

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ / BIOLOGICAL ANTHROPOLOGY

Научная статья / Research Article

<https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-25-4-9>

УДК/UDC 572.5; 03.61.21

Палеопатологическая диагностика детской цинги и рахита методом деревьев классификации

В.В. Куфтерин¹✉, М.К. Карапетян²

¹ Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ vladimirkufterin@mail.ru

РЕЗЮМЕ

Введение. Публикация преследует двоякую цель – 1) представление вероятного случая метаболического заболевания на скелете ребенка эпохи поздней бронзы с территории Южного Зауралья и 2) рассмотрение диагностических возможностей алгоритма деревьев классификации для дифференциации детской цинги и рахита на остеологическом материале.

Материалы и методы. Скелет ребенка в возрасте 4–8 мес. с патологическими изменениями обнаружен при раскопках кургана 1 могильника Неплюевский, погребальные комплексы которого отнесены к срубно-алакульскому культурному типу. Наблюдаемые патологические изменения согласуются с диагнозом рахит и/или цинга. Задача дифференциальной диагностики этих двух состояний решалась методом деревьев классификации (пакет Statistica 12.0) с использованием 13 параметров и привлечением 110 палеопатологических случаев метаболических нарушений (72 случая рахита и 38 – цинги). Построение двух вариантов деревьев с разными способами заполнения пропусков в данных осуществлялось методом CHAID. Для оценки качества классификации использованы показатели точности, чувствительности, специфичности и отношения правдоподобия для положительного результата. Дополнительно между всеми входными признаками были рассчитаны коэффициенты корреляции.

Результаты и обсуждение. Совокупность имеющихся макроскопических и рентгенографических признаков свидетельствует о наличии у ребенка метаболического нарушения, в наибольшей степени согласующегося с диагнозом рахит. Построенные деревья решений имеют высокую точность классификации (93,6%) и высокое отношение правдоподобия для положительного результата.

Заключение. Диагностированный случай рахита является одним из наиболее ранних и первым, надежно документированным на палеоантропологическом материале с рассматриваемой территории. Полученные деревья классификации свидетельствуют, что дифференциация рахита и цинги может быть осуществлена с использованием трех признаков – деформации и утолщения длинных костей конечностей, а также патологических изменений эпифизарных пластинок роста.

Ключевые слова: палеоантропология; биоархеология; метаболические нарушения; дефицит витаминов С и D; деревья решений; эпоха бронзы; Южный Урал

Благодарности. Исследование выполнено в соответствии с планами НИР Института этнологии и антропологии РАН «Тема 5. Ультрасоциальность человека: биосоциальные и кросскультурные аспекты» – Рег. № НИОКТР 124112200079-1 (В.В. Куфтерин). Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова (М.К. Карапетян).

Для цитирования: Куфтерин В.В., Карапетян М.К. Палеопатологическая диагностика детской цинги и рахита методом деревьев классификации // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2025. № 4. С. 108–124. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-25-4-9>

Paleopathological diagnosis of non-adult scurvy and rickets using decision tree analysis

Vladimir V. Kufterin ¹✉, Marina K. Karapetian ²

¹ N.N. Miklukho-Maklai Institute of Ethnology and Anthropology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ vladimirkufterin@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. This publication has a twofold aim: (1) to present a probable case of a metabolic disease in a Late Bronze Age child skeleton from the Southern Trans-Urals, and (2) to examine the diagnostic potential of classification tree algorithms for differentiating infantile scurvy and rickets in osteological material.

Materials and methods. The skeleton of a 4–8-month-old child with pathological changes was found in Kurgan 1 of the Nepluyevsky cemetery, attributed to the Srubnaya-Alakul cultural type. The observed pathological changes are consistent with rickets and/or scurvy. Differential diagnosis between these two conditions was performed using classification tree analysis (Statistica 12.0 package), based on 13 parameters and a dataset of 110 paleopathological cases of metabolic disorders (72 cases of rickets and 38 of scurvy). Two classification models were constructed using CHAID algorithm, each employing a different approach to handling missing data. Accuracy, sensitivity, specificity, and positive likelihood ratio were calculated to assess classification quality. In addition, correlation coefficients were computed for all input variables.

Results and discussion. The combination of macroscopic and radiographic features indicates that the child was suffering from a metabolic disorder, most consistent with rickets. The obtained decision trees demonstrate high classification accuracy (93.6%) and a high positive likelihood ratio.

Conclusion. The child from Kurgan 1 represents one of the earliest and the first reliably documented paleopathological case of rickets from the study region. The resulting decision trees show that rickets and scurvy can be differentiated using three features: long-bone deformity and general thickening, and abnormalities on bone underlying growth plates.

Keywords: paleopathology; bioarchaeology; metabolic disease; vitamin C and D deficiency; classification trees; Bronze Age; Southern Urals

Acknowledgements. The article has been written in accordance with the research plans of the N.N. Miklukho-Maklai Institute of Ethnology and Anthropology RAS (Theme No. 5. Human ultrasociality: Biosocial and cross-cultural aspects – R & D No. 124112200079-1) (V.V. Kufterin). The study was conducted under the state assignment of Lomonosov Moscow State University (M.K. Karapetian).

For citation: Kufterin V.V., Karapetian M.K. Paleopathological diagnosis of non-adult scurvy and rickets using decision tree analysis. *Lomonosov Journal of Anthropology*. 2025 (4), pp. 108-124. <https://doi.org/10.55959/MSU2074-8132-25-4-9>

Введение

Разработка и внедрение в биоархеологическую практику диагностических критериев детской цинги и рахита связаны с именами выдающегося палеопатолога Дональда Ортнера (1938–2012), а также С. Мэйса и М. Брикли – ведущих специалистов в области изучения метаболических нарушений на ископаемом материале. В результате работ этих авторов и возглавляемых ими коллективов, предложены детальные перечни морфологических и рентгенографических признаков, позволяющих проводить палеопатологическую диагностику дефицита витаминов С (Ortner, Ericksen, 1997; Ortner et al., 1999, 2001; Brickley, Ives, 2006, 2008, p. 56–63; Brown, Ortner, 2011) и D (Ortner, Mays, 1998; Mays et al., 2006; Brickley, Ives, 2008, p. 97–102). Следствием этого стало лавинообразное увеличение количества публикаций, посвященных рассмотрению цинги (обзоры см.: (Brickley, Ives, 2008, p. 54–56, 72–74; Crandall, Klaus, 2014; Mays, 2014; Lewis, 2018, p. 213–218; Brickley, Mays, 2019, p. 534–537)) и, в несколько меньшей степени, рахита (обзоры см.: (Brickley, Ives, 2008, p. 96–97, 134–142; Lewis, 2018, p. 209–213; Mays, Brickley, 2018; Brickley, Mays, 2019, p. 543–545)), – патологических состояний еще четверть века назад плохо различимых или практически «невидимых» на скелетных останках детей.

Помимо расширения перечня диагностических признаков, предложенных Д. Ортнером, и детализации процедуры дифференциальной диагностики, особенно применительно к детской цинге (Geber, Murphy, 2012; Stark, 2014; Klaus, 2017; Snoddy et al., 2018; Simonit et al., 2023), разработаны несколько различающиеся критерии степеней определенности палеопатологического диагноза обоих состояний (Snoddy et al., 2018; Brickley, Morgan, 2023; Vlok, 2023; Vlok et al., 2024). Вместе с тем нужно отметить, что и диагностические «критерии Ортнера» и более поздние «критерии Снодди» дефицита витамина С на скелетных останках, опирающиеся, прежде всего, на поротические изменения структур черепа и ряда других костей, подвергались критике разной степени жесткости за спекулятивность и несоответствие клинически описанным проявлениям детской цинги на остеологическом материале (Melikian, Waldron, 2003; Rothschild et al., 2023, p. 117–118, 432–433).

Определение патологических состояний на скелетных останках продолжает в основном опираться на традиционный дифференциально-диагностический подход к материалу и, таким образом, целиком и полностью зависит от опыта и квалификации конкретного исследователя. Отметим, в этой связи, что уровень межавторских расхождений в оценке «критериев Ортнера» при диагностике цинги до сих пор не учитывался количественно, что может служить источником потенциальных ошибок и значительных вариаций в определении признаков, особенно, когда речь идет о пористости на детских костях, где грань между нормой и патологией очень тонка (Mays, 2014, p. 58). Изложенные обстоятельства, с нашей точки зрения, актуализируют необходимость более широкого внедрения количественных методов в исследовательскую практику специалистов-палеопатологов.

