

Судебно-медицинская оценка возраста по изображениям магнитно-резонансной томографии коленного сустава: систематический обзор литературы

Д.Д. Золотенков, Н.С. Серова, Г.В. Золотенкова, М.П. Полетаева, Ю.И. Пиголкин
Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова
(Сеченовский Университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Проблема оценки возраста в реалиях современного общества не только актуальна, но и социально значима. Согласно официальной статистике в 2021 году зафиксировано рекордное число мигрантов и беженцев — более 89 и 27,1 млн соответственно. Среди них большую часть составляют дети и подростки в возрасте до 18 лет. Данная категория граждан не имеет должных юридических документов, подтверждающих дату их рождения. Именно поэтому в подобных случаях необходимо проводить экспертизу по установлению возраста. С точки зрения безопасности и эффективности магнитно-резонансную томографию считают методом выбора в отношении его оценки. В связи с этим возникает потребность в изучении возможности её применения в качестве метода регистрации и оценки статуса развития исследуемого анатомического участка.

Цель — анализ опубликованных данных о возможности использования результатов магнитно-резонансной томографии коленного сустава с целью определения его стадии эпифизарной оссификации, позволяющей осуществить судебно-медицинскую оценку возраста детей, подростков и молодых людей.

Материал и методы. Для выполнения работы составлен и зарегистрирован протокол исследования в PROSPERO (регистрационный номер в проспективном реестре систематических обзоров — CRD42022344779, 2022 год). Использовали несколько поисковых систем, а именно PubMed и Web of Science, и базу данных Scopus с целью обеспечения всестороннего обзора текущих знаний. Мы рассматривали статьи на английском языке, опубликованные в период с 1985–2021 гг. Поиск литературы осуществляли с применением следующих ключевых слов и сочетаний терминов: «age estimation», «age determination», «knee», «magnetic resonance imaging of the knee».

Результаты. Мы отобрали и детально проанализировали 13 публикаций. Установлены различия опубликованных работ в отношении протоколов исследования магнитно-резонансной томографии, классификаций, используемых для определения стадии эпифизарной оссификации в соответствии с возрастом, специализации исследователей и их стажа работы. Отмечена значимая неоднородность популяционных выборок: различное число субъектов исследования, вариативный возрастной диапазон и неравномерное распределение по отдельным возрастным группам внутри него.

Заключение. Объем информации в опубликованных и отобранных для систематического обзора исследованиях, её разнородность не позволили провести метаанализ полученных авторами результатов, спрогнозировать риск неправильной классификации целевой возрастной группы. Именно поэтому использование результатов магнитно-резонансной томографии коленного сустава для оценки скелетного возраста на сегодняшний момент невозможно рассматривать в качестве объективной доказательной основы.

Ключевые слова: судебно-медицинская оценка возраста; скелетный возраст; коленный сустав; магнитно-резонансная томография; систематический обзор.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Золотенков Д.Д., Серова Н.С., Золотенкова Г.В., Полетаева М.П., Пиголкин Ю.И. Судебно-медицинская оценка возраста по изображениям магнитно-резонансной томографии коленного сустава: систематический обзор литературы // Судебная медицина. 2024. Т. 10. № 4. С. XX–XX.
DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16174>

Рукопись получена: 31.07.2024

Рукопись одобрена: 07.11.2024

Опубликована Online: 30.12.2024

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International

© Эко-Вектор, 2024

Accepted for publication

Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee joint: a systematic review

Dmitry D. Zolotenko, Natalia S. Serova, Galina V. Zolotenkova, Mariya P. Poletaeva, Yuri I. Pigolkin
Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The problem of age assessment in the realities of modern society is not only relevant, but also socially significant. According to official statistics, in 2021, a record number of migrants and refugees was recorded - more than 89 and 27.1 million, respectively. Among them, the majority are children and adolescents under 18 years of age. This category of citizens does not have the proper legal documents confirming their date of birth. That is why in such cases it is necessary to conduct an examination to establish age. From the point of view of safety and effectiveness, magnetic resonance imaging is considered the method of choice for its assessment. In this regard, there is a need to study the possibility of its use as a method for recording and assessing the developmental status of the anatomical area under study.

AIM: Analysis of published data on the possibility of using MRI of the knee joint to record its developmental status and forensic age assessment of children, adolescents and young people.

MATERIAL AND METHODS: To carry out the work, a study protocol was drawn up and registered in PROSPERO (registration number in the prospective register of systematic reviews - CRD42022344779, 2022). The databases Scopus, PubMed, Web of Science were used. Time period: 1985-2021. Language of publications: English, Russian. The keywords used (search string): (("age estimation") OR ("age determination")) AND (knee).

RESULTS: 13 articles were ultimately selected and studied in detail from the total number of articles (400). Differences in published works were established: according to MRI study protocols, author's methods for assessing the staging of age-related changes in the epiphyseal line of the bones studied, the specialty of the researchers and their work experience. Significant heterogeneity of population samples is noted: different numbers of study subjects, variable age range and uneven distribution by individual age groups within it. Due to the lack of studies with a uniform distribution of chronological age, there is a high risk of potential bias in the results.

CONCLUSIONS: The heterogeneity of published studies does not allow for a meta-analysis, calculation of the prognostic risk of misclassification of the target age group and currently limits the feasibility of the practical use of knee MRI for forensic age assessment. The results of the presented study can be used to form the trajectory of subsequent scientific research. Standardization of study design, sample formation process, comparative studies of various staging methods and automated age assessment based on MRI data using neural network technologies is a promising set of solutions to existing problems.

Keywords: forensic age assessment; skeletal age; knee joint; magnetic resonance imaging; systematic review.

Zolotenko DD, Serova NS, Zolotenkova GV, Poletaeva MP, Pigolkin YuI. Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee joint: a systematic review. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2024;10(4):XX-XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm16174>

Received: 31.07.2024

Accepted: 07.11.2024

Published Online: 30.12.2024

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Eco-Vector, 2024

ОБОСНОВАНИЕ

Проблема оценки возраста в реалиях современного общества не только актуальна, но и социально значима. Вооружённые конфликты в зоне проживания, насилие со стороны организованной преступности, неразрешимые социально-экономические проблемы, политические репрессии, природные и техногенные катастрофы — основные причины, вынуждающие людей покинуть свои дома. Согласно официальной статистике в 2021 году зафиксировано рекордное число мигрантов и беженцев — более 89 и 27,1 млн соответственно, что значительно превышает данные за 2019–2020 гг. [1]. По сведениям Управления Верховного комиссара Организации Объединённых Наций по делам беженцев, более 50% из них — дети и подростки в возрасте до 18 лет. В большинстве случаев данная категория граждан не имеет должных юридических документов, подтверждающих дату их рождения. Именно поэтому подобные случаи требуют проведения экспертных исследований по установлению возраста. Согласно действующему законодательству [статья 196 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации (РФ)] проведение судебно-медицинской экспертизы по установлению возраста является обязательной процедурой в случаях, когда возраст имеет юридическое значение и при отсутствии его документального подтверждения у подозреваемого, обвиняемого и потерпевшего. Следует отметить, что для уголовного судопроизводства имеют принципиальное значение такие возрасты, как 14, 16 и 18 лет [часть 1 статьи 87 Уголовного кодекса (УК) РФ; статья 20 УК РФ; часть 2 статьи 20 УК РФ]. В спортивной медицине оценку возраста проводят с целью предупреждения его фальсификации и соблюдения принципов спортивной честности.

