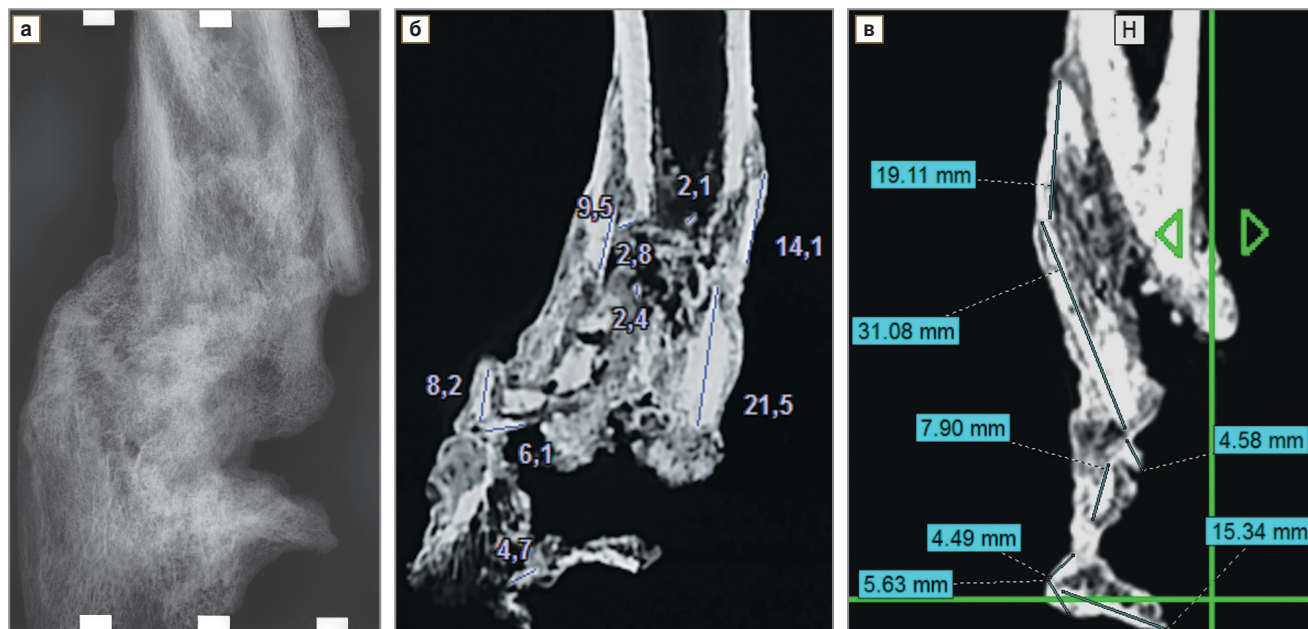


Рис. 7. Результаты лучевого исследования сопоставленных фрагментов правой плечевой кости. На цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым 3,2-кратным увеличением изображения (а), конусно-лучевой компьютерной томограмме (б), мультисрезовой компьютерной томограмме (в) визуализируются признаки неправильно консолидированного многооскольчатого перелома правой плечевой кости с варусной деформацией ее оси. Костно-мозговой канал на данном уровне резко сужен, кортикальные пластинки утолщены за счет эндостального и периостального компонентов. Смещение бывших осколков не устранено: оно отмечается по ширине кнаружи и на ширину кортикального слоя под углом, открытым кнаружи. При КЛКТ (б) и МСКТ (в) достоверно определяются признаки консолидации в виде «костных мостиков» за счет сращения множественных промежуточных фрагментов размерами от 2,1 мм и периостальных компонентов, но они не визуализируются на цифровой микрофокусной рентгенограмме с прямым двукратным увеличением изображения (а)

