DOI: https://doi.org/10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

# Определение костного возраста по данным рентгенографии кисти: от классических методик к искусственному интеллекту (научный обзор)

Д.Н. Резников[1], Д.В. Кулиговский[1], И.Г. Воронцова[2], А.В. Петряйкин[1], Е.Е. Петряйкина[2,4,5], А.Е. Гордеев[1,3], М.Д. Варюхина[1], Р.А. Ерижоков[1,3], О.В. Омелянская[1], А.В. Владзимирский[1]

[1] Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия;
[2] Российская детская клиническая больница — филиал Российского национального исследовательского медицинского университета имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия;
[3] Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия;
[4] Морозовская детская городская клиническая больница, Москва, Россия;
[5] Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

Методики оценки костного возраста играют ключевую роль в диагностике заболеваний, связанных с нарушениями роста и развития, особенно в педиатрической практике. Они имеют как преимущества, так и ограничения, а их точность может варьировать в зависимости от популяционных особенностей.

В статье описано текущее состояние и обозначены перспективы развития методик оценки костного возраста, включая решения с использованием технологий искусственного интеллекта.

Поиск релевантной литературы за последние 10 лет по теме оценки костного возраста выполняли с использованием поисковых систем PubMed и eLibrary. Кроме того, включены более ранние работы, представляющие важные ориентиры в развитии методологии оценки костного возраста, включая атласы, руководства и соответствующие исследования. Основное внимание уделяли публикациям, рассматривающим распространённость и практическое применение различных методов оценки костного возраста, включая рентгенографию, ультразвуковое исследование, компьютерную и магнитно-резонансную томографию, а также технологии искусственного интеллекта. Поиск осуществляли с использованием ключевых слов: «bone age», «bone age assessment», «radiography», «artificial intelligence», «deep learning», «growth development», «AI», «костный возраст», «рентгенография», «искусственный интеллект».

Представленный обзор демонстрирует широкий спектр методик оценки костного возраста и подчёркивает значимость новых технологий, таких как искусственный интеллект, для повышения точности диагностики. Современные автоматизированные методы показывают высокий потенциал для совершенствования диагностического процесса в педиатрической практике и могут способствовать раннему выявлению патологий, связанных с нарушениями роста и развития.

**Ключевые слова:** костный возраст; искусственный интеллект; рентгенография кисти; обзор.

**Как цитировать:**
Резников Д.Н., Кулиговский Д.В., Воронцова И.Г., Петряйкин А.В., Петряйкина Е.Е., Гордеев А.Е., Варюхина М.Д., Ерижоков Р.А., Омелянская О.В., Владзимирский А.В. Определение костного возраста по данным рентгенографии кисти: от классических методик к искусственному интеллекту (научный обзор) // Digital Diagnostics. 2025. Т. 6, № 2. С. 302–316. DOI: 10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

**Рукопись получена:** 28.12.2024 **Рукопись одобрена:** 24.02.2025 **Опубликована online:** 29.05.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

# Determination of Bone Age Based on Hand Radiography: From Classical Methods to Artificial Intelligence (A Review)

Dmitry N. Reznikov[1], Dmitriy V. Kuligovskiy[1], Inna G. Vorontsova[2], Alexey V. Petraikin[1], Elena E. Petryaykina[2,4,5], Alexander E. Gordeev[1,3], Maria D. Varyukhina[1], Rustam A. Erizhokov[1,3], Olga V. Omelyanskaya[1], Anton V. Vladzymyrskyy[1]

[1] Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;
[2] Russian Children's Clinical Hospital — branch of the Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia;
[3] Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;
[4] Morozov Children's Municipal Clinical Hospital, Moscow, Russia;
[5] The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia

## ABSTRACT

Bone age assessment methods are crucial in diagnosing diseases associated with growth and developmental disorders, especially in pediatric practice. These methods have advantages and limitations, and their accuracy may vary depending on population-specific characteristics.

This article outlines the current state and potential of bone age assessment methods, including solutions based on artificial intelligence technologies.

Scientific data on bone age assessment over the past 10 years were explored using PubMed and eLibrary. Earlier publications that serve as reference points in the development of bone age assessment methodology—such as atlases, guidelines, and relevant studies—were included. Publications addressing the prevalence and practical use of various bone age assessment techniques, including radiography, ultrasound, computed tomography, magnetic resonance imaging, and artificial intelligence, were prioritized. The search was performed using the following keywords: bone age, bone age assessment, radiography, artificial intelligence, deep learning, growth development, AI, костный возраст (bone age), рентгенография (radiography), and искусственный интеллект (artificial intelligence).

This review demonstrates the wide range of existing bone age assessment methods and emphasizes the importance of new technologies such as artificial intelligence in improving diagnostic accuracy. Modern automated techniques show potential for optimizing diagnostic workflows in pediatric care and contribute to the early detection of growth and developmental disorders.

**Keywords:** bone age; artificial intelligence; hand radiography; review.

**To cite this article:**
Reznikov DN, Kuligovskiy DV, Vorontsova IG, Petraikin AV, Petryaykina EE, Gordeev AE, Varyukhina MD, Erizhokov RA, Omelyanskaya OV, Vladzymyrskyy AV. Determination of Bone Age Based on Hand Radiography: from Classical Methods to Artificial Intelligence (A Review). *Digital Diagnostics.* 2025;6(2):302–316. DOI: 10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

**Submitted:** 28.12.2024 **Accepted:** 24.02.2025 **Published online:** 29.05.2025

ECO•VECTOR

Article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

# 基于手部X线片的骨龄评估：从经典方法到人工智能（文献综述）

Dmitry N. Reznikov[1], Dmitriy V. Kuligovskiy[1], Inna G. Vorontsova[2], Alexey V. Petraikin[1], Elena E. Petryaykina[2,4,5], Alexander E. Gordeev[1,3], Maria D. Varyukhina[1], Rustam A. Erizhokov[1,3], Olga V. Omelyanskaya[1], Anton V. Vladzymyrskyy[1]

[1] Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia;
[2] Russian Children's Clinical Hospital — branch of the Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia;
[3] Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;
[4] Morozov Children's Municipal Clinical Hospital, Moscow, Russia;
[5] The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russia

## 摘要

骨龄评估方法在诊断与生长发育障碍相关疾病中发挥关键作用，特别是在儿科实践中尤为重要。尽管这些方法各有优缺点，其准确性可能因人群特征而异。

本文介绍了骨龄评估方法的现状，并探讨其未来发展方向，包括基于人工智能技术的解决方案。

过去10年关于骨龄评估主题的相关文献是通过PubMed和eLibrary检索系统获取的。此外，也纳入了部分较早发表的文献，这些文献在骨龄评估方法的发展中具有重要参考价值，包括骨龄图谱、指南和相关研究。重点关注的是探讨骨龄评估方法的普及程度及其实际应用的相关文献，所涵盖的方法包括X线检查、超声检查、计算机断层扫描、磁共振成像以及人工智能技术。检索关键词包括："bone age"（骨龄）、"bone age assessment"（骨龄评估）、"radiography"（X线检查）、"artificial intelligence"（人工智能）、"deep learning"（深度学习）、"growth development"（生长发育）、"AI"（人工智能）、"костный возраст"（骨龄）、"рентгенография"（X线检查）、"искусственный интеллект"（人工智能）。

本综述显示，骨龄评估方法种类繁多，人工智能等新兴技术在提高诊断准确性方面具有重要意义。现代自动化方法在儿科诊断流程优化方面展现出巨大潜力，有望促进生长发育障碍相关疾病的早期发现。

**关键词：**骨龄；人工智能；手部X线片；综述。

**引用本文：**
Reznikov DN, Kuligovskiy DV, Vorontsova IG, Petraikin AV, Petryaykina EE, Gordeev AE, Varyukhina MD, Erizhokov RA, Omelyanskaya OV, Vladzymyrskyy AV. 基于手部X线片的骨龄评估：从经典方法到人工智能（文献综述）. *Digital Diagnostics.* 2025;6(2):302–316. DOI: 10.17816/DD643523 EDN: ZEBGAF

**收到：**28.12.2024 **接受：**24.02.2025 **发布日期：**29.05.2025

ECO•VECTOR
Article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

## ВВЕДЕНИЕ

Скелетный возраст, или костный возраст, наиболее распространённый показатель биологической зрелости растущего человека, определяемый с помощью анализа последовательных стадий развития скелета [1]. Порядок и сроки появления точек окостенения и синостозов в различных частях скелета объективно отражают процессы роста и развития ребёнка. Костный возраст может отличаться от хронологического в пределах 1–2 лет, однако расхождение более чем на 2 года рассматривают как патологическое [2].

Помимо костного и хронологического возраста существует биологический, который представляет совокупность антропометрических, клинико-лабораторных, психологических и эмоциональных свойств ребёнка. Однако именно рентгенологически определяемый костный возраст является наиболее надёжным индикатором биологического и точным отражением процессов роста организма [3].

Определение костного возраста играет важную роль в различных областях медицины:

- в эндокринологической практике с целью диагностики патологических состояний (табл. 1) [4–10] и мониторинга терапии [11];
- в травматологии и ортопедии для выбора тактики лечения [12, 13];
- в судебно-медицинской экспертизе для идентификации пациента [14];
- в спортивной медицине для персонализации физических нагрузок и снижения риска травм [15–17].