Согласно рекомендациям рабочей группы по судебно-медицинской диагностике возраста (Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik, AGFAD) обследования в рамках процедуры его установления предусматривают комплексную оценку: анамнестических данных; физического развития; стоматологического статуса — ортопантограмма; результатов рентгенологического исследования рук (кисти и запястья) [2–9]. Если развитие скелета кисти завершено, то дополнительно проводят компьютерную томографию (КТ) ключиц [10, 11]. Рентгенографическая визуализация является ведущим методом исследования, поскольку позволяет максимально объективизировать оценочные суждения. О. Lopatin и соавт. [12] в сравнительном обзоре отметили значительное увеличение количества научных работ в области радиологической оценки возраста в течение последних 20 лет. Наибольшее их количество посвящено оценке результатов рентгенологического исследования зубного ряда, кисти, запястья и ключицы. Изучены вопросы межпопуляционной изменчивости, проведён сравнительный анализ различных методик, а также дана оценка влияния таких факторов, как пол, физическая активность, социально-экономический статус, на точность результатов при использовании традиционных методов [9–23]. Помимо стандартного набора признаков, для оценки возраста совершеннолетия предлагают использовать рентгенографические паттерны окостенения эпифизарных хрящей костей верхних конечностей [15, 22, 23].

Проанализированы возможности применения КТ для исследования стадий окостенения клиновидно-затылочного (сфено-базиллярного) синхондроза в зависимости от возраста [24–30]. Доказана эффективность рентгенологического исследования стадий окостенения и сращения гребня подвздошной кости и эпифизов седалищных бугров для определения порога восемнадцатилетия [31], а также КТ гребня подвздошной кости с целью разграничения юридически значимых возрастов [32]. Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что коленный сустав является достаточно востребованной анатомической областью в качестве объекта исследования для определения возраста человека [33–69]. Так, его рентгенологическое исследование у подростков предоставляет большее количество данных для оценки возраста за счёт возможности визуализации на одном снимке нескольких диагностически значимых анатомических элементов, а именно: дистального эпифиза бедренной кости, проксимального эпифиза большеберцовой и малоберцовой кости. Кроме того, оно характеризуется простотой технического исполнения. Однако в зарубежных работах встречаются высказывания о возможном пагубном воздействии ионизирующего излучения [3].

По обновлённым данным Европейского бюро поддержки предоставления убежища (EASO), представленным в «Практическом руководстве по оценке возраста», методы его оценки классифицируют в соответствии с их инвазивностью. Среди критериев, лежащих в основе классификации, выделяют как этические аспекты (физический осмотр), так и воздействие на здоровье (ионизирующее излучение). С точки зрения безопасности и эффективности магнитно-резонансную томографию (МРТ) считают методом выбора в отношении оценки возраста

человека [2]. Именно поэтому возникает потребность в изучении возможности её применения в качестве метода регистрации и оценки статуса развития исследуемого анатомического участка.

Цель исследования — анализ опубликованных данных о возможности использования результатов МРТ коленного сустава с целью определения стадии эпифизарной оссификации, позволяющей осуществить судебно-медицинскую оценку возраста детей, подростков и молодых людей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения работы составлен и зарегистрирован протокол в PROSPERO в 2022 году (Национальный институт исследований в области здравоохранений) — регистрационный номер в проспективном реестре систематических обзоров CRD42022344779. Данное исследование одобрено Этическим комитетом Сеченовского Университета (протокол № 01-21 от 22.01.2021) в качестве части более крупного проекта.

ПОИСКОВАЯ СТРАТЕГИЯ

Мы использовали несколько поисковых систем, а именно PubMed и Web of Science, и базу данных Scopus с целью обеспечения всестороннего обзора текущих знаний в области применения результатов МРТ коленного сустава для оценки биологического возраста. Для систематического обзора мы рассматривали статьи на английском языке, опубликованные в период с 1985–2021 гг.

Поиск литературы осуществляли с применением ключевых слов и сочетаний терминов, связанных с использованием результатов МРТ коленного сустава для определения возраста человека: «age estimation», «age determination», «knee», «magnetic resonance imaging of the knee». В систематический обзор включены обсервационные поперечные исследования. В таких журналах, как Forensic Science International, Journal of Forensic Sciences, International Journal of Legal Medicine, Journal of Forensic and Legal Medicine, проведён ручной поиск с похожими поисковыми запросами, чтобы найти любые соответствующие статьи. Представленные журналы включены в окончательный список на основании количества опубликованных исследований, рассматриваемых применение МРТ коленного сустава для оценки возраста человека. Изучены списки литературы выбранных публикаций для выявления дополнительных исследований.

На первоначальном этапе в систематический обзор включены оригинальные исследовательские работы, описывающие применение различных методов визуализации, таких как МРТ, КТ, рентгенография, ультразвуковое исследование (УЗИ), с целью прижизненного определения возраста испытуемых. Поскольку сравнивать возрастные границы паттернов, полученных с помощью различных диагностических методов, некорректно, мы приняли решение скорректировать критерии включения в исследование. Следует отметить, что технические характеристики используемых аппаратов и режимов исследования не стали ограничением при отборе публикаций.

Критерии включения:

- статьи, описывающие применение изображений МРТ коленного сустава для оценки возраста человека;
- оценка возрастных изменений не менее 2-х структур — дистального эпифиза бедренной и проксимального эпифиза большеберцовой и малоберцовой кости;
- наличие данных описательной статистики для каждой стадии.

Критерии исключения:

- пилотные исследования;
- обзорные статьи, в том числе систематические и метаанализы;
- описание клинических случаев;
- публикации с неправильным дизайном исследования (отсутствие данных статистики, распределения по возрасту и др.);
- исследования, проведённые на трупах (костных коллекциях);
- исследования с участием субъектов с физическими или медицинскими нарушениями, а также с аномалиями развития;
- выборки участников исследования, в возрастной диапазон которых не попадал возраст наступления совершеннолетия (до и после 18 лет).

На **рис. 1** представлен процесс поиска литературы и отбора исследований.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ

Из публикаций, прошедших отбор, извлечены данные, касающиеся непосредственно исследований, их участников, протоколов исследований, технических характеристик, результатов статистического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Краткое резюме работ, отобранных для систематического обзора, представлено в табл. 1. Во всех публикациях приведены подробные сведения о критериях невключения, связанных с состоянием здоровья пациентов. Данные о социально-экономическом статусе участников исследования, степени их физической активности, напротив, отсутствовали. Кроме того, в большинстве исследований не обнаружена информация о популяционной выборке (национальности). Исключением стали работы V. Vieth и соавт. [63] и C. Ottow и соавт. [36], в которых указана национальность добровольцев (немцы), участвовавших в исследовании. M.H. Daghghi и соавт. [55] и F. Fan и соавт. [48] также указали национальность участников — иранцы и ханьцы соответственно. В работе, проведённой F. Dedouit и соавт. [52], отмечают, что этническое происхождение ретроспективно отобранных пациентов не принимали во внимание. В остальных случаях указано только местоположение исследовательского центра [46, 50, 51, 55, 60–62, 64].

Количество участников исследования варьировало от 165 до 764 [61, 67]. Мы также отметили, что относительно небольшие выборки в некоторых исследованиях (от 165 до 322) привели к неравномерной возрастной стратификации [48, 52, 55, 67]. Подобное обстоятельство повышает риск систематических ошибок. Кроме того, в представленных исследованиях мы наблюдали преобладание участников мужского пола (см. табл. 1).