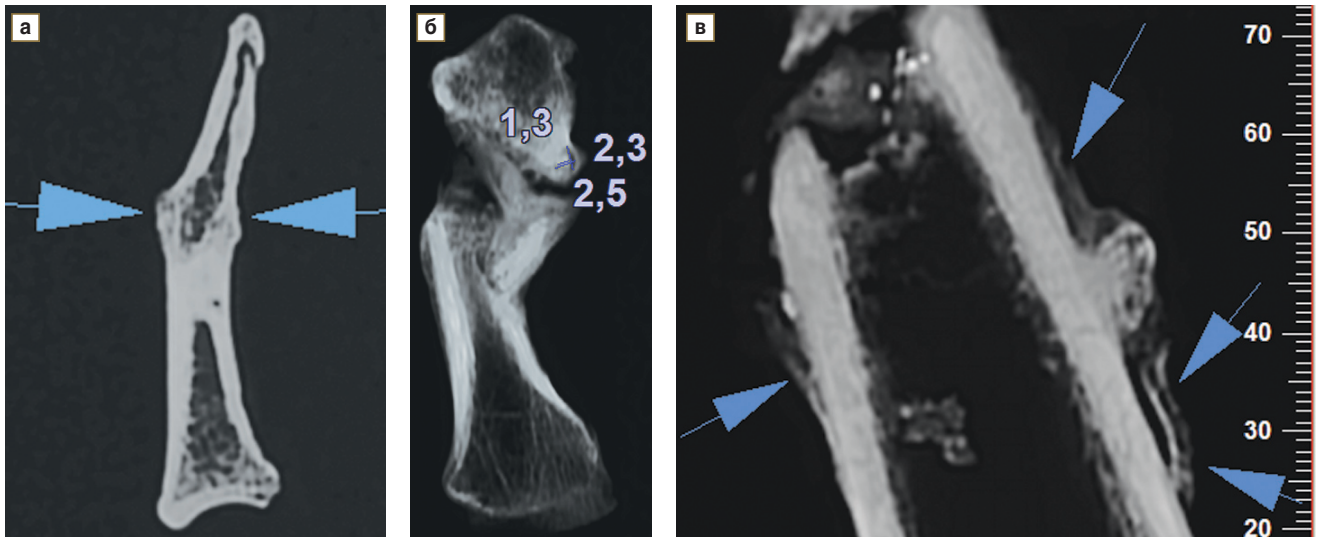


Рис. 8. На представленных конусно-лучевых компьютерных томограммах достоверно визуализируются признаки костного анкилоза между дистальной и средней фалангами; отмечается переход костных балок с одной кости на другую. На месте отсутствующей суставной щели кортикальные пластины имеют непрерывный ход (а); секвестральная полость, окруженная зоной склероза, размерами 2,3×2,5 мм с наличием в ней секвестра размером 1,3 мм (б); фрагменты линейной и луковичной периостальных реакций (в)

При конусно-лучевой компьютерной томографии удается получить высококачественные изображения фрагментов костяков, оценить их структуру, достоверно установить наличие фрагментов металлической плотности размерами от 1,0 мм, выявить признаки костного анкилоза, проследить протяженность линии перелома и реакции надкостницы, визуализировать мелкие костные фрагменты и участки патологической перестройки костной ткани размерами менее 3,0 мм, а также уточнить их локализацию и пространственное расположение.

Учитывая, что изображения, полученные в ходе проведения конусно-лучевой компьютерной томографии, сопоставимы с мультисрезовыми компьютерными томограммами, данную методику можно использовать как приоритетную при оценке структуры и распространенности патологических изменений костной ткани.

Финансирование исследования и конфликт интересов. Исследование не финансировалось какими-либо источниками, и конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

Литература

1. Бужилова А.П., Добровольская М.В., Медникова М.Б., Потрахов Н.Н., Потрахов Е.Н., Грязнов А.Ю. Применение микрофокусной рентгенографии при диагностике заболеваний древнего человека. *Петербургский журнал электроники* 2008.
2. 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/.
3. Coopersmith H. How X-rays demystified a 2,500-year-old battle wound. *LiveScience's Expert Voices: Op-Ed & Insights* 2013; Jul 02, <http://www.livescience.com/37929-deadly-barbed-arrowhead-revealed-by-xray.html>.