Хронологический возраст человека можно определять по различным признакам, выявляемым с помощью методов лучевой диагностики. У взрослых для оценки возраста используют такие показатели, как:

- степень обызвествления аорты [18, 19];
- деформации скелета;
- состояние костной ткани [20];
- другие изменения, характерные для процесса старения организма [21–23].

Несмотря на значимость лучевых методов исследования в оценке хронологического возраста у взрослых, наибольшую диагностическую ценность они приобретают в педиатрической практике, когда возрастные изменения наиболее выражены и динамично отражают процессы роста и развития ребёнка [24]. Именно поэтому мы решили рассмотреть основные методы определения костного возраста у детей.

В статье проанализированы современные методики оценки костного возраста, выявлены их преимущества и ограничения, а также оценён потенциал применения технологий искусственного интеллекта в отношении повышения диагностической точности.

## МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ДАННЫХ

Поиск релевантной литературы по теме оценки костного возраста выполняли с использованием поисковых систем PubMed и eLibrary. Основное внимание уделили ключевым исследованиям, опубликованным за последние 10 лет. Поиск осуществляли с использованием ключевых слов: «bone age», «bone age assessment», «radiography», «artificial intelligence», «deep learning», «growth development», «AI», «костный возраст», «рентгенография», «искусственный интеллект». В результате анализа публикаций выявлено 156 статей, из которых в окончательный обзор включено 96. Исключены 60 публикаций по следующим причинам:

- несоответствие тематике — 23;
- дублирование данных — 17;
- несоблюдение методологии — 3;
- отсутствие доступа к полному тексту — 17.

Кроме того, с целью указания первоисточников мы включили 28 более ранних работ, демонстрирующих важные ориентиры для развития методологии оценки костного возраста, включая атласы, руководства и соответствующие исследования.

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КОСТНОГО ВОЗРАСТА

Современные подходы к оценке костного возраста основаны на анализе данных, полученных с использованием различных лучевых методов диагностики, включая рентгенографию [25–30], ультразвуковое исследование [6, 31, 32], компьютерную томографию [33, 34] и магнитно-резонансную томографию [35–37] (табл. 2). Стоит отметить основные преимущества и недостатки каждого из этих методов. Рентгенография является широкодоступным и относительно недорогим методом визуализации, обеспечивающим высокую пространственную разрешающую способность при исследовании мелких костных структур. Однако её применение сопряжено с лучевой нагрузкой и ограничено получением только двухмерных изображений, что снижает информативность при оценке сложных анатомических областей [26]. Прямая рентгенография кисти — наиболее валидированный метод, который признан «золотым стандартом» в данной области [6]. Однако методики, основанные на её применении, обладают особенностями и преимуществами, влияющими на их выбор в клинической практике (табл. 3) [38–41].

Среди общих недостатков других модальностей, кроме рентгенографии, выделяют ограниченное количество исследований с их применением, а также отсутствие чёткой методологии и стандартов.

Компьютерная томография обеспечивает трёхмерную визуализацию костных структур с высоким пространственным разрешением, однако применение метода затруднено из-за высокой стоимости и ограниченной доступности оборудования [33, 34]. Магнитно-резонансная томография не использует ионизирующее излучение и обеспечивает высокое качество визуализации костного мозга и мягких тканей. Тем не менее её использование ограничено высокой стоимостью, длительностью сканирования

**Таблица 1.** Факторы, влияющие на костный возраст

| Отставание костного возраста от хронологического | Опережение костного возраста по сравнению с хронологическим | Соответствие костного и хронологического возраста |
|---|---|---|
| *Эндокринные причины* | | |
| • конституциональная задержка роста;<br>• гипотиреоз;<br>• гипопитуитаризм;<br>• пангипопитуитаризм;<br>• гипогонадизм;<br>• синдром Кушинга;<br>• сахарный диабет, синдром Мориака (длительная декомпенсация заболевания) | Истинное преждевременное половое созревание — ГнРГ-зависимое:<br>• идиопатическое;<br>• опухоли и другие поражения центральной нервной системы;<br>• после позднего лечения врождённой вирилизирующей гиперплазии надпочечников или иной формы длительного контакта с половыми стероидными гормонами;<br>• в связи с функциональными мутациями генов *KISS1R/GPR54* и *KISS1*.<br>Неполное изосексуальное преждевременное половое созревание — ГнРГ-независимое:<br>• преждевременное адренархе;<br>• опухоли яичников, клеток Лейдига, яичек, герминогенные и др.<br>Гипертиреоз | • семейная низкорослость |
| *Неэндокринные причины/ хронические заболевания/ скелетные дисплазии* | | |
| • сердечно-сосудистые заболевания (врождённый порок сердца);<br>• рахит;<br>• хроническая болезнь почек;<br>• ювенильный идиопатический артрит;<br>• воспалительные заболевания кишечника;<br>• целиакия;<br>• цистический фиброз;<br>• тяжёлое течение бронхиальной астмы (применение ингаляционных глюкокортикоидов);<br>• иммунодефициты, в частности синдром приобретённого иммунодефицита;<br>• активный туберкулёз<br>• триада женщины-спортсменки, ведущая к гипогонадизму;<br>• анорексия | • конституциональная высокорослость | • ахондроплазия[1];<br>• гипохондроплазия;<br>• псевдоахондроплазия и др. |
| *Хромосомные аномалии /генетические синдромы* | | |
| • синдром Клайнфельтера;<br>• синдром Ларона;<br>• синдром Секкеля;<br>• синдром Патау, трисомия по хромосоме 13;<br>• синдром Эдвардса, трисомия по хромосоме 18;<br>• синдром Дауна, трисомия по хромосоме 21;<br>• синдром Рубинштейна–Тейби | • семейный тестотоксикоз (ограниченное по полу аутосомно-доминантное, независимое от гонадотропинов гипофиза преждевременное созревание клеток Лейдига и герминативных клеток);<br>• синдром Мак-Кьюна–Олбрайта;<br>• синдром Маршалла–Смита;<br>• синдром Сотоса;<br>• синдром Беквита–Видемана;<br>• синдром Марфана;<br>• синдром Пайла | • синдром Нунан;<br>• синдром Рассела–Сильвера;<br>• синдром Шерешевского–Тёрнера |
| *Лекарственные средства* | | |
| • глюкокортикоиды (преднизолон или гидрокортизон — 3–5 или 12–15 мг/м$^2$ соответственно);<br>• амфетамин и декстроамфетамин (умеренное воздействие);<br>• аналоги ГнРГ;<br>• ингибиторы ароматазы | • эстроген;<br>• оральные контрацептивы;<br>• препараты тестостерона;<br>• лаванда (эстрогеноподобный эффект);<br>• масло чайного дерева (эстрогеноподобный эффект) | — |
| *Нарушения питания* | | |
| • недостаточное питание;<br>• недостаток массы тела в результате болезни;<br>• недостаточная минерализация костей | • экзогенно-конституциональное ожирение | — |

***Примечание.*** ГнРГ — гонадотропин-рилизинг-гормон; [1] — отмечают замедление появления точек окостенения в кисти в раннем возрасте, в дальнейшем, в возрасте 8–9 лет, ускорение темпов дифференциации, а к 10–12 годам — соответствие костного и хронологического возраста [57]; [2] — в течение первых трёх лет жизни наблюдают отставание костного возраста от хронологического, до 10 лет отмечают соответствие костного и хронологического возраста, а после 10–12 лет — костный возраст отстаёт от хронологического (разница не превышает 1–2 года) [2].

**Таблица 2.** Методики оценки костного возраста

| Название методики | Оцениваемые структуры | Способ измерения/принцип | Ссылки |
|---|---|---|---|
| *Рентгенография* | | | |
| Методика Грейлиха–Пайл | Кости запястья, лучевая и локтевая кость | Сравнение с эталоном атласа | [38] |
| Методика Таннера–Уайтхауса | | Система баллов/оценочный метод | [49] |
| Таблица Жуковского–Бухмана | | Таблица со сроками окостенения | [39] |
| Методика FELS | | Система баллов/оценочный метод | [25] |
| Атлас Гилсанса–Ратиба | | Сравнение с эталоном атласа | [1, 26] |
| Методика Korean Child Standard | | Система баллов/оценочный метод | [28] |
| Методика China 05 RUS–CHN | | Система баллов/оценочный метод | [27] |
| Методика Ebrí | | Костный возраст Ebrí-carpal, -metacarpophalangic и -carpometacarpophalangic | [51] |
| Методики оценки одонтогенеза | Панорамный снимок зубов | Система баллов/оценочный метод | [29] |
| Методика созревания шейных позвонков | Шейный отдел позвоночника | Степень окостенения шейных позвонков | [30] |
| *Компьютерная томография* | | | |
| Оценка посмертных изображений компьютерной томографии | Передние и задние внутризатылочные швы, I шейный позвонок (*atlas*) | Стадии окостенения | [34] |
| Оценка окостенения медиальных эпифизов ключицы | Медиальная часть ключицы | Стадии окостенения | [33] |
| *Ультразвуковое исследование* | | | |
| Методика оценки толщины переднего хряща головки бедренной кости | Слабость хряща головки бедренной кости | Оценочный метод/расстояние в мм | [31] |
| Методика оценки костного возраста в соответствии с классификацией Риссера | Апофиз подвздошной кости (признак Риссера) и дистальные эпифизы лучевой кости | Присвоение стадии согласно классификации Риссера (0–V) и оценка зон роста лучевой кости | [6] |
| Методика Л.Н. Алексеевой и А.Ю. Кинзерского | Кости запястья, лучевая и локтевая кость | Степень окостенения костных ядер | [32] |
| *Магнитно-резонансная томография* | | | |
| Оценка изображений, полученных с помощью открытого компактного магнитно-резонансного томографа | Кости запястья, лучевая и локтевая кости | Система баллов/оценочный метод | [17, 35] |
| Оценка окостенения по данным магнитно-резонансной томографии | | Фазы окостенения | [36] |
| Оценка костного возраста по данным магнитно-резонансной томографии с использованием атласа Грейлиха–Пайл | | Система баллов/оценочный метод | [37] |