Возраст исследуемых пациентов варьировал от 11,4 до 28,25 года. На данном этапе мы исключили из дальнейшего сравнительного анализа работу A. Margalit и соавт. [67], поскольку возраст добровольцев, участвовавших в их исследовании, составил 0–19 лет. Наибольший научно-практический интерес представляют работы, описывающие способы оценки стадии эпифизарного сращения. Так, в 5 исследованиях [60, 62, 64, 67] оценку эпифизарной оссификации проводили с помощью классификации F. Dedouit и соавт. [52], основанной на степени сращения эпифизарных пластинок роста коленного сустава по данным МРТ (**рис. 2**). Её авторы выделили пять стадий созревания дистального эпифиза бедренной и проксимального эпифиза большеберцовой кости:

- I стадия — непрерывный горизонтальный сигнал от хряща между метафизом и эпифизом, напоминающий многослойную полосу толщиной более 1,5 мм. Многослойность обусловлена сниженной интенсивностью сигнала в верхнем и нижнем слоях и повышенной — в среднем слое (см. рис. 2, a);
- II стадия — зона роста представлена непрерывным горизонтальным сигналом от хряща повышенной интенсивности с толщиной более 1,5 мм, однако без многослойности (см. рис. 2, b);
- III стадия — непрерывный горизонтальный сигнал от хряща повышенной интенсивности с толщиной менее 1,5 мм (см. рис. 2, c);
- IV стадия — сигнал от хряща в виде прерывистой горизонтальной линии, присутствующей между метафизом и эпифизом, толщиной менее 1,5 мм (см. рис. 2, d);
- V стадия — отсутствие сигнала повышенной интенсивности между метафизом и эпифизом (см. рис. 2, e).

В трёх исследованиях для оценки эпифизарной оссификации применяли классификацию A. Schmeling и соавт. [70], включающую в себя пять стадий, в модификации M. Kellinghaus и соавт. [69] с делением II и III стадии на раннюю, промежуточную и позднюю фазы (подстадии a, b, c) [36, 50, 51]. Градация II стадии связана с размерными характеристиками эпифиза по отношению к метафизу и только III стадия соответствует непосредственной протяжённости участка окостенения (сращения) эпифизарной линии: IIIa — 1/3 от общей протяжённости; IIIb — от 1/3 до 2/3; IIIc — более 2/3 [70].

Следует отметить, что в работе M.H. Daghghi и соавт. [55] оценку стадии эпифизарной оссификации осуществляли в соответствии только с классификацией A. Schmeling и соавт. [70]. В трёх исследованиях стадию эпифизарного сращения определяли в соответствии с классификацией V. Vieth и соавт. [63], которая включает в себя пять стадий (II–VI стадия), но в отличие от классификации F. Dedouit и соавт. [52], изображения МРТ получают в двух

последовательностях — T1-взвешенное изображение (ВИ) и T2-ВИ с предварительным насыщением сигнала с инверсным восстановлением (SPIR — signal presaturation with inversion recovery) [46, 61, 63]. Выделяют следующие стадии в зависимости от изменений, обнаруженных на изображениях (рис. 3):

- II стадия: T1-ВИ — непрерывная полоса сигнала промежуточной интенсивности, ограниченная зубчатыми линиями сигнала низкой интенсивности или его отсутствием в направлении эпифиза и диафиза (см. рис. 3, а); T2-ВИ SPIR — эпифиз представлен в виде зубчатой линии сигнала низкой интенсивности или его отсутствием. В области метафиза видны две зубчатые линии (непрерывные или прерывистые) сигнала высокой интенсивности (см. рис. 3, б);
- III стадия: T1-ВИ — прерывистая полоса сигнала промежуточной интенсивности, окружённая зубчатыми линиями сигнала низкой интенсивности или его отсутствием по направлению к эпифизу и диафизу, которые периодически соединяются и прерывают полосу, образуя единую зубчатую линию без сигнала (см. рис. 3, а); T2-ВИ SPIR — в метафизе две зубчатые линии сигнала высокой интенсивности периодически сливаются, образуя единую тонкую зубчатую линию сигнала высокой интенсивности (см. рис. 3, б);
- IV стадия: T1-ВИ — прерывистая тонкая зубчатая линия сигнала промежуточной интенсивности между эпифизом и диафизом, присутствуют более толстые участки без сигнала (см. рис. 3, а); T2-ВИ SPIR — видна тонкая одиночная прерывистая или пунктирная линия гиперинтенсивного сигнала в том же положении, что и линия в последовательности T1-ВИ, присутствуют более толстые гиперинтенсивные участки (см. рис. 3, б);
- V стадия: T1-ВИ — непрерывная тонкая линия сигнала промежуточной интенсивности между эпифизом и диафизом (см. рис. 3, а); T2-ВИ SPIR — единственная тонкая прерывистая или пунктирная линия гиперинтенсивного сигнала в том же положении, что и линия в последовательности T1-ВИ (см. рис. 3, б);
- VI стадия: T1-ВИ — непрерывная тонкая линия сигнала промежуточной интенсивности между эпифизом и диафизом (см. рис. 3, а); T2-ВИ SPIR — отсутствие какого-либо сигнала (см. рис. 3, б).

F. Fan и соавт. [48] оценивали стадию эпифизарного сращения по данным МРТ коленного сустава в соответствии с классификацией, предложенной J.A. Kramer и соавт. [68]. Она включает в себя четыре стадии, а также деление II на три подстадии в зависимости от протяжённости метаэпифизарного сращения: Pa — 1/3 от общей длины данного участка; Pb — от 1/3 до 2/3; Pc — 2/3 и более.

На данном этапе мы исключили из анализа работы [36, 50, 51, 55], в которых выраженность эпифизарной оссификации оценивали с помощью классификации A. Schmeling и соавт. [70] в модификации M. Kellinghaus и соавт. [69], поскольку она создана на основе анализа результатов КТ ключицы.

Изображения, используемые в исследованиях, получены с помощью сканеров с мощностью как 1,5 [46, 48, 50–52, 55, 60–62], так и 3 Тл [36, 63, 64, 67]. Авторы анализировали изображения коленных суставов в коронарных [46, 60, 61], сагиттальных [51] и обоих [52, 55] плоскостях. Последовательности, применяемые для проведения МРТ, представлены в таблице (см. табл. 1). Расстояние между срезами варьировало от 1,5 до 4,5 мм. Анализ других технических характеристик затруднён, поскольку данная информация представлена не во всех работах.

В большинстве исследований оценка изображений МРТ коленного сустава выполнена двумя врачами–рентгенологами [36, 52, 53, 55, 60–64], в 3 — судебным экспертом [46, 48, 50], в 1 — хирургом–ортопедом [67]. Их стаж работы по специальности варьировал от 8 до 23 лет. Тем не менее в некоторых публикациях отсутствовала информация о специалистах, проводивших анализ изображений [31, 36].

Во всех работах проводили межэкспертные тесты и в большинстве случаев применяли коэффициент каппа Коэнна (k). Его представленные значения позволяют судить о высокой степени согласованности (межэкспертной и внутриэкспертной) и, следовательно, воспроизводимости методов.