4. 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: 44–48.

5. Медникова М.Б. Кисть сунгирца (новые данные о строении трубчатых костей). *Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология* 2012; 4: 4, http://www.antropos.msu.ru/vestnic/12_4.html.

6. De Froidmont S., Grabherr S., Vaucher P., De Cesare M., Egger C., Papageorgopoulou C., Roth V., Morand G., Mangin P., Uldin T. Virtual anthropology: a comparison between the performance of conventional X-ray and MDCT in investigating the trabecular structure of long bones. *Forensic Sci Int* 2013 Feb 10; 225(1–3): 53–59. Epub 2012 Nov 13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.10.029>.

7. Макарова Д.В. Новые возможности методов лучевой диагностики в антропологии. В кн.: *Материалы междунар. VI конференции «Невский радиологический форум — 2013»*; 2013; с. 318.

References

1. Buzhilova A.P., Dobvol'skaja M.V., Mednikova M.B., Potrahov N.N., Potrahov E.N., Grjaznov A.Ju. Primenenie mikrofokusnoy rentgenografii pri diagnostike zabolevaniy drevnego cheloveka [Application of microfocus roentgenography in diagnostics of diseases of an ancient man]. *Peterburgskij zhurnal jelektroniki — Saint Petersburg Journal of Electronics* 2008.
2. Buzhilova A.P., Berезина N.Ja., Selezneva V.I. Novye nakhodki iz kolleksii Rokhlina: rentgenologicheskiy analiz obratstov iz paleopatologicheskogo fonda MAE RAN [New findings from the collection of Rokhlin: roentgenological analysis of samples from the Paleopatological Fund of MAE RAS]. *Jelektronnaja biblioteka Muzeja antropologii i jetnografii im. Petra Velikogo (Kunstkamera) RAN — Electronic Library of Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnology (the Kunstkamera Museum) of RAS*, http://www.kunstkamera.ru/lib/rubrikator/08/08_02/978-5-88431-238-8/.
3. Coopersmith H. How X-rays demystified a 2,500-year-old battle wound. *LiveScience's Expert Voices: Op-Ed & Insights* 2013; Jul 02, <http://www.livescience.com/37929-deadly-barbed-arrowhead-revealed-by-xray.html>.
4. Vasil'ev A.Ju., Bulanova I.M., Buzhilova A.P.,

Mednikova M.B., Berezina N.Ja. Mikrofokusnaya rentgenografiya i spiral'naya rentgenovskaya komp'yuternaya tomografiya v raspoznavanii izmeneniy kostnoy tkani u drevnikh lyudey [Microfocus radiography and spiral x-ray computed tomography in recognition of changes of bone tissue of ancient people]. *Kaz Med Z — Kazan Medical Journal* 2010; 1: 44–48.

5. Mednikova M.B. Kist' sungirtsya (novye dannye o stroenii trubchatykh kostey) [The sungirc's brush (new data about structure of tubular bones)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya — Vestnik of Moscow University. Seried XXIII. Anthropology* 2012; 4: 4, http://www.antropos.msu.ru/vestnic/12_4.html.

6. De Froidmont S., Grabherr S., Vaucher P., De Cesare M., Egger C., Papageorgopoulou C., Roth V., Morand G., Mangin P., Uldin T. Virtual anthropology: a comparison between the performance of conventional X-ray and MDCT in investigating the trabecular structure of long bones. *Forensic Sci Int* 2013 Feb 10; 225(1–3): 53–59. Epub 2012 Nov 13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.10.029>.

7. Makarova D.V. Novye vozmozhnosti metodov luchevoy diagnostiki v antropologii. V kn.: *Materialy Mezhdunar. VI konferentsii «Nevskiy radiologicheskiy forum — 2013»* [New opportunities of radiodiagnostics in anthropology. In: Proceedings of International VI conference "Nevsky Radiological Forum — 2013]. 2013; p. 318.