Мы не останавливаемся на особенностях применения вероятностных подходов к палеоэпидемиологической оценке инфекционных заболеваний (проказы и туберкулеза) (Boldsen, 2001; Dangvard Pedersen et al., 2019 (критику см.: Vlok, 2023)) по той причине, что отдельно взятый скелет здесь не представляет особого интереса. На индивидуальном уровне подход к количественной оценке степени определенности палеопатологического диагноза был предложен на основе формулы Байеса (Byers, Roberts, 2003). Однако помимо необходимости знания априорных вероятностей, его применение сталкивается еще минимум с двумя существенными сложностями. Первое – это условие независимости признаков. В палеопатологии, очевидно, что степень скоррелированности признаков находится в прямой зависимости от степени их специфичности к заболеванию (Geber, Murphy, 2012; Brickley et al., 2018). Вероятность неправильной классификации, в случае использования сильно скоррелированных особенностей, прямо пропорциональна их количеству. В целом, этим требованием можно пренебречь, особенно если количество анализируемых особенностей невелико (<10) (Byers, Roberts, 2003, p. 6). Гораздо сложнее преодолеть второе ограничение рассматриваемого метода – необходимость расчета вероятностей для взаимоисключающих состояний. В случае метаболических нарушений известно нередкое сосуществование у одного индивида сразу нескольких из них – цинги, рахита

и/или анемии (Ortner, Mays, 1998; Castilla et al., 2014; Schattmann et al., 2016; Lewis, 2018, p. 218; Brickley, Mays, 2019, p. 551–552). Специально сосуществованию (коморбидности) детской цинги и рахита посвящено диссертационное исследование А. Шаттманн (Schattmann, 2014).

Альтернативой изложенному может быть применение такого многомерного метода анализа данных как деревья решений (классификации). Этот метод используется для предсказания принадлежности объектов к определенному классу в зависимости от конкретного набора характеризующих их признаков. Его отличительными чертами и преимуществами являются иерархическая природа и гибкость. Последняя подразумевает возможность работы с предикторами разных типов (как количественными, так и категориальными) и рекурсивность (необязательность линейной связи между предикторами и классифицирующим признаком), а также отношение к некорреляционным методам анализа (Юнкеров с соавт., 2011, с. 268–269). В настоящее время алгоритм деревьев решений широко используется в медицине и других областях (Наркевич с соавт., 2021). Имеются примеры его успешного применения для решения классификационных задач в краниологии (Федорчук, Гончарова, 2024) и диагностических – в палеопатологии (Botha et al., 2024).

Целью сообщения является представление данных к диагностике метаболического заболевания на скелете ребенка эпохи бронзы с территории Южного Зауралья и рассмотрение диагностических возможностей алгоритма деревьев классификации для дифференциации детской цинги и рахита на остеологическом материале.

Материалы и методы

Изучаемый скелет происходит из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский в Южном Зауралье. Погребальные комплексы могильника датируются эпохой поздней бронзы (около 3800 л.н.) и отнесены к памятникам срубно-алакульского типа. В яме 6 находился скелет ребенка 4–8 мес. хорошей сохранности (рис. 1). Его генетический пол определяется как мужской (Blöcher et al., 2023, Table 1, Suppl. 1). На скелете присутствовали признаки системного заболевания. По предварительному заключению, «...характер изменений в наибольшей степени согласуется с диагнозом рахит» (Карапетян, Шаропова, 2022, с. 103).

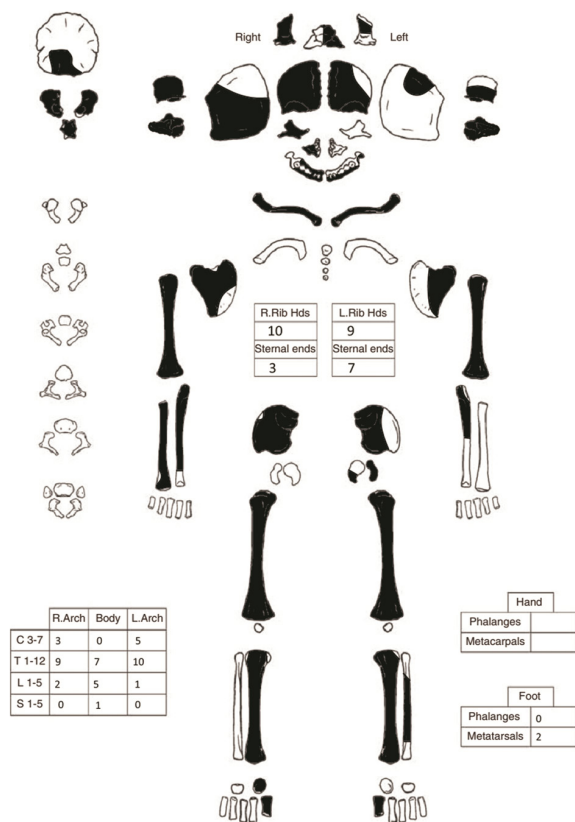


Рисунок 1. Комплектность скелета из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский (черным выделены сохранившиеся элементы)

Figure 1. Nepluyevsky Kurgan 1, jama 6: Skeletal inventory diagram showing the elements recorded as present (black)

На первом этапе проведены описание имеющихся на скелете макроскопических и рентгенографических признаков патологии, а также традиционная дифференциальная диагностика с исключением наименее вероятных диагностических опций (Brickley, Ives, 2008, p. 69–71, 114–117; Klaus, 2017; Srienc-Ściesiek et al., 2024). Рентгенографическое исследование выполнено в НИИ и Музее антропологии МГУ на микрофокусном рентгеновском аппарате ПРДУ-02.

На втором этапе задача дифференциальной диагностики рахита и детской цинги решалась методом деревьев классификации (модуль Data Mining пакета Statistica 12.0)¹. В качестве входных признаков использованы 13 параметров,

¹ Примеры задач, решаемых с помощью деревьев классификации, а также наборов данных для их построения с применением программных пакетов IBM SPSS Statistics и StatSoft Statistica детально рассматриваются в статье: (Наркевич с соавт., 2021).

один из которых (возраст в месяцах) представлен в количественном виде, а остальные – в категориальном. Используются следующие диагностические признаки: поротические изменения и/или отложения новообразованной костной ткани на костях черепного свода (CVP) и крыше орбиты (ORP), расширение и/или поротические изменения стернальных отделов ребер (RibPFI), деформация (DefLB) и утолщение (ThickLB) длинных костей нижней и/или верхней конечности, патологические изменения эпифизарных пластинок роста (AGP), расширение метафизов длинных костей нижней и/или верхней конечности (LBmetFI), поротические изменения и/или отложения новообразованной костной ткани в области метафизов и/или диафизов длинных костей конечностей (LBPMBF), то же в области большого крыла клиновидной кости (GWSP), то же в области подглазничного отверстия и/или заднего отдела верхней челюсти (MaxPMBF), то же в области медиальной поверхности венечного отростка и/или челюстно-подъязычной борозды нижней челюсти (MandPMBF), поротические изменения в надостной и/или подостной ямках лопатки (ScapP)². Три признака (DefLB, ThickLB, AGP) признаются высоко диагностически значимыми для рахита, четыре (GWSP, MaxPMBF, MandPMBF, ScapP) – для детской цинги, а оставшиеся пять представляют собой общие манифестации этих заболеваний (Schattmann et al., 2016; Brickley, Morgan, 2023).

Для построения классификации использовались опубликованные данные по 110 диагностированным случаям метаболических нарушений в скелетных выборках, из которых 72 определены как последствия рахита, а 38 – детской цинги (табл. 1). Пропуски в данных заполнялись двумя наиболее простыми способами – новой категорией (0 – отсутствие наблюдения, 1 – отсутствие признака, 2 – наличие признака) и модой распределения (0 – отсутствие признака, 1 – наличие признака). Необходимость импутации обусловлена тем, что алгоритм деревьев классификации пакета Statistica не способен работать с пропущенными значениями напрямую. В случае категориальных переменных пропуски проще всего заполнить либо отдельной катего-

рией «неизвестно» (осуществление наблюдения оказалось невозможным в силу тех или иных причин), либо наиболее часто встречающимся значением в соответствующем массиве данных (то есть «1» или «0», в зависимости от того, какое состояние признака – наличие или отсутствие – чаще встречалось при каждом из рассмотренных диагнозов).

Классификация осуществлялась на два класса: наличие рахита и отсутствие рахита (наличие цинги). Построение двух вариантов деревьев решений с разными способами заполнения пропущенных данных осуществлялось методом CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detection), формирующим разделение узлов на основе статистики хи-квадрат (Наркевич с соавт., 2021). Данным алгоритмом предусмотрено два критерия остановки построения дерева: достижение максимального количества уровней (по умолчанию выборка расщепляется на пять уровней, но может быть задано другое значение, в идеале равное количеству независимых переменных) или минимального числа наблюдений в узлах. Последнее не должно быть слишком мало, чтобы не нарушать требований статистики хи-квадрат, но должно быть достаточным для выявления сочетаний признаков, наибольшим образом влияющих на целевую переменную. В работе принят второй вариант, с максимальным числом итераций по умолчанию равным 100. Важно, что метод CHAID позволяет осуществлять многомерное расщепление узлов, в результате чего каждый из них при разбиении может иметь более двух потомков. Предикторы, расположенные в верхней части, имеют большую важность, нежели переменные-предикторы из нижней части дерева. Поскольку перебор в каждой из подгрупп всех предикторов происходит независимо до нахождения лучшего решения (максимизации различий), ветвление может быть продолжено, даже если уже был определен преобладающий класс на верхних уровнях деревьев классификации. Для оценки качества классификации использованы показатели точности, чувствительности и специфичности с 95% доверительными интервалами (ДИ), а также отношение правдоподобия (LR) для положительного результата. Точность классификации представляет собой отношение количества верно классифицированных случаев к их общему количеству в наборе данных. Чувствительность и специфичность – статистические показатели, выводимые

² Значимые для диагностики рентгенографические признаки (Mays et al., 2006; Brickley, Ives, 2008, p. 62–65, 106–107; Schattmann et al., 2016) не включались в анализ, так как по разным причинам зачастую не представлены в палеопатологических источниках.