В исследованиях, отобранных для системного анализа, авторы использовали линейную регрессию для оценки корреляционной связи между стадией эпифизарной оссификации и возрастом. Во всех работах между данными характеристиками отмечена прямая корреляционная зависимость. Кроме того, у всех участников моложе 18 лет установлена I стадия, в то время как V стадия, заключительная, в соответствии с классификациями F. Dedouit и соавт. [52] и V. Vieth и соавт. [63] отмечена среди участников старше 18 лет. Однако минимальный возраст стадии,

соответствующей полной эпифизарной оссификации имел значительные различия. Подобные обстоятельства зафиксированы и при сравнительном исследовании в отношении других стадий. Во всех работах обнаружено более раннее завершение эпифизарной оссификации коленного сустава по данным МРТ у субъектов женского пола.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отмечено постепенное повышение интереса в отношении возможностей применения результатов МРТ коленного сустава с целью определения возраста человека в рамках судебно-медицинской экспертизы. Первая работа по данной теме опубликована в 2012 году, авторы которой рассматривали возможности использования изображений МРТ коленного сустава для оценки стадии эпифизарного сращения дистального эпифиза бедренной и проксимального эпифиза большеберцовой кости [52]. В последние годы мы видим стабильность научного интереса в данной области, что подтверждает наличие ежегодных публикаций: 2016 год — 2; 2017 и 2018 год — 1; 2019 год — 2; 2020 год — 4; 2021 год — 2. Данное обстоятельство обусловлено, с одной стороны, высокой потребностью в судебно-медицинских экспертных исследованиях по установлению возраста, прежде всего мигрантов. С другой — ростом обеспокоенности относительно опасности рентгенологических методов исследования [3].

Анализируя возрастную стратификацию участников исследований в соответствии с каждой стадией эпифизарной оссификации, мы обнаружили высокую степень риска систематической ошибки. Возрастной диапазон исследуемой популяции и количество включённых субъектов отдельных возрастных групп оказывают влияние на границы возрастной стратификации: как на верхнюю и нижнюю границы каждой стадии, так и на средний возраст. Подобное явление описывают как «возрастная мимикрия», представляющее основную проблему при установлении возраста [71, 72]. Его следствием является невозможность осуществления метаанализа возрастного распределения в соответствии со стадиями эпифизарной оссификации. Это также ограничивает возможность практического применения результатов МРТ коленного сустава для оценки возраста экспертом. Следует отметить и тот факт, что авторы предлагают с осторожностью относиться к опубликованным результатам, рекомендуют использовать полученные данные для формирования сопоставимой популяционной базы данных и призывают продолжить исследования на расширенных выборках.

Особенности использованного набора данных также в последующем влияют на расчётные значения риска неправильной классификации. Так, предпочтительное использование классификации, предложенной F. Dedouit и соавт. [52], вероятнее всего обусловлено меньшим количеством стадий, более чётким описанием различий между ними, а также включением количественной характеристики: толщины горизонтального линейного сигнала от хряща. Кроме того, необходимо учитывать, что процесс перехода от одной фазы (стадии, подстадии) является непрерывным и включает возрастной интервал, а не конкретный возраст. Подобная градация значительно затрудняет процесс распознавания и различия между подстадиями не всегда возможно идентифицировать. Всё это в совокупности приводит, по мнению авторов, к ошибочным суждениям при установлении возраста человека [10, 57, 71].

Установленные различия в количестве участников исследования, имеющих завершённое синостозирование («зрелое колено»), стадий в зависимости от возраста, несомненно, обусловлены отсутствием единого протокола МРТ и использованием разных классификаций для оценки стадии эпифизарной оссификации. В связи с этим отмечено ограничение прогностической ценности результатов МРТ коленного сустава для судебно-медицинской оценки возраста. Возникает необходимость в реализации дальнейших исследований с использованием единого протокола. J. De Tobel и соавт. [71] также отмечают, что проведение МРТ в рутинной клинической практике в большинстве случаев не подходит для оценки возраста, в том числе в судебно-медицинской экспертизе, несмотря на имеющиеся научные наработки.

Сложности в формировании единого протокола исследования приводят к высокому риску предвзятости в отношении полученных результатов, что ограничивает их практическое использование. Дополнение данных о влиянии социально-экономического статуса субъектов исследования, их физической активности на итоговые оценочные результаты — перспектива на будущее.

Сведения, которые мы смогли извлечь из рассматриваемых статей, позволяют сделать выводы о существенных различиях применённых протоколов исследования, следовательно, объединение и/или сравнение данных имеют ограничение. Кроме того, следует осторожно интерполировать опубликованные результаты в своей клинической практике при проведении МРТ с помощью томографов иных конструкций.

Стоит также отметить, что информация об опыте специалиста, анализирующего изображения МРТ, на наш взгляд, является крайне важной, поскольку наличие специализации в области рентгенологии, а также достаточного практического опыта — обязательное условие для корректной оценки возрастных изменений по данным МРТ коленного сустава и использования этих данных с целью формирования достоверных выводов о возрасте обследуемых. Однако в то же время подобное обстоятельство ограничивает возможность внедрения в экспертную практику методик по установлению возраста, основанных на результатах МРТ.

Согласно законодательству ряда стран проведение рентгенологического исследования при отсутствии медицинских показаний требует юридически обоснованного разрешения. Данное обстоятельство стимулирует научно-исследовательский поиск альтернативных методов визуализации, среди которых и выделяют МРТ [71]. Тем не менее уровень доступного справочного материала для качественной интерпретации её данных намного ниже, чем для рентгенографии. Данный факт формирует ограничения её использования в судебно-медицинской экспертизе с целью оценки возраста. МРТ можно смело отнести к категории достаточно дорогостоящих исследований, для корректной оценки результатов которых необходимы не просто врачи-специалисты соответствующего профиля, но и, имеющие опыт работы именно с данной практической задачей — оценка возрастных изменений. Кроме того, затруднения в определении стадии эпифизарной оссификации, учитывая сложность интерпретации изображений МРТ, полученных в различных последовательностях, предполагают коллегиальное оценочное суждение. Стоит также отметить отсутствие сравнительных исследований в отношении различных классификаций, используемых для определения стадии эпифизарной оссификации.

В дальнейшем привлечение нейронных сетей и компьютерного зрения для автоматизированной системы оценки является актуальным направлением в данной области [35, 53, 54, 73]. Подобный подход позволит решить существующие проблемы судебно-медицинской оценки возраста с использованием изображений МРТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, объём информации в опубликованных и отобранных для систематического обзора исследованиях, её разнородность не позволили провести метаанализ полученных авторами результатов, спрогнозировать риск неправильной классификации целевой возрастной группы. Следовательно, использование результатов МРТ коленного сустава для оценки скелетного возраста на сегодняшний момент невозможно рассматривать в качестве объективной доказательной основы. Опубликованные результаты следует рассматривать как предварительные, требующие проведения дополнительных исследований с использованием единых протоколов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.Д. Золотенков — сбор и анализ литературных данных, подготовка рукописи; Н.В. Серова, Ю.И. Пиголкин — научное редактирование рукописи; Г.В. Золотенкова — концепция исследования, анализ данных; М.П. Полетаева — анализ данных, подготовка иллюстраций.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: D.D. Zolotenkov — collection and analysis of literary data, preparation of the manuscript; N.V. Serova, Yu.I. Pigolkin — scientific editing of the manuscript;