***Примечание.*** FELS (Fels Longitudinal Study) — продольное исследование Фельса, в ходе которого собирали данные о росте, развитии и физиологических показателей детей от ранних лет до достижения взрослого возраста; carpal — запястный; metacarpophalangic — пястно-фаланговый; carpometacarpophalangic — запястно-пястно-фаланговый.

и недостаточной информативностью при визуализации мелких костей [35–37]. Ультразвуковое исследование не сопровождается воздействием ионизирующего излучения, является доступным и относительно недорогим методом. Однако визуализация костных структур с его помощью затруднена, особенно при их глубоком расположении, и во многом зависит от опыта оператора [31, 32]. Кроме того, следует отметить отсутствие обзоров, в которых сравнивали методики определения костного возраста при использовании различных модальностей.

Особенности формирования скелета у детей включают появление точек окостенения и закрытие зон роста, которые принимают во внимание при анализе результатов лучевых методов исследования. Кроме того, существуют пособия, учитывающие возрастную и вариантную анатомию различных участков скелета, например «Рентгеноанатомический атлас скелета (норма, варианты, ошибки интерпретации)», И.П. Королюк [42]. Однако наиболее удобным и точным методом определения костного возраста является анализ результатов рентгенографии кисти в прямой проекции.

**Таблица 3.** Сравнение методик оценки костного возраста по данным рентгенографии кисти

| Таблица Жуковского–Бухмана | Атлас Грейлиха–Пайл | Методика Таннера–Уайтхауса |
|---|---|---|
| *Принципы определения костного возраста* | | |
| • используют таблицы, содержащие стандартные возрастные значения различных костных параметров;<br>• сопоставляют рентгеновские снимки кистей рук ребёнка с эталонными значениями в таблице | • используют атлас, включающий серию рентгеновских снимков кистей рук, соответствующих различным возрастам;<br>• визуально сравнивают рентгеновские снимки ребёнка с изображениями в атласе, наиболее близкими по развитию | • количественно оценивают состояние отдельных костей кисти и запястья по 20 параметрам;<br>• каждый параметр оценивают в баллах, а суммарный балл преобразуют в костный возраст с использованием специальной шкалы |
| *Преимущества* | | |
| • широко используют в России;<br>• адаптирована для российской популяции | • широкое распространение в мире;<br>• простота освоения;<br>• не требует значительных временных ресурсов | • последняя версия Таннера–Уайтхауса 3 в модификации RUS, предложенная в 2001 году<br>• высокая воспроизводимость результатов по сравнению с остальными методами |
| *Недостатки* | | |
| • субъективность оценки;<br>• низкая валидация с современными методами;<br>• предложена в 1980 году | • субъективность оценки;<br>• точность варьирует в зависимости от этнической группы ребёнка;<br>• предложена в 1959 году | • требует больше временных затрат;<br>• обучение эксперта более сложное |

## МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КОСТНОГО ВОЗРАСТА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОГРАФИИ КИСТИ

Определение костного возраста с использованием результатов рентгенографии кисти является важным инструментом в педиатрической практике для оценки физического развития ребёнка и своевременного выявления отклонений. Несоответствие костного и хронологического возраста может указывать на [43]:

- нарушения роста;
- эндокринные расстройства;
- генетические синдромы;
- и другие патологические состояния.

В России традиционно выполняют рентгенографию обеих кистей [39], тогда как в других странах предпочтение отдают исследованию только левой кисти [40]. Отечественные специалисты обосновывают необходимость двусторонней визуализации возможной асимметрией в появлении центров окостенения, в то время как представители западной школы не придают этому фактору диагностического значения.

При выполнении рентгенографии кисти конечность укладывают ладонной поверхностью вниз на горизонтальную плоскость детектора. Перед проведением исследования необходимо снять с рук пациента украшения и предметы одежды, способные вызвать артефакты на изображении. На рентгенограмме должны быть чётко видны все пальцы, запястье и дистальная часть костей предплечья. Радиографическая плотность снимка должна обеспечивать визуализацию трабекул и мягких тканей конечности [44]. При оценке рентгенограммы следует учитывать структуру, плотность, диаметр и изогнутость костей для исключения костно-суставных дисплазий верхней конечности [45].

На территории Российской Федерации наиболее широко применяют методику оценки костного возраста, разработанную М.А. Жуковским и А.И. Бухманом в 1987 году. Она подразумевает использование соответствующей таблицы [39]. Атлас Грейлиха–Пайл, заключающуюся в сопоставлении рентгенограмм пациента с эталонными изображениями из специального атласа, предложенную американскими учёными [38], широко используют педиатры по всему миру (более 76%) [40], в детской эндокринологии специалисты чаще применяют методику Таннера–Уайтхауса 2 (TW2) [43].

Однако эти классические методики основаны на данных, собранных более 50 лет назад, что ставит под вопрос их актуальность для современных популяций. Изменения в темпах роста и физического развития детей, обусловленные трансформацией условий жизни, характера питания и уровня медицинского обслуживания, могут приводить к расхождениям между костным и хронологическим возрастом ребёнка [46, 47].

### Методика Таннера–Уайтхауса 3 в модификации RUS

Другой методикой является обновлённая версия метода Таннера–Уайтхауса 3 (TW3), при которой оценивают лучевую, локтевую и короткие кости кисти (TW3-RUS). Она представлена в 2001 году [48]. Первоначально методику Таннера–Уайтхауса разработали британские учёные J.M. Tanner и R.J. Whitehouse в 1962 году [49]. В актуальной версии методики Таннера–Уайтхауса 3 учитывают дополнительные области визуализации для более детальной оценки стадии окостенения в разных сегментах кисти. Результаты анализа описывают в баллах, а не путём простого

сравнения с эталонными рентгенограммами, как в случае использования атласа Грейлиха–Пайл. Данную методику применяют в детской эндокринологии, поскольку она позволяет более точно спрогнозировать конечный рост ребёнка [43].

### Методика Гилсанза–Ратиба

В 2005 году швейцарские учёные V. Gilsanz и O. Ratib представили новый цифровой атлас, предназначенный для оценки костного возраста [1]. В отличие от ранее созданных атласов, основанных на рентгеновских снимках, он содержит эталонные компьютерные изображения кистей, дифференцированные по возрасту и полу ребёнка. Эти изображения получили путём анализа размера, формы, морфологии и плотности окостенения по данным 522 рентгенограмм кистей здоровых детей из Лос-Анджелеса (Соединённые Штаты Америки) (равное соотношение девочек и мальчиков) [1, 17]. Главным преимуществом атласа Гилсанза–Ратиба является высокое качество по сравнению с классическим атласом Грейлиха–Пайл. Его отличительная особенность — усреднённые изображения, сформированные на основе анализа нескольких рентгенограмм, соответствующих одному костному возрасту [1].

## ЭТНИЧЕСКАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ И СЕКУЛЯРНЫЕ ТРЕНДЫ В ФИЗИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ДЕТЕЙ: ВЛИЯНИЕ НА ОЦЕНКУ КОСТНОГО ВОЗРАСТА

Современные методики, такие как Гилсанза–Ратиба и Таннера–Уайтхауса 3 в модификации RUS, основанные на детализированном количественном анализе и актуальных эталонных данных, потенциально обеспечивают более точную оценку костного возраста по сравнению с более ранними подходами. Однако для подтверждения их диагностической ценности в различных популяциях необходимы дальнейшие исследования.