Таблица 1. Опубликованные палеопатологические случаи рахита и детской цинги, использованные в анализе
Table 1. Reported paleopathological cases of rickets and scurvy used in the analysis

Местонахождение (остеологическая коллекция) / Site (Skeletal sample)	Регион (локализация) / Region (Location)	Датировка / Archaeological date	N* / Number affected	Источник данных / Source
Рахит / Rickets				
Калат-аль-Бахрейн / Qal'at al-Bahrain	Бахрейн / Bahrain	750–500 BC	4	Littleton, 1998
Уоррэм Перси / Wharram Percy	Норт-Йоркшир, Англия / North Yorkshire, England	Средневековье / Medieval	8	Ortner, Mays, 1998
Капелла Медичи, базилика Св. Лаврентия / Medici Chapels, Basilica of San Lorenzo	Флоренция, Италия / Florence, Italy	XVI–XVII вв. / 16th – 17th centuries	9	Giuffra et al., 2015
Бродгейт / Broadgate	Лондон, Англия / London, England	1569–1720 AD	7	Pinhasi et al., 2006
Мидденбемстер / Middenbeemster	Бемстер, Северная Голландия, Нидерланды / Beemster, North Holland, the Netherlands	1617–1866 AD	9	Veselka et al., 2015
Церковь Св. Мартина / St. Martin's Church	Бирмингем, Англия / Birmingham, England	XIX в. / 19th century	21	Mays et al., 2006
Церковь Св. Иоанна / St. John's Church	Редхилл, Суррей, Англия / Redhill, Surrey, England	XIX в. / 19th century	14	Watts, Valme, 2018
<i>Суммарно / Total</i>			72 случая / 72 cases	
Цинга / Scurvy				
Наг эль-Кармила / Nag el-Qarmila	Асуан, Египет / Aswan, Egypt	3800–3600 BC	1	Pitre et al., 2016
Барроу Кламп / Barrow Clump	Уилтшир, Англия / Wiltshire, England	2200–1970 BC	1	Mays, 2008
Теума / Teouma	о. Эфате, Вануату / Efate, Vanuatu	3100–3000 BP	5	Buckley et al., 2014
Понтеканьяно / Pontecagnano	Кампания, Италия / Campania region, Italy	730–580 BC	5	Simonit et al., 2023
Монте-да-Сегонья / Monte da Segonha	Видигейра, Португалия / Vidigueira, Portugal	IV в. / 4th century	1	Ferreira, 2002
Чорнанкап, Хоторо, Этен / Chornancap, Jotoro, Eten	долина Ламбаеке, Перу / Lambayeque Valley, Peru	900–1750 AD	5	Klaus, 2014
Аликианос / Alikianos	Ханья, о. Крит, Греция / Chania, Crete, Greece	XI–XII вв. / 11th – 12th centuries	4	Bourbou, 2014
Зидине / Zidine	Мачванска-Митровица, Сербия / Mačvanska Mitrovica, Serbia	1260–1400 AD	1	Brown, Ortner, 2011
Уака-де-лос-Сакрифисиос, Уака-Дос-Кабесас / Huaca de los Sacrificios, Dos Cabezas	долины Ламбаеке и Хекетепеке, Перу / Lambayeque and Jequetepeque valleys, Peru	1375–1532 AD	2	Klaus, 2017
Церковь Иоанна Златоуста / Church of John the Chrysostom	Ярославль, Россия / Yaroslavl, Russia	XVI–XVII вв. / 16th – 17th centuries	3	Mednikova et al., 2013
Бачальмаш / Bácsalmás–Óalmás	Венгрия / Hungary	XVI–XVII вв. / 16th – 17th centuries	4	Lovász et al., 2013
Церковь Св. Мартина / St. Martin's Church	Бирмингем, Англия / Birmingham, England	XVIII–XIX вв. / 18th – 19th centuries	6	Brickley, Ives, 2006
<i>Суммарно / Total</i>			38 случаев / 38 cases	

Примечания. * N – число случаев.
 Notes. * N – number of cases.

из ошибок первого и второго рода в бинарной классификации. Чувствительность в нашем случае показывает вероятность того, что случаи рахита будут классифицироваться именно как таковые. Специфичность будет отражать вероятность правильно идентифицированных случаев не рахита (в нашем случае – цинги) классифицированных именно как цинга. Положительное отношение правдоподобия сравнивает вероятность, с которой случаи рахита были верно классифицированы как рахит, и вероятность, с которой случаи цинги были неверно классифицированы как рахит. Все эти показатели с разных позиций позволяют оценить качество классификации, а их расчет можно осуществить с применением онлайн-калькуляторов используя значения, представленные в таблицах результатов классификации (вкладка Classification модуля деревьев классификации). Дополнительно с помощью модуля Correlation matrices пакета Statistica 12.0 между всеми признаками были рассчитаны коэффициенты корреляции (четырёхклеточные в случае бинарных переменных и точечно-бисериальные для оценки их связи с возрастом), признававшиеся значимыми при $p < 0,05$.

Результаты³

Описание и дифференциальная диагностика патологических изменений

На наружной поверхности костей черепного свода (лобная, правая теменная, височные, затылочная) имеются небольшие отложения новообразованной костной ткани. Их структура, в том числе наружная поверхность больших и малых крыльев клиновидной кости, выражено пористая. Отложения светлой новообразованной пористой костной ткани присутствуют на верхних стенках глазниц и внутренней поверхности лобной, теменных и затылочной костей. На длинных трубчатых костях и правой ключице отмечается субпериостальное костеобразование, степень выраженности которого оценивается баллом 4, а степень деформации кортикального слоя – баллом 1 (Ribot, Roberts, 1996, p. 70–73). Наблюдаются увеличение обхватов (утолщение), небольшая деформация диафизов и характерное

расширение метафизов длинных костей, а также изменения структуры кости в местах прикрепления ряда мышц и энтезисов. Стернальные отделы ребер расширены и имеют пористую структуру. На правой лопатке отмечается мелкопористая структура латерального края и задней поверхности. В надостной ямке прослеживаются эрозивные изменения наружной компакты. Примеры макроскопических патологических изменений представлены на рисунках 2 и 3.

На рентгенограммах длинных костей в различной степени наблюдаются снижение плотности костной ткани (остеопения) при одновременном утолщении кортикального слоя. Метафизы нечеткие с «огрублением» трабекулярной структуры (рис. 4). Изменения внутренней структуры костей особенно очевидны при сравнении с рентгенограммами ребенка близкого возраста без признаков патологии из ямы 15 этого же могильника (на примере плечевых костей см.: (Карапетян, Шарапова, 2022, с. 103, 112)).

Палеопатологическая диагностика метаболических нарушений включает их дифференциацию от псевдопатологических (например, тафономических) и обусловленных нормальными ростовыми процессами изменений, а также широкого спектра других заболеваний, включая проявления инфекций, неоплазм, врожденных деформаций костей и ряда редких патологических состояний другой этиологии (Brickley, Ives, 2008, pp. 69–71, 114–117; Klaus, 2017; Srienc-Ściesiek et al., 2024).

Отмеченные на скелете рентгенографические признаки не позволяют рассматривать имеющиеся особенности в качестве псевдопатологических, а также проявлений ростовых процессов в норме. Симметричность большинства поражений позволяет исключить из спектра возможных диагнозов неспецифические инфекции, для остеологических проявлений которых типичны асимметричные проявления на разных стадиях заживления.

Гипертрофическая легочная остеоартропатия исключается на основе возраста исследуемого индивида, поскольку проявляется обычно в подростковом периоде. При этом состоянии, кроме того, почти никогда не затрагивается наружная поверхность черепного свода. При инфантильном кортикальном гиперостозе (болезнь Каффи) поражение трубчатых костей ограничивается в основном диафизами, следствием чего может являться их веретенообразная деформация.

³ Дополнительные данные по описанию и дифференциальной диагностике патологических изменений, фотоматериалы и рентгенограммы, а также полные сведения по процедуре и результатам статистического анализа могут быть получены по запросу у авторов статьи.