G.V. Zolotenkova — research concept, data analysis; M.P. Poletaeva — data analysis, preparation of illustrations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Data and statistics: global trends; [около 3 страниц]. В: The Office of the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR) [Internet]. Geneva: The Agency, 2001–2024. Режим доступа: <https://unhcr.org/globaltrends> Дата обращения: 16.12.2024.
2. European Asylum Support Office. Practical guide on age assessment, second edition: EASO Practical Guides Series. Malta, 2018. 112 p. doi: [10.2847/23618732](https://doi.org/10.2847/23618732)
3. Nowotny T., Eisenberg W., Mohnike K. Unbegleitete minderjährige Flüchtlinge: Strittiges Alter – strittige Altersdiagnostik // Dtsch Arztebl. 2014. Vol. 111, N 18. P. A786–A788.
4. Глыбочко П.В., Пиголкин Ю.И., Николенко В.Н., и др. Судебно-медицинская диагностика возраста. Москва: Издательство ПМГМУ им. И.М. Сеченова, 2016. EDN: [VNOIML](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0254-2)
5. Schmelting A., Grundmann C., Fuhrmann A., et al. Criteria for age estimation in living individuals // Int J Legal Med. 2008. Vol. 122, N 6. P. 457–460. EDN: [CXUSSD](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0254-2) doi: [10.1007/s00414-008-0254-2](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0254-2)
6. Schmelting A., Dettmeyer R., Rudolf E., et al. Forensic age estimation: methods, certainty, and the law // Deutsches. Arzteblatt International. 2016. Vol. 113, N 4. P. 44–50. doi: [10.3238/arztebl.2016.0044](https://doi.org/10.3238/arztebl.2016.0044)
7. Ritz-Timme S., Kaatsch H.J., Marré B., et al. Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Rentenverfahren // Rechtsmedizin. 2002. Vol. 12, N 4. P. 193–194. EDN: [BDXRJV](https://doi.org/10.1007/s00194-002-0159-1) doi: [10.1007/s00194-002-0159-1](https://doi.org/10.1007/s00194-002-0159-1)
8. Scendoni R., Zolotenkova G.V., Vanin S., et al. Forensic validity of the third molar maturity index (I_{3M}) for age estimation in Russian population // BioMed research international. 2020. Vol. 2020, N 1. P. 1–6. EDN: [PABEZR](https://doi.org/10.1155/2020/6670590) doi: [10.1155/2020/6670590](https://doi.org/10.1155/2020/6670590)
9. Angelakopoulos N., De Luca S., Oliveira-Santos I., et al. Third molar maturity index (I_{3M}) assessment according to different geographical zones: a large multi-ethnic study sample // Int J Legal Med. 2023. Vol. 137, N 2. P. 403–425. EDN: [AJKIRQ](https://doi.org/10.1007/s00414-022-02930-x) doi: [10.1007/s00414-022-02930-x](https://doi.org/10.1007/s00414-022-02930-x)
10. Wittschieber D., Schulz R., Vieth V., et al. Influence of the examiner's qualification and sources of error during stage determination of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography // Int J Legal Med. 2014. Vol. 128, N 1. P. 183–191. EDN: [RIWXGQ](https://doi.org/10.1007/s00414-013-0932-6) doi: [10.1007/s00414-013-0932-6](https://doi.org/10.1007/s00414-013-0932-6)
11. Cameriere R., De Luca S., De Angelis D., et al. Reliability of Schmelting's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects // Int J Legal Med. 2012. Vol. 126, N 6. P. 923–932. EDN: [FJQDTY](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0769-4) doi: [10.1007/s00414-012-0769-4](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0769-4)
12. Lopatin O., Barszcz M., Bolechala F., Wozniak K.J. The fusion of ossification centers – a comparative review of radiographic and other imaging modalities of age assessment in living groups of children, adolescents, and young adults // Legal Medicine (Tokyo). 2013. Vol. 61. P. 102185. EDN: [CDBDCZ](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2022.102185) doi: [10.1016/j.legalmed.2022.102185](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2022.102185)
13. Dharmo B., Kragt L., Grgic O., et al. Ancestry and dental development: a geographic and genetic perspective // Am J Phys Anthropol. 2018. Vol. 165, N 2. P. 299–308. doi: [10.1002/ajpa.23351](https://doi.org/10.1002/ajpa.23351)
14. Cameriere R., Ferrante L., De Angelis D., et al. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18-year-olds in living subjects // Int J Legal Med. 2008. Vol. 122, N 6. P. 493–497. EDN: [WYRTSS](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0279-6) doi: [10.1007/s00414-008-0279-6](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0279-6)
15. Cameriere R., Bestetti F., Velandia Palacio L.A., et al. Carpals and epiphyses of radius and ulna as age indicators using longitudinal data: a Bayesian approach // Int J Legal Med. 2019. Vol. 133, N 1. P. 197–204. EDN: [MMNRJC](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1807-7) doi: [10.1007/s00414-018-1807-7](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1807-7)
16. Quispe Lizarbe R.J., Solís Adrianzén C., Quezada-Márquez M.M., et al. Demirjian's stages and Cameriere's third molar maturity index to estimate legal adult age in Peruvian population // Leg Med (Tokyo). 2017. Vol. 25. P. 59–65. doi: [10.1016/j.legalmed.2017.01.003](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.01.003)
17. Angelakopoulos N., Galić I., Balla S.B., et al. Comparison of the third molar maturity index (I_{3M}) between left and right lower third molars to assess the age of majority: a multi-ethnic study sample // Int J Legal Med. 2020. Vol. 135, N 6. P. 2423–2436. EDN: [WOKKPG](https://doi.org/10.1007/s00414-021-02656-2) doi: [10.1007/s00414-021-02656-2](https://doi.org/10.1007/s00414-021-02656-2)