В 2018 году P.S. Dahlberg и соавт. [50] опубликовали систематический обзор, в котором они проанализировали результаты многочисленных исследований в отношении оценки точности методики Грейлиха–Пайл. Авторы обнаружили, что в отдельных метаанализах средние расхождения между костным возрастом, определённым с помощью атласа Грейлиха–Пайл, и хронологическим возрастом, как правило, не превышают одного года вне зависимости от возрастной группы и пола. Однако межисследовательская гетерогенность, характеризующая разброс результатов между различными выборками детей, была значительной. Это указывает на то, что, несмотря на приемлемую точность методики Грейлиха–Пайл на групповом уровне, на межгрупповом — существуют вариации в соответствии костного возраста хронологическому. Показано, что классическая методика Грейлиха–Пайл обеспечивает хорошую корреляцию между оценкой костного и хронологического возраста в современных популяциях в целом, однако в отдельных популяциях детей она может приводить к значительным расхождениям.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что существующие методики оценки костного возраста, в частности Грейлиха–Пайл, демонстрируют различную степень точности в зависимости от этнической принадлежности (табл. 4): в одних случаях костный возраст опережает хронологический [51–56],

**Таблица 4.** Анализ соответствия этнических групп нормам, представленным в атласе Грейлиха–Пайл

| Костный возраст опережает хронологический возраст | Высокая корреляция между костным и хронологическим возрастом | Костный возраст отстаёт от хронологического возраста |
|---|---|---|
| • Соединённые Штаты Америки, дети азиатского происхождения старше 13 лет [56]; | • Корея, дети младше 13 лет [28]; | • Малайзия [57]; |
| • Саудовская Аравия, мужской пол, старше 13 лет [53]; | • Великобритания [52]; | • Судан, женский пол старше 13 лет [58;] |
| • Иран, женский пол [54]; | • Шотландия [64]; | • дети азиатского происхождения в возрасте 4–6 лет [47]; |
| • Африка, женский пол [54]; | • Саудовская Аравия, женский пол [53, 59]; | • Индия, мужской пол в возрасте 4–15 лет [59]; |
| • Испания [51]; | • Италия, женский пол [54]; | • Турция, возраст 7–13 лет [55]; |
| • Турция, дети 14–17 лет [55;] | • Пакистан, женский пол [54]; | • Тайвань, мальчики в возрасте 2–12 лет [61]; |
| • американцы, африканского происхождения [54] | • Республика Беларусь [62, 63, 65]; | • Саудовская Аравия, мужской пол младше 13 лет [53, 59];<br>• Пакистан, мужской пол [54];<br>• Иран, мужской пол [54];<br>• Индонезия [54];<br>• американцы азиатского происхождения, мужской пол младше 7 лет [54] |

в других — отстаёт [47, 53–59], а иногда наблюдали их высокую корреляцию [52–54, 58, 60–65].

Полагают, что социально-экономический статус и питание, наряду с этническими особенностями, влияют на определяемый костный возраст [46, 47]. Например, отмечена задержка костного возраста у женщин Судана из-за низкого социально-экономического статуса и недостатка питания [58].

Современные исследования показывают значительный интерес к секулярным трендам[1] в физическом развитии детей, отмечая склонность к более раннему созреванию скелета, включая эпифизарное слияние и окостенение [17, 66]. Так, M.E. Boeyer и соавт. [66] выявили, что 45 и 66% мальчиков и девочек соответственно достигают скелетной зрелости раньше, чем в предыдущих поколениях. Однако в Великобритании эти изменения не ускорили скелетную зрелость, что указывает на региональные особенности [52].

Секулярные тренды[1] исследуют как отечественные, так и зарубежными учёные [67, 68]. Так, Р.Н. Дорохов и соавт. [67] изучали паттерны роста и развития детей в различных условиях и выявили, что их развитие костной системы гетерохронно, а также связано с соматическим типом и вариантом биологического развития. В свою очередь, J.M. Tanner и соавт. [68] отмечают, что среди факторов, обусловливающих эпохальную изменчивость, наибольшую эмпирическую обоснованность демонстрируют социально-экономические детерминанты.

Е.В. Сафоненкова [69] полагает, что эпохальные морфологические и функциональные изменения организма ребёнка являются вариантом адаптации к меняющимся условиям среды. Кроме того, изучение секулярных трендов[1] направлено на прогнозирование состояния организма в будущем.

Учёт секулярных, а также региональных особенностей имеет важное значение при корректировке атласов для определения костного возраста у детей в регионах, где отсутствует обязательная регистрация новорождённых. Это важно для реализации полноценного медицинского и социального обслуживания [66].

Методика определения костного возраста по таблицам Жуковского и Бухмана также не в полной мере отражает современные тенденции физического роста и требует пересмотра [70].

Таким образом, определяемый в норме костный возраст зависит от этнической принадлежности и социально-экономических факторов, что следует учитывать при формировании локальных нормативных данных путём введения корректирующих коэффициентов или разработки собственных эталонных нормативов.

Многообразие существующих методик и подходов к определению костного возраста обусловливает необходимость стандартизации и унификации данной процедуры. Для качественного и объективного мониторинга лечения различных патологических состояний, сопровождающихся отклонениями в костном возрасте, необходимы точные и воспроизводимые методы оценки. Однако относительная трудоёмкость процесса его определения, а также недостаточное количество экспертов — специалистов в области лучевой диагностики, создают препятствия для его широкого применения. Кроме того, секулярные тренды[1] и популяционная гетерогенность в отставании или опережении костного возраста относительно хронологического усложняют корректировку возрастных нормативных данных. Всё это подчёркивает необходимость формирования универсальной автоматизированной платформы для определения костного возраста. В этом контексте применение технологий искусственного интеллекта представляет перспективное направление, способное стандартизировать процедуру, повысить её доступность и точность, а также учесть особенности пациентов [71–74].

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КОСТНОГО ВОЗРАСТА ПО РЕНТГЕНОГРАММАМ КИСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Для автоматизированной оценки костного возраста разработали различные решения с применением технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения [75–80].

BoneXpert® (Visiana, Дания)[2] — система для автоматического определения костного возраста на основе рентгеновских снимков, использующая передовые технологии. Она включает анализ изображений с высоким качеством сегментации анатомических структур с помощью машинного обучения и искусственного интеллекта, в частности свёрточных нейронных сетей. Систему откалибровали и обучили с помощью обширных наборов данных, что обеспечивает её точность в отношении различных этнических групп. BoneXpert® (Visiana, Дания)[2] интегрирована с системами архивирования и передачи изображений, предоставляя удобный интерфейс для клиницистов. Она прошла клиническую валидацию, продемонстрировав высокую точность по сравнению с традиционными методиками. Достижение высокой точности обусловлено использованием детализированного морфометрического метода определения точек окостенения, основанного на принципах, аналогичных методике Таннера–Уайтхауса [75, 76].

[1] Секулярные тренды — долгосрочные, устойчивые изменения биологических или социальных характеристик человека и популяции, происходящие на протяжении нескольких поколения.

[2] BoneXpert Online [Internet]. В: BoneXpert; 2009–2024. Режим доступа: https://bonexpert.com Дата обращения: 09.06.2024.

Программное приложение BoneAgeAnalyzer основано на использовании искусственных нейронных сетей. Данный автоматический метод превосходит атлас Грейлиха–Пайл и методику Таннера–Уайтхауса по точности анализа участков оссификации (87 против 65% соответственно), скорости (менее 2 с против 15 мин соответственно), воспроизводимости (100%) и возможности верификации [77].

Систему Med-BoneAge® (VUNO Inc., Корея)[3] создали с помощью алгоритма глубокого обучения, используя 18 940 снимков, проанализированных по методике Грейлиха–Пайл [78].

Кроме того, существует бесплатный веб-инструмент Physis® (16Bit AI, Канада)[4] для прогнозирования костного возраста, компания-разработчик заняла первое место на хакатоне Radiology Society of North America (RSNA) Pediatric Bone Age Challenge, опередив другие команды по точности оценки костного возраста. Для сравнения, система BoneXpert® (Visiana, Дания)[2] заняла в этом конкурсе четвёртое место. Авторы подчёркивают, что Physis® (16Bit AI, Канада)[4] сделан только в демонстрационных целях и его нельзя использовать при принятии клинических решений [17].

S.J. Son и соавт. [79] предложили полностью автоматическую систему, которая, локализуя зоны роста (эпифизарно-метафизарные области) 13 костей, оценивает костный возраст по методике Таннера–Уайтхауса 3.

Система MediAI-BA® (CRESCOM Co., Корея)[5] создана с использованием свёрточных нейронных сетей. Она анализирует семь зон роста эпифиза–метафиза в лучевой, локтевой, первой пястной кости, а также в проксимальной, средней и дистальной фалангах третьего пальца [80].

По данным некоторых исследований, интеграция автоматизированных программ в практику врачей-рентгенологов способствует повышению согласованности и снижению вариабельности оценок, а сочетание технологий искусственного интеллекта с врачебной экспертизой демонстрирует лучшие результаты по сравнению с использованием каждого метода отдельно [81–83].

До хакатона, организованного в рамках RSNA 2017 Pediatric Bone Age Challenge, использовали относительно простые полносвязные нейронные и свёрточные нейронные сети для регрессии костного возраста по рентгенограммам. После выпуска большого набора данных в рамках хакатона стали применять более сложные архитектуры: энкодер–декодер сети, свёрточные сети с вниманием, ансамбли сетей и др. Это позволило значительно повысить точность определения костного возраста с помощью технологий искусственного интеллекта [84, 85].