Рисунок 2. Патологические изменения на скелете из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский (масштабная линейка 20 мм): правая лопатка, вид сзади сверху – поротические и эрозивные изменения в надостной ямке (1); плечевые кости, вид сзади – поротические изменения и отложения новообразованной костной ткани, небольшая деформация и утолщение диафизов, расширение метафиза справа (2); правая локтевая кость, вид с латеральной стороны, правая лучевая кость, вид с медиальной стороны – поротические изменения и отложения новообразованной костной ткани, утолщение костей (3)

Figure 2. Examples of macroscopic abnormalities in the jama 6 individual from Nepluyevsky Kurgan 1 (each white line represents 20 mm): right scapula, superior-posterior view, cortical porosity and erosion in the supraspinous fossa (1); left and right humerus, posterior view, cortical porosity with new bone formation, slight abnormal curvature and thickening, metaphyseal flaring on the right side (2); right forearm bones, ulna lateral view, radius medial view, cortical porosity with new bone formation, and abnormal thickening (3)

Врожденные деформации костей конечностей, также как и предыдущее заболевание, редки и не сопровождаются повреждением ростовых зон. Болезнь Блаунта исключается на основании грудного возраста индивида и наличия слабой деформации не только проксимального отдела большеберцовой кости, но и других длинных костей (плечевой). Неоплазмы представляются маловероятной опцией так же на основании возраста, кроме того, пористость при лейкозном новообразовании приурочена в основном к метафизам и областям, прилегающим к питательным отверстиям длинных костей.

Присутствующие на скелете патологические изменения с наибольшей вероятностью обусловлены метаболическими нарушениями. Среди них однозначно исключается хроническая

анемия, поскольку аномальная пористость наблюдается, в том числе на участках, содержащих минимальное количество кроветворного костного мозга (большое крыло клиновидной кости), а на имеющихся фрагментах черепа нет гиперплазии диплоэ. Пеллагра – состояние, слабо изученное с точки зрения скелетной патологии, – не сопровождается отложением новообразованной костной ткани в местах прикрепления мышц и характеризуется периостозом в основном нижней конечности (Klaus, 2017; Srienc-Ściesiek et al., 2024). В свете изложенного, дальнейшему рассмотрению подлежат две наиболее вероятные диагностические опции – рахит и детская цинга. В таблице 2 систематизированы признаки, наблюдающиеся на изучаемом скелете и характерные для этих двух заболеваний.



Рисунок 3. Патологические изменения на скелете из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский (масштабная линейка 20 мм): правые средние ребра, вид спереди – поротические изменения и расширение стернальных отделов (1); бедренные кости, вид спереди – расширение метафизов и порозность кортикального слоя (2); большеберцовые кости, вид с медиальной стороны – поротические изменения и отложения новообразованной костной ткани, небольшое утолщение диафизов, медиальный наклон дистальной ростовой пластинки слева (3)

Figure 3. Examples of macroscopic abnormalities in the jama 6 individual from Nepluyevsky Kurgan 1 (each white line represents 20 mm): right middle ribs, anterior view, abnormal pitting, flaring and fraying margins of the sternal ends (1); right and left femur, anterior view, metaphyseal flaring with abnormal cortical porosity (2); right and left tibia, medial view, cortical porosity with new bone formation, abnormal thickening, medial tilting of distal growth plate on the left side (3)

Решение задачи дифференциальной диагностики методом деревьев классификации

Минимальное и максимальное количество пропусков в данных приходится на признаки DefLB (4 или 3,6%) и ScarP (69 или 62,7%), при средней этого показателя в 24 (21,8%) и медиане в 17 (15,5%) пропущенных значений. В результате построения дерева классификации для дифференциальной диагностики рахита и детской цинги с обработкой пропусков новой категорией (рис. 5, 1) в качестве входных переменных в модель включены четыре признака: DefLB, AGP, ORP и ThickLB. Дерево состоит из пяти уровней и включает шесть терминальных узлов. Точность классификации составляет 93,6% (95% ДИ 89,0–98,2), чувствительность – 94,5% (95% ДИ 89,3–99,7), специфичность – 91,9% (95% ДИ 83,1–100,0), при LR для положительного результата равном 11,7. У индивидов с диагностированным рахитом, данным де-

ревом классификации предсказывается наличие рахита в 95,8% случаев, а наличие цинги – в 4,2%. У индивидов с диагностированной цингой, наличие рахита предсказывается в 10,5% случаев, а наличие цинги – в 89,5%.

В результате построения дерева классификации с обработкой пропусков модой распределения (рис. 5, 2) в качестве входных переменных в модель включены пять признаков: DefLB, AGP, GWSP, ORP и ThickLB. Дерево состоит из четырех уровней и включает шесть терминальных узлов. Точность классификации здесь также составляет 93,6% (95% ДИ 89,0–98,2), чувствительность – 92,2% (95% ДИ 86,2–98,2), специфичность – 97,0% (95% ДИ 91,2–100,0), при LR для положительного результата равном 30,7. У индивидов с диагностированным рахитом наличие рахита предсказывается в 98,6% случаев, а наличие цинги – в 1,4%. У индивидов с диагностированной цингой, наличие рахита предсказывается в 15,8% случаев, а наличие цинги – в 84,2%.

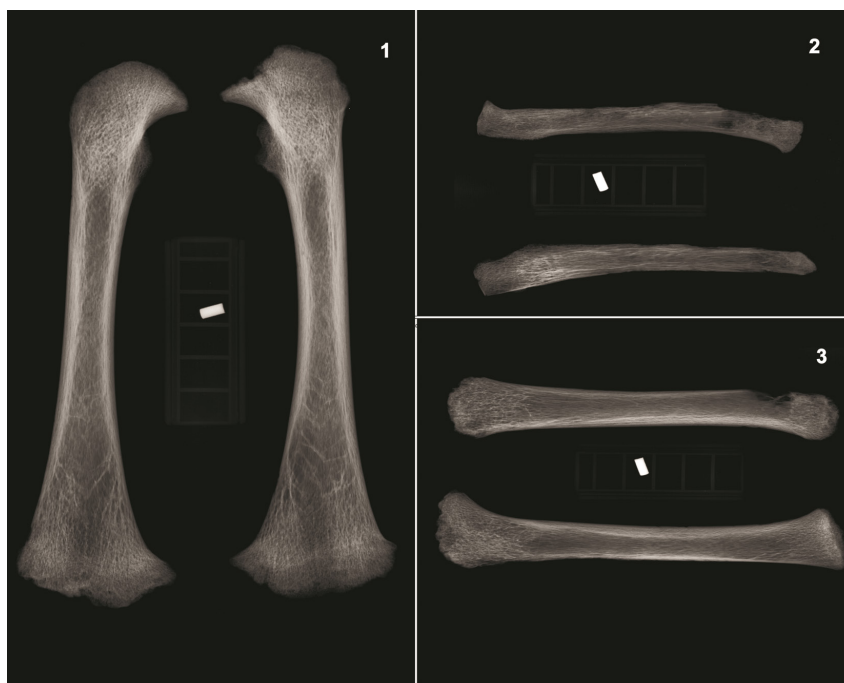


Рисунок 4. Патологические изменения на скелете из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский: «огрубление» трабекулярной структуры метафизов, нечеткие/«размытые» эпифизарные пластинки роста и остеопения с утолщенным кортикальным слоем на переднезадней рентгенограмме бедренных костей (1); остеопения с нечеткостью внутренних границ кортикального слоя на переднезадней рентгенограмме костей правого предплечья (2); «огрубление» трабекулярной структуры метафизов и нечеткость внутренних границ кортикального слоя на боковой рентгенограмме большеберцовых костей (3)

Figure 4. Nepluyevsky Kurgan 1, jama 6: antero-posterior radiograph of the femora, showing coarsening of metaphyseal trabecular bone, fraying of the distal ends, and thickening of cortical bone with generalized osteopenia (1); antero-posterior radiograph of the right forearm bones, showing loss of cortico-medullary distinction in the diaphyses caused by osteopenia (2); lateral radiograph of the tibiae, showing coarsening of metaphyseal trabecular bone, and some loss of cortico-medullary distinction (3)

Оценка статистической связи признаков

Возраст индивидов обнаруживает достоверные обратные слабые или средние связи с поротическими изменениями и/или отложениями новообразованной костной ткани в области черепного свода (-0,28), нижней челюсти (-0,34) и задней поверхности лопатки (-0,38), патологическими изменениями эпифизарных пластинок роста (-0,28), а также расширением и/или поротическими изменениями стернальных отделов ребер (-0,56) – с увеличением возраста имеется тенденция к более редкой встречаемости этих особенностей. Поротические изменения и/или отложения новообразованной костной ткани в области большого крыла клиновидной кости прямо и в сильной степени скоррелированы с

двумя другими диагностическими индикаторами цинги – аналогичными изменениями на верхней (0,87) и нижней (0,82) челюсти, которые в свою очередь значительно связаны между собой (0,77). Эти три особенности заметно коррелируют с проявлениями поротических изменений на черепном своде и крыше орбиты (в среднем 0,55 и 0,52 соответственно).