18. Scharte P., Vieth V., Schulz R., et al. Comparison of imaging planes during CT-based evaluation of clavicular ossification: a multi-center study // *Int J Legal Med.* 2017. Vol. 131, N 5. P. 1391–1397. EDN: [YBAXCI](#) doi: [10.1007/s00414-017-1615-5](https://doi.org/10.1007/s00414-017-1615-5)
19. Tozakidou M., Apine I., Petersen K.U., et al. Comparison of different iterative CT reconstruction techniques and filtered back projection for assessment of the medial clavicular epiphysis in forensic age estimation // *Int J Legal Med.* 2020. Vol. 134, N 1. P. 355–361. doi: [10.1007/s00414-019-02214-x](https://doi.org/10.1007/s00414-019-02214-x)
20. Tozakidou M., Meister R.L., Well L., et al. CT of the medial clavicular epiphysis for forensic age estimation: hands up? // *Int J Legal Med.* 2021. Vol. 135, N 4. P. 1581–1587. EDN: [CBRWZW](#) doi: [10.1007/s00414-021-02516-z](https://doi.org/10.1007/s00414-021-02516-z)
21. Schmeling A. Forensische altersdiagnostik bei lebenden im strafverfahren: dissertation. Berlin: Universitätsmedizin Berlin, 2004.
22. Baumann U., Schulz R., Reisinger W., et al. Reference study on the time frame for ossification of the distal radius and ulnar epiphyses on the hand radiograph // *Forensic Sci Int.* 2009. Vol. 191, N 1–3. P. 15–18. doi: [10.1016/j.forsciint.2009.05.023](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.05.023)
23. Schmidt S., Baumann U., Schulz R., et al. Study of age dependence of epiphyseal ossification of the hand skeleton // *Int J Legal Med.* 2008. Vol. 122, N 1. P. 51–54. EDN: [KCODLI](#) doi: [10.1007/s00414-007-0209-z](https://doi.org/10.1007/s00414-007-0209-z)
24. Hisham S., Flavel A., Abdullah N., et al. Quantification of sphenoccipital synchondrosis fusion in a contemporary Malaysian population // *Forensic Sci Int.* 2018. Vol. 284. P. 78–84. doi: [10.1016/j.forsciint.2017.12.046](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.12.046)
25. Demirturk Kocasarac H., Sinanoglu A., Noujeim M., et al. Radiologic assessment of third molar tooth and spheno-occipital synchondrosis for age estimation: a multiple regression analysis study // *Int J Legal Med.* 2016. Vol. 130, N 3. P. 799–808. EDN: [LCNODR](#) doi: [10.1007/s00414-015-1298-8](https://doi.org/10.1007/s00414-015-1298-8)
26. Sinanoglu A., Kocasarac H.D., Noujeim M. Age estimation by an analysis of spheno-occipital synchondrosis using cone-beam computed tomography // *Leg Med (Tokyo).* 2016. Vol. 18. P. 13–19. doi: [10.1016/j.legalmed.2015.11.004](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.11.004)
27. Soliman K.E.A., Al Shehri F., AlThaqafi O.J. Age estimation of epiphyseal union around wrist joint and its correlation with chronological age: A radiological study in Qassim population, Saudi Arabia // *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2022. Vol. 55, N 1. P. 605–620. EDN: [IFHEAU](#) doi: [10.1080/00450618.2022.2043437](https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2043437)
28. Sobh Z.K., Mohamed A.S. A Computed Tomographic Analysis of Spheno-Occipital Synchondrosis Ossification for Age Estimation in a Sample of Egyptians // *Am J Forensic Med Pathol.* 2021. Vol. 42, N 3. P. 235–242. EDN: [UTNJLD](#) doi: [10.1097/PAF.0000000000000645](https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000645)
29. Candan B., Akın S.D., Dilek E.G., Didem K. Analysis of fusion of sphenoccipital synchondrosis using computed tomography in Turkish population // *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2022. Vol. 54, N 6. P. 65–74. doi: [10.1080/00450618.2022.2123112](https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2123112)
30. Bayrak S., Göller Bulut D. Relationship between condyle cortication, sphenoccipital synchondrosis, and chronological age // *Oral Radiol.* 2020. Vol. 36, N 2. P. 190–196. EDN: [BHEEXY](#) doi: [10.1007/s11282-019-00398-x](https://doi.org/10.1007/s11282-019-00398-x)
31. Fan F., Dong X., Wu X., et al. An evaluation of statistical models for age estimation and the assessment of the 18-year threshold using conventional pelvic radiographs // *Forensic Sci Int.* 2020. Vol. 314. P. 110350. EDN: [BBEAVX](#) doi: [10.1016/j.forsciint.2020.110350](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110350)
32. Ekizoglu O., Inci E., Erdil I., et al. Computed tomography evaluation of the iliac crest apophysis: age estimation in living individuals // *Int J Legal Med.* 2016. Vol. 130, N 4. P. 1101–1107. EDN: [SIXHOO](#) doi: [10.1007/s00414-016-1345-0](https://doi.org/10.1007/s00414-016-1345-0)
33. Tang X., Lu Y., Pang M., et al. An abbreviated scale for the assessment of skeletal bone age using radiographs of the knee // *Orthopedics.* 2018. Vol. 41, N 5. P. e676–e680. doi: [10.3928/01477447-20180724-03](https://doi.org/10.3928/01477447-20180724-03)
34. Welson N.N., Abd El Basset A.S. Age and sex estimation by knee roentgenographic assessment: An Egyptian population study // *Journal of Forensic Radiology and Imaging.* 2019. Vol. 18. P. 4–10. doi: [10.1016/j.jofri.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2019.07.002)
35. Pröve P.L., Jopp-van Well E., Stanczus B., et al. Automated segmentation of the knee for age assessment in 3D MR images using convolutional neural networks // *Int J Legal Med.* 2019. Vol. 133, N 4. P. 1191–1205. EDN: [PXCYFD](#) doi: [10.1007/s00414-018-1953-y](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1953-y)
36. Ottow C., Schulz R., Pfeiffer H., et al. Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee: the definite relevance in bony fusion of the distal femoral- and the proximal tibial epiphyses using closest-to-bone T1 TSE sequence // *Eur Radiol.* 2017. Vol. 27, N 12. P. 5041–5048. EDN: [CZSWJZ](#) doi: [10.1007/s00330-017-4880-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-4880-2)

37. O'Connor J.E., Coyle J., Bogue C., et al. Age prediction formulae from radiographic assessment of skeletal maturation at the knee in an Irish population // *Forensic Sci Int*. 2014. Vol. 234. P. 188.e1–188.e8. doi: [10.1016/j.foresciint.2013.10.032](https://doi.org/10.1016/j.foresciint.2013.10.032)
38. O'Connor J.E., Bogue C., Spence L.D., Last J. A method to establish the relationship between chronological age and stage of union from radiographic assessment of epiphyseal fusion at the knee: an Irish population study // *J Anatomy*. 2008. Vol. 212, N 2. P. 198–209. doi: [10.1111/j.1469-7580.2007.00847.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00847.x)
39. O'Connor J.E., Coyle J., Spence L.D., Last J. Epiphyseal maturity indicators at the knee and their relationship to chronological age: results of an Irish population study // *Clin Anat*. 2013. Vol. 26, N 6. P. 755–767. doi: [10.1002/ca.22122](https://doi.org/10.1002/ca.22122)
40. Mauer M.A., Well E.J., Herrmann J., et al. Automated age estimation of young individuals based on 3D knee MRI using deep learning // *Int J Legal Med*. 2021. Vol. 135, N 2. P. 649–663. EDN: [XWYSLD](#) doi: [10.1007/s00414-020-02465-z](https://doi.org/10.1007/s00414-020-02465-z)
41. Maggio A. The skeletal age estimation potential of the knee: current scholarship and future directions for research // *Journal of Forensic Radiology and Imaging*. 2017. Vol. 9. P. 13–15. doi: [10.1016/j.jofri.2017.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2017.05.002)
42. Kvist O.F., Dallora A.L., Nilsson O., et al. Comparison of reliability of magnetic resonance imaging using cartilage and T1-weighted sequences in the assessment of the closure of the growth plates at the knee // *Acta Radiologica Open*. 2020. Vol. 9, N 9. P. 205846012096273. doi: [10.1177/2058460120962732](https://doi.org/10.1177/2058460120962732)
43. Krämer J.A., Schmidt S., Jürgens K.U., et al. The use of magnetic resonance imaging to examine ossification of the proximal tibial epiphysis for forensic age estimation in living individuals // *Forensic Sci Med Pathol*. 2014. Vol. 10, N 3. P. 306–313. EDN: [MNZHSJ](#) doi: [10.1007/s12024-014-9559-2](https://doi.org/10.1007/s12024-014-9559-2)
44. Herrmann J., Säring D., Auf der Mauer M., et al. Forensic age assessment of the knee: proposal of a new classification system using two-dimensional ultrasound volumes and comparison to MRI // *Eur Radiol*. 2021. Vol. 31, N 5. P. 3237–3247. EDN: [SMLIFB](#) doi: [10.1007/s00330-020-07343-1](https://doi.org/10.1007/s00330-020-07343-1)
45. Hackman L., Black S. Age estimation from radiographic images of the knee // *J Forensic Sci*. 2013. Vol. 58, N 3. P. 732–737. doi: [10.1111/1556-4029.12077](https://doi.org/10.1111/1556-4029.12077)
46. Gurses M.S., Altinsoy H.B. Evaluation of distal femoral epiphysis and proximal tibial epiphysis ossification using the Vieth method in living individuals: applicability in the estimation of forensic age // *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2020. Vol. 53, N 4. P. 431–447. doi: [10.1080/00450618.2020.1743357](https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1743357)
47. Galić I., Mihanović F., Giuliadori A., et al. Accuracy of scoring of the epiphyses at the knee joint (SKJ) for assessing legal adult age of 18 years // *Int J Legal Med*. 2016. Vol. 130, N 4. P. 1129–1142. EDN: [ILSUNB](#) doi: [10.1007/s00414-016-1348-x](https://doi.org/10.1007/s00414-016-1348-x)
48. Fan F., Zhang K., Peng Z., et al. Forensic age estimation of living persons from the knee: comparison of MRI with radiographs // *Forensic Science International*. 2016. Vol. 268. P. 145–150. doi: [10.1016/j.foresciint.2016.10.002](https://doi.org/10.1016/j.foresciint.2016.10.002)
49. Faisant M., Rerolle C., Faber C., et al. Is the persistence of an epiphyseal scar of the knee a reliable marker of biological age? // *Int J Legal Med*. 2015. Vol. 129, N 3. P. 603–608. doi: [10.1007/s00414-014-1130-x](https://doi.org/10.1007/s00414-014-1130-x)
50. El-Din E.A.A., Mostafa H.E.S., Tantawy E.F., El-Shafei D.A. Magnetic resonance imaging of the proximal tibial epiphysis: could it be helpful in forensic age estimation? // *Forensic Sci Med Pathol*. 2019. Vol. 15, N 3. P. 352–361. EDN: [YMZWYF](#) doi: [10.1007/s12024-019-00116-3](https://doi.org/10.1007/s12024-019-00116-3)
51. Ekizoglu O., Er A., Bozdogan M., et al. Forensic age estimation via magnetic resonance imaging of knee in the Turkish population: use of T1-TSE sequence // *Int J Legal Med*. 2020. Vol. 135, N 6. P. 1–7. EDN: [DURUZB](#) doi: [10.1007/s00414-020-02402-0](https://doi.org/10.1007/s00414-020-02402-0)
52. Dedouit F., Aurio J., Rousseau H., et al. Age assessment by magnetic resonance imaging of the knee: a preliminary study // *Forensic Science International*. 2012. Vol. 217, N 1-3. P. 232.e1–232.e7. doi: [10.1016/j.foresciint.2011.11.013](https://doi.org/10.1016/j.foresciint.2011.11.013)
53. Dallora A.L., Berglund J.S., Brogren M. et al. Age assessment of youth and young adults using magnetic resonance imaging of the knee: a deep learning approach // *JMIR Med Inform*. 2019. Vol. 7, N 4. P. e16291. doi: [10.2196/16291](https://doi.org/10.2196/16291)
54. Dallora A.L., Anderberg P., Kvist O., et al. Bone age assessment with various machine learning techniques: a systematic literature review and meta-analysis // *PLoS One*. 2019. Vol. 14, N 7. P. e0220242. doi: [10.1371/journal.pone.0220242](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220242)