Результаты других исследований продемонстрировали преимущества нейросетей над традиционными подходами по точности, скорости обработки и снижению межэкспертной вариабельности [86–89]. Современные автоматизированные системы обеспечивают быстрые и максимально точные результаты, помогают врачам и способны прогнозировать окончательный костный возраст [17, 77, 90–94]. Кроме того, предпринимают попытки разработать полностью автоматические инструментов без ручной разметки [94].

Костный возраст является важным критерием при принятии решений о начале и продолжительности терапии при некоторых генетически обусловленных заболеваниях костно-мышечной системы. В частности, это актуально для пациентов с ахондроплазией, у которых наблюдают появление возможности проведения патогенетической терапии, стимулирующей рост. При оценке костного возраста у таких пациентов специалисту необходимо учитывать особенности данной патологии, включая изменённые сроки появления и динамику развития точек окостенения костей кисти [49].

Поскольку скелетные дисплазии изменяют морфологию кисти, существующие методы для оценки костного возраста являются недостаточно убедительными. Например, широко используемая программа BoneXpert® (Visiana, Дания)[2] с трудом интерпретирует снимки пациентов со скелетной дисплазией, кроме того, около половины рентгенограмм с признаками ахондроплазии она отклоняет [95]. Все методы прогнозирования конечного роста ребёнка основаны на данных детей без костной патологии, поэтому для возможности корректного и точного описания костного возраста необходимо разработать цифровые атласы созревания скелета для детей с диагнозом из группы скелетных дисплазий, например для ахондроплазии [96].

Несмотря на достаточное количество имеющихся решений на основе технологий искусственного интеллекта, направленных на определения костного возраста, актуальность собственных разработок сохраняется. Во-первых, существующие секулярные тренды[1] и локальные эпидемиологические особенности не всегда возможно учесть при попытке использования существующего программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта [72, 73]. Во-вторых, доступность имеющихся решений зачастую ограничена, а некоторые не имеют достаточно развитого интерфейса для встраивания в системы архивирования и передачи изображений, радиологические информационные и геоинформационные [74]. В-третьих, затруднена процедура валидации коммерческого программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта, включая возможность анализа нестандартных исследований:

[3] Med-BoneAge [Internet]. В: VUNO; 2018–2024. Режим доступа: https://www.vuno.co Дата обращения: 09.06.2024.

[4] Physis® [Internet]. В: 16BIT; 2017–2024. Режим доступа: https://www.16bit.ai/bone-age Дата обращения: 09.06.2024.

[5] MediaAI-BA [Internet]. В: CRESCOM; 2020–2024. Режим доступа: https://mediai.onzaram.com/ Дата обращения: 09.06.2024.

с патологией формирования скелета и нетипичных укладок (например, с целью оппортунистического скрининга по данным рентгенографии, выполненной при травме кисти) [91]. Учитывая наличие открытых наборов данных (RSNA), опыта в подготовке собственных, разработки и валидации программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта целесообразна разработка собственного оригинального программного обеспечения для автоматического определения костного возраста с метриками, не уступающими по точности существующим решениям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение костного возраста — ключевой инструмент в диагностике и мониторинге различных патологических состояний у детей и подростков. В данном обзоре мы рассмотрели классические и современные методики оценки костного возраста по данным рентгенографии кисти, включая наиболее распространённые, такие как атлас Грейлиха–Пайл, методика Таннер–Уайтхауса и таблица Жуковского–Бухмана. Анализ их преимуществ и ограничений, особенно с учётом применимости к современной популяции, выявил ряд важных аспектов.

При выборе и интерпретации методик оценки костного возраста необходимо учитывать популяционные особенности обследуемых детей. Классические методики, такие как Грейлиха–Пайл и Таннера–Уайтхауса, продолжают широко использовать, однако для некоторых этнических, половых и социально-экономических групп возможны значительные отклонения вследствие несоответствия исходных эталонов современным реалиям. Это обусловлено устареванием исходных эталонов, основанных на ограниченных выборках и не отражающих современную вариабельность темпов роста и окостенения в разнородных популяциях.

Именно поэтому актуально широкомасштабное внедрение в педиатрическую практику новых цифровых атласов с высококачественными эталонными изображениями, дифференцированными по полу и возрасту, в частности атлас Гилсанза–Ратиба, адаптированных для конкретной популяции. Помимо этого, необходим регулярный пересмотр существующих норм окостенения с целью их актуализации в соответствии с наблюдаемыми в разных странах и регионах мира секулярными трендами[1] ускорения процессов физической зрелости детей в результате изменений условий жизни, характера питания и уровня медицинского обслуживания.

Отдельным направлением является разработка и интеграция в систему здравоохранения систем и моделей на основе искусственного интеллекта, обученных с помощью данных конкретной популяции. Это позволит стандартизировать заключения, минимизировать вариабельность и повысить точность определения костного возраста. Существующие решения, основанные на технологиях искусственного интеллекта, демонстрируют высокую эффективность, однако нередко не учитывают региональные особенности и могут сталкиваться с ограничениями в доступности и интеграции с локальными медицинскими системами.

Комплексный подход, сочетающий внедрение современных цифровых технологий визуализации и обработки данных с учётом вариабельности темпов роста и развития в этнических, социально-экономических и половых группах населения, позволит создать надёжные и универсально применимые популяционно-специфичные стандарты определения костного возраста. Их наличие имеет решающее значение для обеспечения своевременной и точной диагностики в педиатрической практике.

В перспективе мы планируем оценить применимость атласа Грейлиха–Пайл к отечественной популяции, а также проанализировать актуальность и точность таблицы Жуковского–Бухмана в современных условиях. На основе полученных данных будет разработан новый подход к оценке костного возраста, учитывающий региональные особенности и современные секулярные тренды[1]. Кроме того, создание оригинального программного обеспечения на основе технологий искусственного интеллекта, обученного на данных нашей популяции, позволит автоматизировать процесс определения костного возраста, повысив его точность и доступность для клинического применения.

Таким образом, интеграция традиционных методов с современными технологиями и учёт региональных особенностей являются ключевыми факторами для улучшения диагностики и лечения заболеваний, связанных с нарушениями роста и развития у детей и подростков. Разработка новых инструментов, основанных на искусственном интеллекте и адаптированных к специфике конкретной популяции, будет способствовать повышению качества медицинской помощи и обеспечит более точное и объективное определение костного возраста в клинической практике.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Д.Н. Резников — сбор и анализ литературных данных, написание и редактирование текста рукописи; Д.В. Кулиговский, И.Г. Воронцова — сбор и анализ литературных данных, А.В. Петряйкин — сбор и анализ литературных данных, написание текста рукописи; Е.Е. Петряйкина, А.Е. Гордеев, М.Д. Варюхина, Р.А. Ерижоков, О.В. Омелянская, А.В. Владзимирский — редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Этическая экспертиза.** Неприменимо.

**Источник финансирования.** Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса для оппортунистического скрининга остеопороза», (ЕГИСУ: № 123031400007-7) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счёт средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.
**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).
**Доступ к данным.** Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима.
**Генеративный искусственный интеллект.** При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.
**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали три внешних рецензента.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author contributions:** D.N. Reznikov: published data search and analysis, writing—original draft, writing—review & editing; D.V. Kuligovskiy, I.G. Vorontsova: published data search and analysis; A.V. Petraikin: published data search and analysis, writing—original draft; E.E. Petryaykina, A.E. Gordeev, M.D. Varyukhina, R.A. Erizhokov, O.V. Omelyanskaya, A.V. Vladzymyrskyy: writing—review & editing. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.
**Ethics approval:** Not applicable.
**Funding sources:** This article was part of the research and development project Development and Creation of a Hardware-Software System For Opportunistic Osteoporosis Screening (Unified State Information Accounting System No. 123031400007-7), in accordance with Order No. 1196 dated December 21, 2022, On Approval of State Assignments Funded by the Budget of the City of Moscow for State Budgetary (Autonomous) Institutions Under the Jurisdiction of the Moscow City Health Department for 2023 and the Planned Period of 2024–2025, issued by the Moscow City Health Department.
**Disclosure of interests:** The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.
**Statement of originality:** No previously published material (text, images, or data) was used in this work.
**Data availability statement:** The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work.
**Generative AI:** No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.
**Provenance and peer review:** This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved three external reviewers.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