Диагностически значимые признаки рахита обнаруживают следующие существенные и достоверные связи. Деформация длинных костей конечностей прямо скоррелирована с расширением их метафизов (0,63) и обратно – со всеми значимыми индикаторами цинги (-0,63 в среднем). Патологические изменения эпифизарных пластинок роста обнаруживают средние связи с расширением и/или поротическими изменениями стернальных

Таблица 2. Патологические особенности на скелете ребенка из ямы 6 кургана 1 могильника Неплюевский, ассоциированные с дефицитом витаминов D и/или C
Table 2. Pathological features associated with vitamin D and/or C deficiency that are present on the child skeleton from jama 6 Nepluyevsky Kurgan 1

Рахит* / Rickets	Общие манифестации** / Both pathologies	Цинга*** / Scurvy
Макроскопические признаки / Macroscopic features		
«Огрубление» эпифизарных пластинок роста (Pr)**** Утолщение длинных костей (Pr) Деформация длинных костей верхней конечности (Pr) Деформация длинных костей нижней конечности (Pr) Porosis/roughening of bone underlying long-bones growth plates (Pr)**** Long-bone general thickening (Pr) Deformed arm bones (Pr) Deformed leg bones (Pr)	Расширение стернальных отделов ребер (Po) Расширение метафизов костей верхней конечности (Po) Расширение метафизов костей нижней конечности (Po) Поротические изменения и отложения новообразованной костной ткани на костях черепного свода (Nd) Поротические изменения стернальных отделов ребер и метафизов длинных костей (Nd) Costochondral rib flaring (Po) Arm bones metaphyseal flaring (Po) Leg bones metaphyseal flaring (Po) Cranial vault porosity and new bone formation (Nd) Costochondral rib and long-bone metaphyseal porosity (Nd)	Пороз большого и малого крыла клиновидной кости (Pr/Po) Пороз надостной и подостной ямок лопатки (Pr) Поротические изменения на подвздошных костях (Nd) Отложения новообразованной костной ткани на длинных костях верхней и нижней конечности (Nd) Изменения на эндокране (Nd) Porosity on the greater and lesser wing of the sphenoid bone (Pr/Po) Porosity on the supra- and infraspinous fossa of the scapula (Pr) Porosity on the internal and external surfaces of the ilium (Nd) Abnormal new bone formation on the arm and leg bone diaphyses (Nd) Endocranial porosity and new bone formation (Nd)
Рентгенографические признаки / Radiographic features		
«Огрубление» трабекулярной структуры метафизов (Po) Неоднородная структура, «размытость» эпифизарных пластинок роста (Po) Утолщение кортикального слоя длинных костей (Po) Trabecular coarsening in distal metaphyses (Po) Fraying of the growth plates (Po) Long-bone cortical thickening (Po)	Генерализованная остеопения диафизов и метафизов длинных костей (Nd) Generalized osteopenia (shaft and metaphyses) (Nd)	Нет (?) No (?)

Примечания. * Диагностические критерии рахита см.: (Ortner, Mays, 1998; Mays et al., 2006; Brickley, Ives, 2008, p. 103–107; Lewis, 2018, p. 210; Brickley, Mays, 2019, p. 540; Brickley, Morgan, 2023). ** Общие диагностические признаки см.: (Schattmann, 2014, p. 47–50, 53–54; Schattmann et al., 2016). *** Диагностические критерии детской цинги см.: (Ortner, Ericksen, 1997; Ortner et al., 1999, 2001; Brickley, Ives, 2006, 2008, p. 57, 65; Brown, Ortner, 2011; Geber, Murphy, 2012; Klaus, 2014, 2017; Stark, 2014; Lewis, 2018, p. 217; Snoddy et al., 2018; Brickley, Mays, 2019, p. 534; Brickley, Morgan, 2023). **** Диагностическая категория по А. Шаттманн (Schattmann, 2014, p. 65–67, 69) и А. Шаттманн с соавторами (Schattmann et al., 2016, p. 66–67): Pr – вероятный признак, Po – возможный признак, Nd – признак недиагностичен.

Notes. * Diagnostic criteria for rickets drawn from: (Ortner, Mays, 1998; Mays et al., 2006; Brickley, Ives, 2008, p. 103–107; Lewis, 2018, p. 210; Brickley, Mays, 2019, p. 540; Brickley, Morgan, 2023). ** Shared diagnostic features drawn from: (Schattmann, 2014, p. 47–50, 53–54; Schattmann et al., 2016). *** Diagnostic criteria for scurvy drawn from: (Ortner, Ericksen, 1997; Ortner et al., 1999, 2001; Brickley, Ives, 2006, 2008, p. 57, 65; Brown, Ortner, 2011; Geber, Murphy, 2012; Klaus, 2014, 2017; Stark, 2014; Lewis, 2018, p. 217; Snoddy et al., 2018; Brickley, Mays, 2019, p. 534; Brickley, Morgan, 2023). **** Feature diagnostic category following Schattmann (2014, p. 65–67, 69) and Schattmann et al. (2016, p. 66–67): Pr – probable, Po – possible, Nd – non-diagnostic.

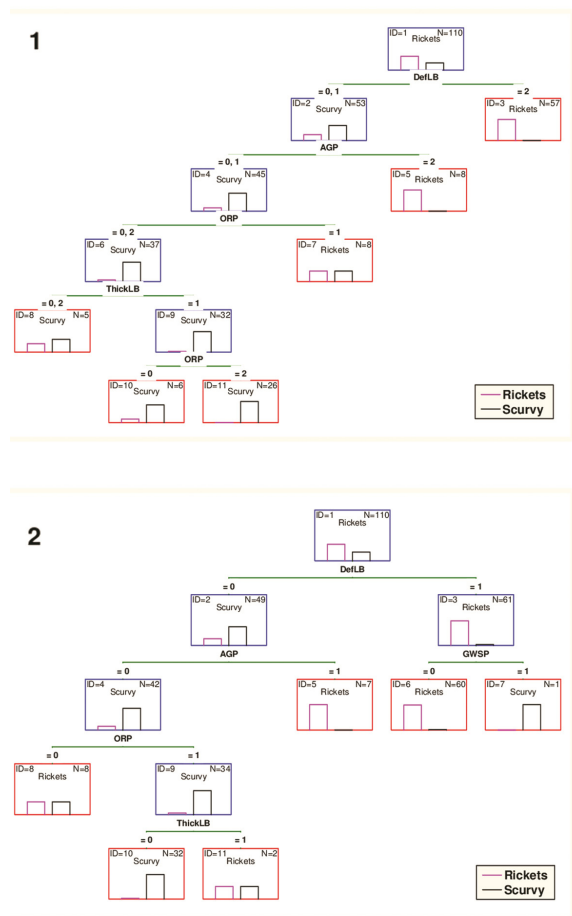


Рисунок 5. Графическое представление полученных деревьев классификации с заполнением пропусков новой категорией (1) и модой распределения (2)

Figure 5. Decision trees with replacing missing data using arbitrary value (1) and mode imputation (2)

Примечания. * DefLB – деформация длинных костей нижней и/или верхней конечности, AGP – патологические изменения эпифизарных пластинок роста, ORP – поротические изменения и/или отложения новообразованной костной ткани на крыше орбиты, ThickLB – утолщение длинных костей нижней и/или верхней конечности, GWSP – поротические изменения и/или отложения новообразованной костной ткани в области большого крыла клиновидной кости. ** Красные прямоугольники представляют собой терминальные узлы. *** N – общее число классифицированных случаев в подмножестве.

Notes. * DefLB – deformed leg and/or arm bones, AGP – porosis/roughening of bone underlying long-bone growth plates, ORP – orbital roof porosity and/or new bone formation, ThickLB – long-bone general thickening, GWSP – bilateral porosity and/or new bone formation on the external surface of the greater wing of sphenoid. ** Red rectangles represent terminal nodes. *** N – total number of cases in a subset.

отделов ребер (0,36), деформацией (0,43), утолщением (0,46), расширением метафизов (0,41) длинных костей и поротическими изменениями и/или отложениями новообразованной костной ткани на их метафизах и/или диафизах (0,41). С признаками цинги изменения эпифизарных пластинок роста скоррелированы отрицательно (-0,36 в среднем). Утолщение длинных костей конечностей умеренно связано с их деформацией (0,38), расширением метафизов (0,37) и поротическими изменениями и/или отложениями новообразованной костной ткани на их метафизах и/или диафизах (0,30) при обратной отрицательной связи с индикаторами цинги (-0,30 в среднем).

Обсуждение

В работе для дифференциации рахита от детской цинги с помощью деревьев классификации оказалось достаточно наличия нескольких параметров – деформации (DefLB), утолщения (ThickLB) и патологических изменений эпифизарных пластинок роста (AGP) длинных костей конечностей. Отсутствие поротических изменений и/или отложений новообразованной костной ткани на крыше орбиты (ORP) и в области большого крыла клиновидной кости (GWSP) также свидетельствует в пользу диагноза рахит, а не цинга. Отметим, что параметр ORP в первом варианте анализа принимает участие в классификации рекурсивно дважды, а GWSP присутствует лишь во втором варианте классификации. Высокое отношение правдоподобия для положительного результата в обеих моделях (>10) указывает на полезность данных классификаций и содержание доказательств, подтверждающих наличие диагноза. То обстоятельство, что в обоих вариантах анализа на первом шаге дифференциация происходит по признаку DefLB, свидетельствует о ключевой значимости деформации длинных костей конечностей для распознавания рахита.

Ограничением исследования является то, что деревья классификации получены нами не на данных документированной коллекции, как в аналогичной работе по туберкулезу (Botha et al., 2024), а на материале археологических выборок с диагнозом, установленным остеологически. При этом авторам неизвестны документированные коллекции с достаточным количеством детских скелетов с клинически установленными проявлениями рахита и/или цинги.