55. Daghighi M.H., Pourisa M., Javanpour-Heravi H., et al. Application of knee MRI in forensic age estimation: a retrospective cohort // Radiography (Lond). 2021. Vol. 27, N 1. P. 108–114. EDN: [KZPOHH](#) doi: [10.1016/j.radi.2020.06.019](https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.06.019)
56. Chowdhuri S., Das S., Ghosh R. Estimation of Forensic Age from Bony Fusion of Distal Femoral and Proximal Tibial Epiphyses by MRI of the Knee // Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics. 2020. Vol. 9. N 2. P. 185–194. EDN: [UOJWYL](#) doi: [10.17063/bjfs9\(2\)y2020185](https://doi.org/10.17063/bjfs9(2)y2020185)
57. Cameriere R., Cingolani M., Giuliadori A., et al. Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age // Int J Legal Med. 2012. Vol. 126, N 6. P. 889–899. EDN: [LGHBBQ](#) doi: [10.1007/s00414-012-0754-y](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0754-y)
58. Boeyer M.E., Ousley S.D. Skeletal assessment and secular changes in knee development: a radiographic approach // Am J Phys Anthropol. 2017. Vol. 162, N 2. P. 229–240. doi: [10.1002/ajpa.23110](https://doi.org/10.1002/ajpa.23110)
59. Mauer M., Säring D., Stancus B., et al. A 2-year follow-up MRI study for the evaluation of an age estimation method based on knee bone development // Int J Legal Med. 2019. Vol. 133, N 1. P. 205–215. EDN: [PKZYYS](#) doi: [10.1007/s00414-018-1826-4](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1826-4)
60. Altinsoy H.B., Alatas O., Gurses M.S., Turkmen Inanir N. Forensic age estimation in living individuals by 1.5T magnetic resonance imaging of the knee: a retrospective MRI study // Australian Journal of Forensic Sciences. 2020. Vol. 52, N 4. P. 439–453. doi: [10.1080/00450618.2018.1545868](https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1545868)
61. Alatas O., Altinsoy H.B., Gurses M.S., Balci A. Evaluation of knee ossification on 1.5 T magnetic resonance images using the method of Vieth et al.: a retrospective magnetic resonance imaging study // Rechtsmedizin. 2021. Vol. 31, N 1. P. 50–58. EDN: [LGFDPQ](#) doi: [10.1007/s00194-020-00432-x](https://doi.org/10.1007/s00194-020-00432-x)
62. Uygun B., Kaya K., Köse S., et al. Applicability of magnetic resonance imaging of the knee in forensic age estimation // Am J Forensic Med Pathol. 2021. Vol. 42, N 2. P. 147–154. doi: [10.1097/PAF.0000000000000634](https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000634)
63. Vieth V., Schulz R., Heindel W. et al. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages // Eur Radiol. 2018. Vol. 28, N 8. P. 3255–3262. EDN: [DGCWBR](#) doi: [10.1007/s00330-017-5281-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-5281-2)
64. Ekizoglu O., Hocaoglu E., Inci E., et al. Forensic age estimation via 3-T magnetic resonance imaging of ossification of the proximal tibial and distal femoral epiphyses: use of a T2-weighted fast spin-echo technique // Forensic Science International. 2016. Vol. 260. P. 102.e1–102.e7. doi: [10.1016/j.forciint.2015.12.006](https://doi.org/10.1016/j.forciint.2015.12.006)
65. Dogaroiu C., Avramoiu M. Correlation between chronological age and the stage of union of the distal femur and proximal tibia epiphyses in a Romanian sample population // Rom J Leg Med. 2015. Vol. 23. P. 171–176. doi: [10.4323/rjlm.2015.171](https://doi.org/10.4323/rjlm.2015.171)
66. Aly S.M., Shrestha B., Hong D.J., et al. Identification of age and sex based on knee radiography // Forensic Science International. 2016. Vol. 267. P. 231.e1–231.e7. doi: [10.1016/j.forciint.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.forciint.2016.08.001)
67. Margalit A., Cottrill E., Nhan D., et al. The spatial order of physal maturation in the normal human knee using magnetic resonance imaging // J Pediatr Orthop. 2019. Vol. 39, N 4. P. e318–e322. doi: [10.1097/BPO.0000000000001298](https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001298)
68. Krämer J.A., Schmidt S., Jürgens K.U., et al. Forensic age estimation in living individuals using 3.0 T MRI of the distal femur // Int J Legal Med. 2014. Vol. 128, N 3. P. 509–514. EDN: [FCBINE](#) doi: [10.1007/s00414-014-0967-3](https://doi.org/10.1007/s00414-014-0967-3)
69. Kellinghaus M., Schulz R., Vieth V., et al. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans // Int J Legal Med. 2010. Vol. 124, N 4. P. 321–325. EDN: [DHXACE](#) doi: [10.1007/s00414-010-0448-2](https://doi.org/10.1007/s00414-010-0448-2)
70. Schmeling A., Schulz R., Reisinger W., et al. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography // Int J Legal Med. 2004. Vol. 118, N 1. P. 5–8. doi: [10.1007/s00414-003-0404-5](https://doi.org/10.1007/s00414-003-0404-5)
71. De Tobel J., Bauwens J., Parmentier G.I.L., et al. Magnetic resonance imaging for forensic age estimation in living children and young adults: a systematic review // Pediatr Radiol. 2020. Vol. 50, N 12. P. 1691–1708. EDN: [LQFRDT](#) doi: [10.1007/s00247-020-04709-x](https://doi.org/10.1007/s00247-020-04709-x)
72. Boldsen J.L., Milner G.R., Konigsberg L.W., Wood J.W. Transition analysis: a new method for estimating age from skeletons. B: Hoppa R.D., Vaupel J.W., (eds). Paleodemography: age distributions from skeletal samples. Cambridge University Press: Cambridge, 2002. P. 73–106.