**1.** Gilsanz V, Ratib O. *Hand bone age: a digital atlas of skeletal maturity.* Heidelberg: Springer; 2005. ISBN: 978-3-540-27070-6 doi: 10.1007/b138568
**2.** Melmed S, Auchus RJ, Goldfine AB, et al. *Williams textbook of endocrinology,* 15th ed. Elsevier; 2024. ISBN: 978-032-393-347-6 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://shop.elsevier.com/books/williams-textbook-of-endocrinology/melmed/978-0-323-93230-1
**3.** Petrov SS, Rogacheva EA, Taranukha NN. Assessment of the state of biological age in adolescent male and female individuals. *Eurasian Union of Scientists.* 2015;(3-7):50–55. (In Russ.) EDN: XDYHIT
**4.** Grossman AB, Ismailov SI, Kulmirzayeva MG, et al. Constitutional delay of growth and puberty in boys: review. *International Journal of Endocrinology.* 2019;15(5):402–409. doi: 10.22141/2224-0721.15.5.2019.180045
**5.** Otto NY, Bezrukova DA, Dzhumagaziev AA, et al. Clinical cases of delayed growth in children and adolescents of the astrakhan region. *Journal of Volgograd State Medical University.* 2021;18(1):144–149. doi: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-144-149 EDN: CGDPTR
**6.** Wagner UA, Diedrich V, Schmitt O. Determination of skeletal maturity by ultrasound: a preliminary report. *Skeletal Radiology.* 1995;24(6):417–420. doi: 10.1007/bf00941236 EDN: RGDKXG
**7.** Melmed S, Polonski K S, Larsen PR, Kronenberg GM. *Pediatric endocrinology: Williams textbook of endocrinology.* Dedov II, Melnichenko GA, editors. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. ISBN: 978-5-9704-4951-6 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://www.labirint.ru/books/738012/
**8.** Liss VL, Skopodok YuL, Plotnikova EV, et al. *Diagnostics and treatment of endocrine diseases in children and adolescents: a tutorial.* Shabalov NP, editor. Moscow: MEDpress-inform; 2018. (In Russ.) ISBN: 978-5-00030-528-7 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://static-sl.insales.ru/files/1/5887/12326655/original/diag_lech_end_zab_det.pdf
**9.** Dedov II, Peterkova VA, Bezlepkina OB, et al. *Handbook of pediatric endocrinologist.* 3rd ed. Moscow: Litterra; 2020. (In Russ.) ISBN: 978-5-4235-0339-0 EDN: ELAUWO
**10.** Volevodz N.N. Federal clinical practice guidelines on the diagnostics and treatment of Shereshevsky-Turner syndrome. *Problems of Endocrinology.* 2014;60(4):65–76. doi: 10.14341/probl201460452-63 EDN: TGRUDJ
**11.** Nagaeva EV, Shiryaeva TY, Peterkova VA, et al. Russian national consensus. Diagnostics and treatment of hypopituitarism in children and adolescences. *Problems of Endocrinology.* 2019;64(6):402–411. doi: 10.14341/probl10091 EDN: NXICGE
**12.** Matveev RP, Bragina SV. *Radiology in traumatology and orthopedics. Selected sections.* Arkhangelsk: Northern State Medical University; 2018. (In Russ.) ISBN: 978-5-91702-295-6 EDN: VMGEUT
**13.** Ivanov IaA, Mininkov DS, Gushchina DA, Yeltsin AG. Comparison of bone age assessment methods using a hand radiography in patients with active growth plate and anteromedial knee instability. *Genij Ortopedii.* 2024;30(1):67–75. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-67-75 EDN: VIJHBH
**14.** Zinenko YuV, Kotelnikova IV. Some problems of the production of forensic medical examinations to establish the age of living persons. *Dnevnik nauki.* 2021;(5):71. EDN: BAVWRU
**15.** Davydov VYu, Shantarovich VV, Zhuravskii AYu. *Morphofunctional criteria for selection and control in rowing and canoeing: methodological recommendations.* Pinsk: Polessky State University; 2015. ISBN: 978-985-516-417-4 EDN: YXBJDJ
**16.** Baranaev YuA. Assessment methods of biological maturity of children in sport science. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta.* 2022;(8):12–20. doi: 10.34835/issn.2308-1961.2022.8.p12-20 EDN: MMATDY
**17.** Prokop-Piotrkowska M, Marszałek-Dziuba K, Moszczyńska E, et al. Traditional and new methods of bone age assessment-an overview. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology.* 2021;13(3):251–262. doi: 10.4274/jcrpe.galenos.2020.2020.0091 EDN: IHXXYW
**18.** Watanabe S, Terazawa K, Matoba K. Age estimation from quantitative evaluation of atherosclerosis of abdominal aorta in Japanese. *Hokkaido Igaku Zasshi.* 2007;82(2):91–98.
**19.** Pickhardt PJ, Kattan MW, Lee MH, et al. Biological age model using explainable automated CT-based cardiometabolic biomarkers for phenotypic prediction of longevity. *Nature Communications.* 2025;16(1):1432. doi: 10.1038/s41467-025-56741-w EDN: OFZAXI
**20.** Keylock L, Cameron N. Reproducibility of bone age assessment from DXA hand scans: expert versus novice. *Annals of Human Biology.* 2021;48(4):343–345. doi: 10.1080/03014460.2021.1956586 EDN: JKOVPN
**21.** Pereira CP, Santos R, Nushi V, et al. Dental age assessment: scoring systems and models from the past until the present—how is it presented in the court? *International Journal of Legal Medicine.* 2023;137(5):1497–1504. doi: 10.1007/s00414-023-03011-3 EDN: KGOJFX
**22.** Dang-Tran KD, Dedouit F, Joffre F, et al. Thyroid cartilage ossification and multislice computed tomography examination: a useful tool for age assessment? *Journal of Forensic Sciences.* 2010;55(3):677–683. doi: 10.1111/j.1556-4029.2010.01318.x EDN: NZJDGX