Снижение корреляции между диагностическими признаками рахита может быть связано с тем, что в анализ одновременно включались изменения характерные для активной фазы заболевания и последствия перенесенной недостаточности витамина D, а также признаки, встречающиеся в обоих случаях (Brickley, Morgan, 2023, Table 2). Высокие корреляции GWSP с другими индикаторами цинги, а также поротическими изменениями черепного свода и крыши орбиты при отрицательных достоверных связях со всеми ключевыми признаками рахита, подтверждают положение Д. Ортнера о том, что билатеральная пористость наружной поверхности больших крыльев клиновидной кости – особенность, «практически патогномичная»⁴ для детской цинги (Ortner, Ericksen, 1997, p. 214). Наряду с этим признаком в двух построенных вариантах деревьев классификации присутствует и ОРП в качестве индикатора, разграничивающего цингу и рахит. В связи с этим, важно подробно описывать этот неспецифический признак, его характер и степень выраженности, не ограничиваясь констатацией наличия/отсутствия *cribra orbitalia* (см.: (Ribot, Roberts, 1996, p. 69–71)).

Возвращаясь к скелету ребенка из Неплюевского могильника, остановимся на следующих моментах. Наличие всех значимых индикаторов рахита (DefLB, AGP и ThickLB) однозначно свидетельствует в пользу этого диагноза. При этом отложения новообразованной костной ткани на крыше орбиты (ОРП) и пористость большого крыла клиновидной кости (GWSP), как представляется, не позволяют рассматривать рахит в качестве единственной опции. В этой связи важно подчеркнуть, что отмеченные на обсуждаемом черепе дефекты морфологически представляют собой «псевдопористость», не проникающую глубоко в кортикальный слой, в отличие от новообразованных сосудистых отверстий при цинге, возникающих как реакция на локальное кровоотечение (Giuffra et al., 2015, p. 618). Поражения на правой лопатке также могут свидетельствовать против рахита как единственного диагноза, поскольку считается, что поротические изменения на плоских костях поясов конечностей

⁴ Патогномичный (реже – патогномичный) – симптом или признак, однозначно указывающий на присутствие определенного заболевания. Иными словами, особенность, выступающая основой для постановки диагноза.

стей не характерны для этого заболевания (Bourbou, 2014, p. 91). Однако в программной статье по палеопатологической диагностике рахита Д. Ортнер и С. Мэйс указывают на наличие поротических изменений на лопатках двух индивидов 3 и 4–6 мес. из Уоррэм Перси (Ortner, Mays, 1998, pp. 49–50).

Совокупность полученных результатов свидетельствует в пользу первоначального предположения, что ребенок из ямы 6 кургана 1 Неплюевского могильника страдал рахитом, а не другим метаболическим нарушением (Карапетян, Шарапова, 2022, с. 103). В последнее время появляется все больше данных о том, что рахит может быть следствием не только дефицита витамина D, но и микроэлементов, в том числе кальция (Vlok et al., 2023). Однако, учитывая грудной возраст ребенка из ямы 6, наблюдаемые изменения на скелете вероятнее всего обусловлены именно недостатком витамина D. Его содержание в женском молоке недостаточно для удовлетворения суточных потребностей ребенка, а уровень снижается еще больше, если мать также испытывает дефицит витамина D (Creo et al., 2017, p. 85). Можно предположить, что наряду с низким уровнем инсоляции (длительное нахождение в землянке или полуземлянке), этот фактор мог способствовать развитию заболевания в рассмотренном случае.

Выводы

1. Диагностированный случай дефицита витамина D (рахит) на скелете ребенка из ямы 6 кургана 1 Неплюевского могильника является одним из наиболее ранних хронологически и первым, надежно документированным на палеоантропологическом материале с территории Южного Урала.

2. Полученные деревья классификации свидетельствуют, что дифференциация рахита и детской цинги может быть осуществлена с использованием всего трех признаков – деформации и утолщения длинных костей верхней и/или нижней конечности, а также патологических изменений эпифизарных пластинок роста.

3. Использование статистических методов, алгоритма деревьев классификации в частности, следует признать перспективным с точки зрения повышения строгости дифференциальной палеопатологической диагностики, а также возможности ранжирования патологических индикаторов

торов относительно их специфичности к заболеванию.

Список литературы

- Карапетян М.К., Шаропова С.В. Патологические изменения на скелетах из Неплюевского могильника эпохи поздней бронзы (курган 1) // Нижневолжский археологический вестник, 2022. Т. 21. № 2. С. 100–119. <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2022.2.6>.
- Медникова М.Б., Энговатова А.В., Шведчикова Т.Ю., Решетова И.К., Васильева Е.Е. «Дети Смутного времени»: новые данные о качестве жизни в г. Ярославле XVI–XVII вв. по антропологическим материалам из раскопок детских погребений // Краткие сообщения Института археологии РАН, 2013. Вып. 228. С. 115–126.
- Наркевич А.Н., Виноградов К.А., Гржибовский А.М. Интеллектуальные методы анализа данных в биомедицинских исследованиях: деревья классификации // Экология человека, 2021. № 3. С. 54–64 <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-3-54-64>
- Федорчук О.А., Гончарова Н.Н. Применение метода «деревья решений» для дифференциации групп человечества // Археология, этнография и антропология Евразии, 2024. Т. 52. № 3. С. 148–156. <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.3.148-156>
- Юнкеров В.И., Григорьев С.Г., Резванцев М.В. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. СПб.: ВМедА, 2011. ISBN 5-94277-011-5.
- Blöcher J., Brami M., Feinauer I.S., Stolarczyk E., Diekmann Y. et al. Descent, marriage, and residence practice of a 3,800-year-old pastoral community in Central Eurasia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2023, 120 (36), e2303574120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2303574120>
- Boldsen J.L. Epidemiological approach to the paleopathological diagnosis of leprosy. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2001, 115, pp. 380–387.
- Botha D., Masiu R., Steyn M. Assessing tuberculosis in the skeleton with the use of decision tree analysis. *Anthropol. Anz.*, 2024, 81 (2), pp. 233–239. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2023/1737>
- Bourbou C. Evidence of childhood scurvy in a Middle Byzantine Greek population from Crete, Greece (11th – 12th centuries A.D.). *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.12.002>
- Brickley M., Ives R. Skeletal manifestations of infantile scurvy. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2006, 129, pp. 163–172 <https://doi.org/10.1002/ajpa.20265>
- Brickley M., Ives R. *The Bioarchaeology of Metabolic Bone Disease*. London, Academic Press, 2008. XVI, 333 p. ISBN 978-0-12-370486-3.
- Brickley M., Mays S. Metabolic disease. In *Ortner's Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. San Diego, Academic Press, 2019, pp. 531–566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809738-0.00015-6>
- Brickley M.B., Mays S., George M., Prowse T.L. Analysis of patterning in the occurrence of skeletal lesions used as indicators of vitamin D deficiency in subadult and adult skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.01.001>
- Brickley M.B., Morgan B. Assessing diagnostic certainty for scurvy and rickets in human skeletal remains. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2023, 181, pp. 637–645. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24799>.
- Brown M., Ortner D.J. Childhood scurvy in a Medieval burial from Mačvanska Mitrovica, Serbia. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2011, 21, pp. 197–207. <https://doi.org/10.1002/oa.1124>
- Buckley H.R., Kinaston R., Halcrow S.E., Foster A., Spriggs M. et al. Scurvy in a tropical paradise? Evaluating the possibility of infant and adult vitamin C deficiency in the Lapita skeletal sample of Teouma, Vanuatu, Pacific islands. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.03.001>
- Byers S.N., Roberts C.A. Bayes' theorem in paleopathological diagnosis. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2003, 121, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10164>
- Castilla M., Carretero J.-M., Gracia A., Arsuaga J.-L. Evidence of rickets and/or scurvy in a complete Chalcolithic child skeleton from the El Portalón site (Sierra de Atapuerca, Spain). *J. Anthropol. Sci.*, 2014, 92, pp. 257–271. <https://doi.org/10.4436/JASS.92005>
- Crandall J.J., Klaus H.D. Advancements, challenges, and prospects in the paleopathology of scurvy: Current perspectives on vitamin C deficiency in human skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.04.005>.
- Creo A.L., Thacher T.D., Pettifor J.M., Strand M.A., Fischer P.R. Nutritional rickets around the world: An update. *Paediatr. Int. Child Health*, 2017, 37 (2), pp. 84–98. <https://doi.org/10.1080/20469047.2016.1248170>
- Dangvard Pedersen D., Milner G.R., Kolmos H.J., Boldsen J.L. The association between skeletal lesions and tuberculosis diagnosis using probabilistic approach. *Int. J. Paleopathol.*, 2019, 27, pp. 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2019.01.001>
- Ferreira M.T. A scurvy case in an infant from Monte da Cegonha (Vidigueira – Portugal). *Antropologia Portuguesa*, 2002, 19, pp. 57–63.
- Geber J., Murphy E. Scurvy in the Great Irish Famine: Evidence of vitamin C deficiency from a mid-19th century skeletal population. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2012, 148, pp. 512–524. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22066>
- Giuffra V., Vitiello A., Caramella D., Fornaciari A., Giustini D. et al. Rickets in a high social class of Renaissance Italy: The Medici children. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2015, 25, pp. 608–624. <https://doi.org/10.1002/oa.2324>
- Klaus H.A. Subadult scurvy in Andean South America: Evidence of vitamin C deficiency in the late pre-Hispanic and Colonial Lambayeque Valley, Peru. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.09.002>
- Klaus H.D. Paleopathological rigor and differential diagnosis: Case studies involving terminology, description, and diagnostic framework for scurvy in skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2017, 19, pp. 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2015.10.002>
- Lewis M. *Paleopathology of Children: Identification of Pathological Conditions in the Human Skeletal Remains of Non-Adults*. London, Academic Press, 2018. XI, 288 p. ISBN 978-0-12-410402-0.
- Littleton J. A Middle Eastern paradox: Rickets in skeletons from Bahrain. *J. Paleopath.*, 1998, 10 (1), pp. 13–30.
- Lovász G., Schultz M., Gödde J., Bereczki Z., Pálfi Gy. et al. Skeletal manifestations of infantile scurvy in a late medieval anthropological series from Hungary. *An-*