**23.** Macedo F, Stefanel ME, Sakurada A, et al. Skull joints assessed via CT for age estimation-a systematic review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2025. doi: 10.1093/dmfr/twaf013
**24.** Martín Pérez SE, Martín Pérez IM, Vega González JM, et al. Precision and accuracy of radiological bone age assessment in children among different ethnic groups: a systematic review. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(19):3124. doi: 10.3390/diagnostics13193124
**25.** Santoro V, Marini C, Fuzio G, et al. A Comparison of 3 established skeletal age estimation methods in an african group from benin and an italian group from Southern Italy. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology.* 2019;40(2):125–128. doi: 10.1097/PAF.0000000000000472
**26.** Martin DD, Wit JM, Hochberg Z, et al. The use of bone age in clinical practice – part 2. *Hormone Research in Paediatrics.* 2011;76(1):10–16. doi: 10.1159/000329374 EDN: OZUDFH
**27.** Huang S, Su Z, Liu S, et al. Combined assisted bone age assessment and adult height prediction methods in chinese girls with early puberty: analysis of three artificial intelligence systems. *Pediatric Radiology.* 2023;53(6):1108–1116. doi: 10.1007/s00247-022-05569-3
**28.** Kim JR, Lee YS, Yu J. Assessment of bone age in prepubertal healthy korean children: comparison among the Korean standard bone age chart, greulich-pyle method, and tanner-whitehouse method. *Korean Journal of Radiology.* 2015;16(1):201–205. doi: 10.3348/kjr.2015.16.1.201
**29.** Willems G. A review of the most commonly used dental age estimation techniques. *The Journal of Forensic Odonto-Stomatology.* 2001;19(1):9–17 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://ojs.iofos.eu/index.php/Journal/article/view/1725/329
**30.** Szemraj A, Wojtaszek-Słomińska A, Racka-Pilszak B. Is the cervical vertebral maturation (CVM) method effective enough to replace the hand-wrist maturation (HWM) method in determining skeletal maturation?—A systematic review. *European Journal of Radiology.* 2018;102:125–128. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.03.012
**31.** Castriota-Scanderbeg A, De Micheli V. Ultrasound of femoral head cartilage: a new method of assessing bone age. *Skeletal Radiology.* 1995;24(3):197–200. doi: 10.1007/bf00228922 EDN: ISPXDV
**32.** Alekseyeva LN, Kinzersky AYu. Detection of bone age in children using ultrasound method. *Genij Ortopedii.* 2012;(2):123–127. EDN: PBXJRJ
**33.** Lo Re G, Zerbo S, Terranova MC, et al. Role of imaging in the assessment of age estimation. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI.* 2019;40(1):51–55. doi: 10.1053/j.sult.2018.10.010
**34.** Lopatin O, Barszcz M, Woźniak KJ. Skeletal and dental age estimation via postmortem computed tomography in Polish subadults group. *International Journal of Legal Medicine.* 2023;137(4):1147–1159. doi: 10.1007/s00414-023-03005-1 EDN: GMMXJM
**35.** Terada Y, Kono S, Tamada D, et al. Skeletal age assessment in children using an open compact MRI system. *Magnetic Resonance in Medicine.* 2012;69(6):1697–1702. doi: 10.1002/mrm.24439
**36.** Tomei E, Sartori A, Nissman D, et al. Value of MRI of the hand and the wrist in evaluation of bone age: Preliminary results. *Journal of Magnetic Resonance Imaging.* 2013;39(5):1198–1205. doi: 10.1002/jmri.24286
**37.** Hojreh A, Gamper J, Schmook MT, et al. Hand MRI and the Greulich-Pyle atlas in skeletal age estimation in adolescents. *Skeletal Radiology.* 2018;47(7):963–971. doi: 10.1007/s00256-017-2867-3 EDN: JKRNLX
**38.** Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist.* Stanford: Stanford University Press; 1959. ISBN: 978-080-470-398-7 doi: 10.1097/00000441-195909000-00030
**39.** Zhukovskii MA. *Pediatric endocrinology: a guide for physicians.* 3rd ed. Moscow: Meditsina; 1995. (In Russ.) ISBN: 5-225-01167-5 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://www.libex.ru/detail/book251915.html
**40.** De Sanctis V, Di Maio S, Soliman AT, et al. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism.* 2014;18(7):S63–S71. doi: 10.4103/2230-8210.145076 EDN: YEVLAU
**41.** Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, et al. *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method).* 2nd ed. London: Academic Press; 1975 ISBN: 978-012-683-350-8 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://a.co/d/a5XA81q
**42.** Korolyuk I.P. *X-ray anatomy atlas of the skeleton (norm, variants, interpretation errors).* Moscow: Vidar; 1996. (In Russ.) ISBN: 5-88429-013-6 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://studfile.net/preview/16674356/
**43.** Dedova II, Peterkovoi VA, editors. *Federal clinical guidelines (protocols) for the management of children with endocrine diseases.* Moscow: Praktika; 2014. (In Russ.) [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://library.mededtech.ru/rest/documents/deti_20151/
**44.** Moller TB, Reif E. *Pocket atlas of radiographic positioning.* Moscow: Med. lit.; 2005 ISBN: 5-89-677-044-8 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://mos-medsestra.ru/biblioteka/prof_literatura/Atlas_rentgenologicheskikh_ukladok_Torsten_B_Meller_i_dr.pdf
**45.** Vitebskaya AV. Current trends in the diagnosis and treatment of idiopathic dwarfism. *Problems of Endocrinology.* 2007;53(1):46–53. doi: 10.14341/probl200753146-53 EDN: XGXISN
**46.** Ontell FK, Ivanovic M, Ablin DS, Barlow TW. Bone age in children of diverse ethnicity. *American Journal of Roentgenology.* 1996;167(6):1395–1398. doi: 10.2214/ajr.167.6.8956565
**47.** Mansourvar M, Ismail MA, Raj RG, et al. The applicability of Greulich and Pyle atlas to assess skeletal age for four ethnic groups. *Journal of Forensic and Legal Medicine.* 2014;22:26–29. doi: 10.1016/j.jflm.2013.11.011
**48.** Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, et al. *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method).* 3nd ed. London: W.B. Saunders; 2001 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://search.worldcat.org/en/title/46393147
**49.** Tanner JM, Whitehouse RJ. A *New System for Estimating Skeletal Maturity from the Hand and Wrist, with Standards Derived from a Study of 2,600 Healthy British Children.* Paris: International Children's Centre; 1962 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://search.worldcat.org/en/title/22456469
**50.** Dahlberg PS, Mosdøl A, Ding Y, et al. A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas. *European Radiology.* 2018;29(6):2936–2948. doi: 10.1007/s00330-018-5718-2 EDN: ULWTMJ
**51.** Torné BE. Comparative study between bone ages: Carpal, Metacarpophalangic, Carpometacarpophalangic Ebrí, Greulich and Pyle and Tanner Whitehouse2. *Medical Research Archives.* 2021;9(12):1–8. doi: 10.18103/mra.v9i12.2625
**52.** Alshamrani K, Offiah AC. Applicability of two commonly used bone age assessment methods to twenty-first century UK children. *European Radiology.* 2019;30(1):504–513. doi: 10.1007/s00330-019-06300-x EDN: UZVGON
**53.** Albaker AB, Aldhilan AS, Alrabai HM, et al. Determination of bone age and its correlation to the chronological age based on the Greulich and Pyle method in Saudi Arabia. *Journal of Pharmaceutical Research International.* 2021;33:1186–1195. doi: https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i60b34731 EDN: THCVCG
**54.** Creo AL, Schwenk WF 2nd. Bone age: a handy tool for pediatric providers. *Pediatrics.* 2017;140(6):e20171486. doi: 10.1542/peds.2017-1486
**55.** Koc A, Karaoglanoglu M, Erdogan M, et al. Assessment of bone ages: is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatrics International.* 2001;43(6):662–665. doi: 10.1046/j.1442-200X.2001.01470.x
**56.** Alshamrani K, Messina F, Offiah AC. Is the Greulich and Pyle atlas applicable to all ethnicities? A systematic review and meta-analysis. *European Radiology.* 2019;29(6):2910–2923. doi: 10.1007/s00330-018-5792-5 EDN: ILWWDK
**57.** Nang KM, Ismail AJ, Tangaperumal A, et al. Forensic age estimation in living children: how accurate is the Greulich-Pyle method in Sabah, East Malaysia? *Frontiers in Pediatrics.* 2023;11:1137960. doi: 10.3389/fped.2023.1137960 EDN: LOPAFL
**58.** Elamin F, Abdelazeem N, Elamin A, et al. Skeletal maturity of the hand in an East African group from Sudan. *American Journal of Physical Anthropology.* 2017;163(4):816–823. doi: 10.1002/ajpa.23247
**59.** Alshamrani K, Hewitt A, Offiah AC. Applicability of two bone age assessment methods to children from Saudi Arabia. *Clinical Radiology.* 2020;75(2):156.e1–156.e9. doi: https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.08.029 EDN: ZMWLVO