thropol. Sci., 2013, 121 (3), pp. 173–185. <https://doi.org/10.1537/ase.130905>

Mays S. A likely case of scurvy from Early Bronze Age Britain. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2008, 18, pp. 178–187. <https://doi.org/10.1002/oa.930>

Mays S. The palaeopathology of scurvy in Europe. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.09.001>

Mays S., Brickley M. Vitamin D deficiency in bioarchaeology and beyond: The study of rickets and osteomalacia in the past. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.05.004>

Mays S., Brickley M., Ives R. Skeletal manifestations of rickets in infants and young children in a historic population from England. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2006, 129, pp. 362–374. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20292>

Melikian M., Waldron T. An examination of skulls from two British sites for possible evidence of scurvy. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2003, 13, pp. 207–212. <https://doi.org/10.1002/oa.674>

Ortner D.J., Butler W., Cafarella J., Milligan L. Evidence of probable scurvy in subadults from archeological sites in North America. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2001, 114, pp. 343–351.

Ortner D.J., Erickson M.F. Bone changes in the human skull probably resulting from scurvy in infancy and childhood. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 1997, 7, pp. 212–220.

Ortner D.J., Kimmerle E.H., Diez M. Probable evidence of scurvy in subadults from archeological sites in Peru. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1999, 108, pp. 321–331.

Ortner D.J., Mays S. Dry-bone manifestations of rickets in infancy and early childhood. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 1998, 8, pp. 45–55.

Pinhasi R., Shaw P., White B., Ogden A.R. Morbidity, rickets and long-bone growth in post-medieval Britain – a cross-population analysis. *Ann. Hum. Biol.*, 2006, 33 (3), pp. 372–389. <https://doi.org/10.1080/03014460600707503>

Pitre M.C., Stark R.J., Gatto M.C. First probable case of scurvy in ancient Egypt at Nag el-Qarnila, Aswan. *Int. J. Paleopathol.*, 2016, 13, pp. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2015.12.003>

Ribot I., Roberts C. A study of non-specific stress indicators and skeletal growth in two Mediaeval subadult populations. *J. Archaeol. Sci.*, 1996, 23, pp. 67–79.

Rothschild B.M., Surmik D., Bertozzo F. *Modern Paleopathology, The Study of Diagnostic Approach to Ancient Diseases, their Pathology and Epidemiology*. Berlin, Springer Nature, 2023. XXXVI, 851 p. ISBN 978-3-031-28623-0.

Schattmann A.B. *The Co-occurrence of Scurvy and Rickets in 16th to 18th Century Skeletal Material from Douai, France*. MA in Anthropology Thesis. McMaster University, Hamilton, 2014. XIII, 212 p.

Schattmann A., Bertrand B., Vatteoni S., Brickley M. Approaches to co-occurrence: Scurvy and rickets in infants and young children of 16–18th century Douai, France. *Int. J. Paleopathol.*, 2016, 12, pp. 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2015.12.002>

Simonit R., Maudet S., Giuffra V., Riccomi G. Infantile scurvy as a consequence of agricultural intensification in the 1st millennium BCE Etruria Campana. *Sci. Rep.*, 2023, 13 (1), 21396. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48455-0>

Snoddy A.M.E., Buckley H.R., Elliott G.E., Standen V.G., Arriaza B.T. et al. Macroscopic features of scurvy in human skeletal remains: A literature synthesis and diagnostic guide. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2018, 167, pp. 876–895. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23699>

Srienc-Ściesiek M.T., Richards N., Ladstätter S., Kirchengast S. Evidence of non-adult vitamin C deficiency in three early medieval sites in the Jaun/Podjuna Valley, Carinthia, Austria. *Int. J. Paleopathol.*, 2024, 45, pp. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2024.02.002>

Stark R.J. A proposed framework for the study of paleopathological cases of subadult scurvy. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.01.005>

Veselka B., Hoogland M.L.P., Waters-Rist A.L. Rural rickets: Vitamin D deficiency in a post-Medieval farming community from the Netherlands. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2015, 25, pp. 665–675. <https://doi.org/10.1002/oa.2329>

Vlok M. Technical note: The use and misuse of threshold diagnostic criteria in paleopathology. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2023, 181, pp. 326–335. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24721>

Vlok M., Oxenham M., Domett K., Trinh H.H., Minh T.T. et al. High prevalence of adult and nonadult scurvy in an early agricultural transition site from Mainland Southeast Asia was associated with decreased survivorship. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2024, 185, e25011. <https://doi.org/10.1002/ajpa.25011>

Vlok M., Snoddy A.M.E., Ramesh N., Wheeler B., Standen V.G. et al. The role of dietary calcium in the etiology of childhood rickets in the past and the present. *Am. J. Hum. Biol.*, 2023, 35 (2), e23819. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23819>

Watts R., Valme S.-R. Osteological evidence for juvenile vitamin D deficiency in a 19th century suburban population from Surrey, England. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.01.007>

References

Blöcher J., Brami M., Feinauer I.S., Stolarczyk E., Diekmann Y. et al. Descent, marriage, and residence practice of a 3,800-year-old pastoral community in Central Eurasia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2023, 120 (36), e2303574120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2303574120>

Boldsen J.L. Epidemiological approach to the paleopathological diagnosis of leprosy. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2001, 115, pp. 380–387.

Botha D., Masiu R., Steyn M. Assessing tuberculosis in the skeleton with the use of decision tree analysis. *Anthropol. Anz.*, 2024, 81 (2), pp. 233–239. <https://doi.org/10.1127/anthranz/2023/1737>

Bourbou C. Evidence of childhood scurvy in a Middle Byzantine Greek population from Crete, Greece (11th – 12th centuries A.D.). *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.12.002>

Brickley M., Ives R. Skeletal manifestations of infantile scurvy. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2006, 129, pp. 163–172. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20265>

Brickley M., Ives R. *The Bioarchaeology of Metabolic Bone Disease*. London, Academic Press, 2008. XVI, 333 p. ISBN 978-0-12-370486-3.

Brickley M., Mays S. Metabolic disease. In *Ortner's Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Re-*

- mains*. San Diego, Academic Press, 2019, pp. 531–566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809738-0.00015-6>
- Brickley M.B., Mays S., George M., Prowse T.L. Analysis of patterning in the occurrence of skeletal lesions used as indicators of vitamin D deficiency in subadult and adult skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.01.001>
- Brickley M.B., Morgan B. Assessing diagnostic certainty for scurvy and rickets in human skeletal remains. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2023, 181, pp. 637–645. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24799>
- Brown M., Ortner D.J. Childhood scurvy in a Medieval burial from Mačvanska Mitrovica, Serbia. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2011, 21, pp. 197–207. <https://doi.org/10.1002/oa.1124>
- Buckley H.R., Kinaston R., Halcrow S.E., Foster A., Spriggs M. et al. Scurvy in a tropical paradise? Evaluating the possibility of infant and adult vitamin C deficiency in the Lapita skeletal sample of Teouma, Vanuatu, Pacific islands. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.03.001>
- Byers S.N., Roberts C.A. Bayes' theorem in paleopathological diagnosis. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2003, 121, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10164>
- Castilla M., Carretero J.-M., Gracia A., Arsuaga J.-L. Evidence of rickets and/or scurvy in a complete Chalcolithic child skeleton from the El Portalón site (Sierra de Atapuerca, Spain). *J. Anthropol. Sci.*, 2014, 92, pp. 257–271. <https://doi.org/10.4436/JASS.92005>
- Crandall J.J., Klaus H.D. Advancements, challenges, and prospects in the paleopathology of scurvy: Current perspectives on vitamin C deficiency in human skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.04.005>
- Creo A.L., Thacher T.D., Pettifor J.M., Strand M.A., Fischer P.R. Nutritional rickets around the world: An update. *Paediatr. Int. Child Health*, 2017, 37 (2), pp. 84–98. <https://doi.org/10.1080/20469047.2016.1248170>
- Dangvard Pedersen D., Milner G.R., Kolmos H.J., Boldsen J.L. The association between skeletal lesions and tuberculosis diagnosis using probabilistic approach. *Int. J. Paleopathol.*, 2019, 27, pp. 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2019.01.001>
- Fedorchuk O.A., Goncharova N.N. Application of the decision tree method for differentiating human groups. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 2024, 52 (3), pp. 148–156. (In Russ.). <https://doi.org/10.17746/1563-0102.2024.52.3.148-156>
- Ferreira M.T. A scurvy case in an infant from Monte da Cegonha (Vidigueira – Portugal). *Antropologia Portuguesa*, 2002, 19, pp. 57–63.
- Geber J., Murphy E. Scurvy in the Great Irish Famine: Evidence of vitamin C deficiency from a mid-19th century skeletal population. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2012, 148, pp. 512–524. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22066>
- Giuffra V., Vitiello A., Caramella D., Fornaciari A., Giustini D. et al. Rickets in a high social class of Renaissance Italy: The Medici children. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2015, 25, pp. 608–624. <https://doi.org/10.1002/oa.2324>
- Karapetian M.K., Sharapova S.V. Pathological changes on skeletons from the Bronze Age Neplyuevsky cemetery (kurgan 1). *The Lower Volga Archaeological Bulletin*, 2022, 21 (2), pp. 100–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2022.2.6>
- Klaus H.A. Subadult scurvy in Andean South America: Evidence of vitamin C deficiency in the late pre-Hispanic and Colonial Lambayeque Valley, Peru. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.09.002>
- Klaus H.D. Paleopathological rigor and differential diagnosis: Case studies involving terminology, description, and diagnostic framework for scurvy in skeletal remains. *Int. J. Paleopathol.*, 2017, 19, pp. 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2015.10.002>
- Lewis M. *Paleopathology of Children: Identification of Pathological Conditions in the Human Skeletal Remains of Non-Adults*. London, Academic Press, 2018. XI, 288 p. ISBN 978-0-12-410402-0.
- Littleton J. A Middle Eastern paradox: Rickets in skeletons from Bahrain. *J. Paleopath.*, 1998, 10 (1), pp. 13–30.
- Lovász G., Schultz M., Gódde J., Bereczki Z., Pálfi Gy. et al. Skeletal manifestations of infantile scurvy in a late medieval anthropological series from Hungary. *Anthropol. Sci.*, 2013, 121 (3), pp. 173–185. <https://doi.org/10.1537/ase.130905>
- Mays S. A likely case of scurvy from Early Bronze Age Britain. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2008, 18, pp. 178–187. <https://doi.org/10.1002/oa.930>
- Mays S. The palaeopathology of scurvy in Europe. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.09.001>
- Mays S., Brickley M. Vitamin D deficiency in bioarchaeology and beyond: The study of rickets and osteomalacia in the past. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.05.004>
- Mays S., Brickley M., Ives R. Skeletal manifestations of rickets in infants and young children in a historic population from England. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2006, 129, pp. 362–374. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20292>
- Mednikova M.B., Engovatova A.V., Shvedchikova T.Yu., Reshetova I.K., Vasilyeva E.E. “Interlunation children”: New data on the quality of life in Yaroslavl in the 16th – 17th cc. according to the anthropological materials from children burials. *Brief Communications of the Institute of Archaeology*, 2013, 228, pp. 115–126. (In Russ.).
- Melikian M., Waldron T. An examination of skulls from two British sites for possible evidence of scurvy. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2003, 13, pp. 207–212. <https://doi.org/10.1002/oa.674>
- Narkevich A.N., Vinogradov K.A., Grijbovski A.M. Intelligent data analysis in biomedical research: Classification trees. *Human Ecology*, 2021, 3, pp. 54–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2021-3-54-64>
- Ortner D.J., Butler W., Cafarella J., Milligan L. Evidence of probable scurvy in subadults from archeological sites in North America. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2001, 114, pp. 343–351.
- Ortner D.J., Ericksen M.F. Bone changes in the human skull probably resulting from scurvy in infancy and childhood. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 1997, 7, pp. 212–220.
- Ortner D.J., Kimmerle E.H., Diez M. Probable evidence of scurvy in subadults from archeological sites in Peru. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1999, 108, pp. 321–331.
- Ortner D.J., Mays S. Dry-bone manifestations of rickets in infancy and early childhood. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 1998, 8, pp. 45–55.
- Pinhasi R., Shaw P., White B., Ogden A.R. Morbidity, rickets and long-bone growth in post-medieval Britain – a cross-population analysis. *Ann. Hum. Biol.*,

2006, 33 (3), pp. 372–389. <https://doi.org/10.1080/03014460600707503>

Pitre M.C., Stark R.J., Gatto M.C. First probable case of scurvy in ancient Egypt at Nag el-Qarmila, Aswan. *Int. J. Paleopathol.*, 2016, 13, pp. 11–19. DOI: 10.1016/j.ijpp.2015.12.003.

Ribot I., Roberts C. A study of non-specific stress indicators and skeletal growth in two Mediaeval subadult populations. *J. Archaeol. Sci.*, 1996, 23, pp. 67–79.

Rothschild B.M., Surmik D., Bertozzo F. *Modern Paleopathology, The Study of Diagnostic Approach to Ancient Diseases, their Pathology and Epidemiology*. Berlin, Springer Nature, 2023. XXXVI, 851 p. ISBN 978-3-031-28623-0.

Schattmann A.B. *The Co-occurrence of Scurvy and Rickets in 16th to 18th Century Skeletal Material from Douai, France*. MA in Anthropology Thesis. McMaster University, Hamilton, 2014. XIII, 212 p.

Schattmann A., Bertrand B., Vatteoni S., Brickley M. Approaches to co-occurrence: Scurvy and rickets in infants and young children of 16–18th century Douai, France. *Int. J. Paleopathol.*, 2016, 12, pp. 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2015.12.002>

Simonit R., Maudet S., Giuffra V., Riccomi G. Infantile scurvy as a consequence of agricultural intensification in the 1st millennium BCE Etruria Campana. *Sci. Rep.*, 2023, 13 (1), 21396. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48455-0>

Snoddy A.M.E., Buckley H.R., Elliott G.E., Standen V.G., Arriaza B.T. et al. Macroscopic features of scurvy in human skeletal remains: A literature synthesis and diagnostic guide. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2018, 167, pp. 876–895. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23699>

Srienc-Ściesiek M.T., Richards N., Ladstätter S., Kirchengast S. Evidence of non-adult vitamin C deficiency in three early medieval sites in the Jaun/Podjuna Valley, Carinthia, Austria. *Int. J. Paleopathol.*, 2024, 45, pp. 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2024.02.002>

Stark R.J. A proposed framework for the study of paleopathological cases of subadult scurvy. *Int. J. Paleopathol.*, 2014, 5, pp. 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.01.005>

Veselka B., Hoogland M.L.P., Waters-Rist A.L. Rural rickets: Vitamin D deficiency in a post-Medieval farming community from the Netherlands. *Int. J. Osteoarchaeol.*, 2015, 25, pp. 665–675. <https://doi.org/10.1002/oa.2329>

Vlok M. Technical note: The use and misuse of threshold diagnostic criteria in paleopathology. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2023, 181, pp. 326–335. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24721>

Vlok M., Oxenham M., Domett K., Trinh H.H., Minh T.T. et al. High prevalence of adult and nonadult scurvy in

an early agricultural transition site from Mainland South-east Asia was associated with decreased survivorship. *Am. J. Biol. Anthropol.*, 2024, 185, e25011. <https://doi.org/10.1002/ajpa.25011>

Vlok M., Snoddy A.M.E., Ramesh N., Wheeler B., Standen V.G. et al. The role of dietary calcium in the etiology of childhood rickets in the past and the present. *Am. J. Hum. Biol.*, 2023, 35 (2), e23819. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23819>

Watts R., Valme S.-R. Osteological evidence for juvenile vitamin D deficiency in a 19th century suburban population from Surrey, England. *Int. J. Paleopathol.*, 2018, 23, pp. 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.01.007>

Yunkerov V.I., Grigoryev S.G., Rezvantsev M.V. *Statistical Processing of Medical Research Data*. St. Petersburg, Voenno-meditsinskaya akademiya Publ., 2011. 318 p. (In Russ.). ISBN 5-94277-011-5.

Информация об авторах/ Information about the authors

Куфтерин Владимир Владимирович, д.б.н.;

vladimirkufterin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7171-8998>

Карапетян Марина Кареновна, к.б.н.;

marishkakar@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1886-8943>;

Kufterin Vladimir V., PhD, D.Sc.;

vladimirkufterin@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7171-8998>

Karapetian Marina K., PhD;

marishkakar@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1886-8943>

Поступила в редакцию 21.06.2025.
Получена после доработки 11.08.2025.
Принята к публикации 11.08.2025.

Received 21.06.2025.

Revised 11.08.2025.

Accepted 11.08.2025.