**60.** Patil ST, Parchand MP, Meshram MM, Kamdi NY. Applicability of Greulich and Pyle skeletal age standards to Indian children. *Forensic Science International.* 2012;216(1-3):200.e1–200.e4. doi: 10.1016/j.forsciint.2011.09.022
**61.** Chiang K-H, Chou AS-B, Yen P-S, et al. The reliability of using greulich-pyle method to determine children's bone age in Taiwan. *Tzu Chi Medical Journal.* 2005;17(6):417–420 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/286044932_The_reliability_of_using_Greulich-Pyle_method_to_determine_children's_bone_age_in_Taiwan
**62.** Baginskiy VA, Denisov SD, Dechko VM, Anisova NS. Experience of bone age assessment using the Greulich - Pyle and Tanner - Whitehouse methods. In: *Proceedings of international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Belarusian State Medical University* "Modern Technologies in medical education"; 2019 Oct 3–4; Minsk. Minsk: Belarusian State Medical University; 2021. P. 639–641. EDN: CCQMAM
**63.** Baginskiy VA, Denisov SD. Bone age assessment using the Greulich-Pyle method. In: *Proceedings of works of the scientific and practical conference with international participation "Modern morphology: problems and prospects of development"*; 2021 Nov 1–5; Minsk. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus; 2019. P. 23–25. EDN: DSTZMC
**64.** Hackman L, Black S. The reliability of the Greulich and Pyle atlas when applied to a modern scottish population. *Journal of Forensic Sciences.* 2012;58(1):114–119. doi: 10.1111/j.1556-4029.2012.02294.x
**65.** Baginskiy VA, Denisov SD. Comparative analysis of methods for bone age determination. *BGMU v avangarde meditsinskoi nauki i praktiki.* 2022;2(12):129–136. EDN: TOLBRP
**66.** Boeyer ME, Sherwood RJ, Deroche CB, Duren DL. Early maturity as the new normal: a century-long study of bone age. *Clinical Orthopaedics & Related Research.* 2018;476(11):2112–2122. doi: 10.1097/CORR.0000000000000446
**67.** Dorokhov RN. *Fundamentals of somatodiagnostics of children and adolescents. Introduction to the subject "Integrative sports morphology".* Smolensk: Smolensk State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism; 2015. (In Russ.) ISBN: 978-5-94578-095-8 [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007903248/?utm_source=chatgpt.com
**68.** Tanner J.M., Gibbons R.D. A computerized image analysis system for estimating Tanner-Whitehouse 2 bone age. *Hormone research.* 1994;42(6):282–287. doi: 10.1159/000184210
**69.** Safonenkova EV. Secular trend and development prospects (literature review). *Journal of New Medical Technologies.* 2022;16(3):83–90. doi: 10.24412/2075-4094-2022-3-3-4 EDN: URHUXG
**70.** Sharmazanova EP. Radiological data about osseous age in children. *Radiology – Practice.* 2011;(4):109–111. (In Russ.) EDN: NYBQUZ
**71.** Morozov SP, Abuladze LR, Andreichenko AE, et al. *Basic recommendations for the operation of artificial intelligence services for radiation diagnostics: methodological recommendations* [Internet]. Moscow: Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine; 2022. (In Russ.) [cited 2024 Jul 9]. Available from: https://telemedai.ru/biblioteka-dokumentov/bazovye-rekomendacii-k-rabote-servisov-iskusstvennogo-intellekta-dlya-luchevoj-diagnostiki
**72.** Vasilev YuA, Bobrovskaya TM, Arzamasov KM, et al Medical datasets for machine learning: fundamental principles of standartization and systematization. *Manager Zdravookhranenia.* 2023;(4):28–41. doi: 10.21045/1811-0185-2023-4-28-41 EDN: EPGAMD
**73.** Vasiliev YuA, Vlazimirsky AV, Omelyanskaya OV, et al. Methodology for testing and monitoring artificial intelligence-based software for medical diagnostics. *Digital Diagnostics.* 2023;4(3):252–267. doi: 10.17816/DD321971 EDN: UEDORU
**74.** Vladzymyrsky AV, Vasilev YuA, Arzamasov KM, et al. *Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow experiment.* 2nd ed. Moscow: Izdatel'skie resheniya; 2023 (In Russ.) ISBN: 978-5-0059-3043-9 EDN: FOYLXK
**75.** Hsieh CW, Liu TC, Jong TL, Tiu CM. A fuzzy-based growth model with principle component analysis selection for carpal bone-age assessment. *Medical & Biological Engineering & Computing.* 2010;48(6):579–588. doi: 10.1007/s11517-010-0609-y
**76.** Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE Transactions on Medical Imaging.* 2009;28(1):52–66. doi: 10.1109/TMI.2008.926067
**77.** Kosik I, Kabak S, Karapetsian R, et al. Determination of bone age using artificial intelligence. *BGMU v avangarde meditsinskoi nauki i praktiki.* 2020;(10):154–164. EDN: FGOQDF
**78.** Lee BD, Lee MS. Automated bone age assessment using artificial intelligence: the future of bone age assessment. *Korean Journal of Radiology.* 2021;22(5):792. doi: 10.3348/kjr.2020.0941 EDN: WMLLEF
**79.** Son SJ, Song Y, Kim N, et al. TW3-based fully automated bone age assessment system using deep neural networks. *IEEE Access.* 2019;7:33346–33358. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2903131
**80.** Bui TD, Lee JJ, Shin J. Incorporated region detection and classification using deep convolutional networks for bone age assessment. *Artificial Intelligence in Medicine.* 2019;97:1–8. doi: 10.1016/j.artmed.2019.04.005
**81.** Spampinato C, Palazzo S, Giordano D, et al. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images. *Medical Image Analysis.* 2017;36:41–51. doi: 10.1016/j.media.2016.10.010
**82.** Tajmir SH, Lee H, Shailam R, et al. Artificial intelligence-assisted interpretation of bone age radiographs improves accuracy and decreases variability. *Skeletal Radiology.* 2018;48(2):275–283. doi: 10.1007/s00256-018-3033-2 EDN: RTPUEM
**83.** Larson DB, Chen MC, Lungren MP, et al. Performance of a deep-learning neural network model in assessing skeletal maturity on pediatric hand radiographs. *Radiology.* 2018;287(1):313–322. doi: 10.1148/radiol.2017170236
**84.** Koitka S, Kim MS, Qu M, et al. Mimicking the radiologists' workflow: estimating pediatric hand bone age with stacked deep neural networks. *Medical Image Analysis.* 2020;64:101743. doi: 10.1016/j.media.2020.101743 EDN: QCVQXX
**85.** Pan I, Baird GL, Mutasa S, et al. Rethinking Greulich and Pyle: a deep learning approach to pediatric bone age assessment using pediatric trauma hand radiographs. *Radiology: Artificial Intelligence.* 2020;2(4):e190198. doi: 10.1148/ryai.2020190198 EDN: GLDRHD
**86.** Pan X, Zhao Y, Chen H, et al. Fully automated bone age assessment on large-scale hand X-Ray dataset. *International Journal of Biomedical Imaging.* 2020;2020:1–12. doi: 10.1155/2020/8460493 EDN: VOBVOF
**87.** Lee JH, Kim YJ, Kim KG. Bone age estimation using deep learning and hand X-ray images. *Biomedical Engineering Letters.* 2020;10(3):323–331. doi: 10.1007/s13534-020-00151-y EDN: CGPHJN
**88.** Booz C, Yel I, Wichmann JL, et al. Artificial intelligence in bone age assessment: accuracy and efficiency of a novel fully automated algorithm compared to the Greulich-Pyle method. *European Radiology Experimental.* 2020;4(1):1–8. doi: 10.1186/s41747-019-0139-9EDN: SPZNYP
**89.** Kosik II, Nadzved AM, Karapetsian RM. Combined algorithm for bone age determination based on hand X-rays analysis. Journal of the Belarusian State University. *Mathematics and Informatics.* 2020;(2):105–114. doi: 10.33581/2520-6508-2020-2-105-114 EDN: AEGXIV
**90.** Zulkifley MA, Mohamed NA, Abdani SR, et al. Intelligent bone age assessment: an automated system to detect a bone growth problem using convolutional neural networks with attention mechanism. *Diagnostics.* 2021;11(5):765. doi: 10.3390/diagnostics11050765 EDN: NSUUHA
**91.** Martin DD, Calder AD, Ranke MB, et al. Accuracy and self-validation of automated bone age determination. *Scientific Reports.* 2022;12(1):1–12. doi: 10.1038/s41598-022-10292-y EDN: JJCJGP
**92.** Wang X, Zhou B, Gong P, et al. Artificial intelligence–assisted bone age assessment to improve the accuracy and consistency of physicians with different levels of experience. *Frontiers in Pediatrics.* 2022;10:818061. doi: 10.3389/fped.2022.818061 EDN: VTUQXQ
**93.** Zhao K, Ma S, Sun Z, et al. Effect of AI-assisted software on inter- and intra-observer variability for the X-ray bone age assessment of preschool children. *BMC Pediatrics.* 2022;22(1):1–6. doi: 10.1186/s12887-022-03727-y EDN: LSHLFM
**94.** Li Z, Chen W, Ju Y, et al. Bone age assessment based on deep neural networks with annotation-free cascaded critical bone region extraction. *Front Artif Intell.* 2023;6:1142895. doi: 10.3389/frai.2023.1142895 EDN: RWIWYP
**95.** Rassmann S, Keller A, Skaf K, et al. Deeplasia: deep learning for bone age assessment validated on skeletal dysplasias. *Pediatric Radiology.* 2023;54(1):82–95. doi: 10.1007/s00247-023-05789-1 EDN: QQNRWW
**96.** Diachkova GV, Klimov OV, Novikov KI, Novikova OS. Age-related roentgenological peculiarities of the hand bones in patients with achondroplasia. *Genij Ortopedii.* 2006;(3):36–38. EDN: JJSIXH

## ОБ АВТОРАХ

*** Резников Дмитрий Николаевич;**
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д.24, стр.1;
ORCID: 0009-0004-8730-883X;
eLibrary SPIN: 9305-7875;
e-mail: reznik.m.d@mail.ru

**Кулиговский Дмитрий Вадимович;**
ORCID: 0009-0000-9824-6073;
eLibrary SPIN: 2821-5979;
e-mail: rock_100@mail.ru

**Воронцова Инна Геннадьевна;**
ORCID: 0000-0001-5657-9371;
eLibrary SPIN: 7829-5461;
e-mail: vorontsova-inna@mail.ru

**Петряйкин Алексей Владимирович,** д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0003-1694-4682;
eLibrary SPIN: 6193-1656;
e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

**Петряйкина Елена Ефимовна,** д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-8520-2378;
eLibrary SPIN: 5997-7464;
e-mail: lepet_morozko@mail.ru

**Гордеев Александр Евгеньевич;**
ORCID: 0009-0007-8537-8991;
e-mail: almanelis.dev@gmail.com

**Варюхина Мария Дмитриевна,** канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8870-7649;
eLibrary SPIN: 7463-4645;
e-mail: VaryukhinaMD@zdrav.mos.ru

**Ерижоков Рустам Арсеньевич;**
ORCID: 0009-0007-3636-2889;
eLibrary SPIN: 2274-6428;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

**Омелянская Ольга Васильевна;**
ORCID: 0000-0002-0245-4431;
eLibrary SPIN: 8948-6152;
e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru

**Владзимирский Антон Вячеславович,** д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

## AUTHORS' INFO

*** Dmitry N. Reznikov,** MD;
address: 24 Petrovka st. bld. 1, Moscow, Russia, 127051;
ORCID: 0009-0004-8730-883X;
eLibrary SPIN: 9305-7875;
e-mail: reznik.m.d@mail.ru

**Dmitriy V. Kuligovskiy;**
ORCID: 0009-0000-9824-6073;
eLibrary SPIN: 2821-5979;
e-mail: rock_100@mail.ru

**Inna G. Vorontsova,** MD;
ORCID: 0000-0001-5657-9371;
eLibrary SPIN: 7829-5461;
e-mail: vorontsova-inna@mail.ru

**Alexey V. Petraikin,** MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-1694-4682;
eLibrary SPIN: 6193-1656;
e-mail: alexeypetraikin@gmail.com

**Elena E. Petryaykina,** MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
ORCID: 0000-0002-8520-2378;
eLibrary SPIN: 5997-7464;
e-mail: lepet_morozko@mail.ru

**Alexander E. Gordeev;**
ORCID: 0009-0007-8537-8991;
e-mail: almanelis.dev@gmail.com

**Maria D. Varyukhina,** MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0001-8870-7649;
eLibrary SPIN: 7463-4645;
e-mail: VaryukhinaMD@zdrav.mos.ru

**Rustam A. Erizhokov,** MD;
ORCID: 0009-0007-3636-2889;
eLibrary SPIN: 2274-6428;
e-mail: npcmr@zdrav.mos.ru

**Olga V. Omelyanskaya;**
ORCID: 0000-0002-0245-4431;
eLibrary SPIN: 8948-6152;
e-mail: OmelyanskayaOV@zdrav.mos.ru

**Anton V. Vladzymyrskyy,** MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-2990-7736;
eLibrary SPIN: 3602-7120;
e-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author