73. Золотенкова Г.В., Рогачев А.И., Пиголкин Ю.И., и др. Классификация возраста в судебной медицине с использованием методов машинного обучения // Современные технологии в медицине. 2022. Т. 14, № 1. С. 15–24. EDN: [WRMKYT](#) doi: [10.17691/stm2022.14.1.02](https://doi.org/10.17691/stm2022.14.1.02)

REFERENCES

1. Data and statistics: global trends; [about 3 screens]. In: *The Office of the United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR)* [Internet]. Geneva: The Agency; 2001–2024 [cited 2024 Dec 16]. Available from: <https://unhcr.org/globaltrends>
2. European Asylum Support Office. *Practical guide on age assessment, second edition: EASO Practical Guides Series*. Malta, 2018. 112 p. doi: 10.2847/23618732
3. Nowotny T, Eisenberg W, Mohnike K. Unbegleitete minderjährige Flüchtlinge: Strittiges Alter – strittige Altersdiagnostik. *Dtsch Arztebl*. 2014;111(18):A786–A788.
4. Glybochko PV, Pigolkin YuI, Nikolenko VN, et al. *Sudebno-meditsinskaya diagnostika vozrasta*. Moscow: Izdatel'stvo PMGMU im. I.M. Sechenova, 2016. (In Russ.) EDN: [VNOJML](#)
5. Schmelting A, Grundmann C, Fuhrmann A, et al. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med*. 2008;122(6):457–460. EDN: [CXUSSD](#) doi: [10.1007/s00414-008-0254-2](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0254-2)
6. Schmelting A, Dettmeyer R, Rudolf E, et al. Forensic age estimation: methods, certainty, and the law. *Deutsches. Arzteblatt International*. 2016;113(4):44–50. doi: [10.3238/arztebl.2016.0044](https://doi.org/10.3238/arztebl.2016.0044)
7. Ritz-Timme S, Kaatsch HJ, Marré B, et al. Empfehlungen für die Altersdiagnostik bei Lebenden im Rentenverfahren. *Rechtsmedizin*. 2002;12(4):193–194. EDN: [BDXRVJ](#) doi: [10.1007/s00194-002-0159-1](https://doi.org/10.1007/s00194-002-0159-1)
8. Scendoni R, Zolotenkova GV, Vanin S, et al. Forensic validity of the third molar maturity index (I_{3M}) for age estimation in Russian population. *BioMed research international*. 2020;2020(1):1–6. EDN: [PABEZR](#) doi: [10.1155/2020/6670590](https://doi.org/10.1155/2020/6670590)
9. Angelakopoulos N, De Luca S, Oliveira-Santos I, et al. Third molar maturity index (I_{3M}) assessment according to different geographical zones: a large multi-ethnic study sample. *Int J Legal Med*. 2023;137(2):403–425. EDN: [AIKIRQ](#) doi: [10.1007/s00414-022-02930-x](https://doi.org/10.1007/s00414-022-02930-x)
10. Wittschieber D, Schulz R, Vieth V, et al. Influence of the examiner's qualification and sources of error during stage determination of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography. *Int J Legal Med*. 2014;128(1):183–191. EDN: [RIWXGQ](#) doi: [10.1007/s00414-013-0932-6](https://doi.org/10.1007/s00414-013-0932-6)
11. Cameriere R, De Luca S, De Angelis D, et al. Reliability of Schmelting's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects. *Int J Legal Med*. 2012;126(6):923–932. EDN: [FJQDYY](#) doi: [10.1007/s00414-012-0769-4](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0769-4)
12. Lopatin O, Barszcz M, Bolechala F, Wozniak KJ. The fusion of ossification centers – a comparative review of radiographic and other imaging modalities of age assessment in living groups of children, adolescents, and young adults. *Legal Medicine (Tokyo)*. 2013;61:102185. EDN: [CDBDCZ](#) doi: [10.1016/j.legalmed.2022.102185](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2022.102185)
13. Dharmo B, Kragt L, Grgic O, et al. Ancestry and dental development: a geographic and genetic perspective. *Am J Phys Anthropol*. 2018;165(2):299–308. doi: 10.1002/ajpa.23351
14. Cameriere R, Ferrante L, De Angelis D, et al. The comparison between measurement of open apices of third molars and Demirjian stages to test chronological age of over 18-year-olds in living subjects. *Int J Legal Med*. 2008;122(6):493–497. EDN: [WYRTSS](#) doi: [10.1007/s00414-008-0279-6](https://doi.org/10.1007/s00414-008-0279-6)
15. Cameriere R, Bestetti F, Velandia Palacio LA, et al. Carpals and epiphyses of radius and ulna as age indicators using longitudinal data: a Bayesian approach. *Int J Legal Med*. 2019;133(1):197–204. EDN: [MMNRJC](#) doi: [10.1007/s00414-018-1807-7](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1807-7)
16. Quispe Lizarbe RJ, Solís Adrianzén C, Quezada-Márquez MM, et al. Demirjian's stages and Cameriere's third molar maturity index to estimate legal adult age in Peruvian population. *Leg Med (Tokyo)*. 2017;25:59–65. doi: 10.1016/j.legalmed.2017.01.003
17. Angelakopoulos N, Galić I, Balla SB, et al. Comparison of the third molar maturity index (I_{3M}) between left and right lower third molars to assess the age of majority: a multi-ethnic study sample. *Int J Legal Med*. 2020;135(6):2423–2436. EDN: [WOKKPG](#) doi: [10.1007/s00414-021-02656-2](https://doi.org/10.1007/s00414-021-02656-2)

18. Scharte P, Vieth V, Schulz R, et.al. Comparison of imaging planes during CT-based evaluation of clavicular ossification: a multi-center study. *Int J Legal Med.* 2017;131(5):1391–1397. EDN: [YBAXCI](#) doi: [10.1007/s00414-017-1615-5](https://doi.org/10.1007/s00414-017-1615-5)
19. Tozakidou M, Apine I, Petersen KU, et.al. Comparison of different iterative CT reconstruction techniques and filtered back projection for assessment of the medial clavicular epiphysis in forensic age estimation. *Int J Legal Med.* 2020;134(1):355–361. doi: [10.1007/s00414-019-02214-x](https://doi.org/10.1007/s00414-019-02214-x)
20. Tozakidou M, Meister RL, Well L, et.al. CT of the medial clavicular epiphysis for forensic age estimation: hands up? *Int J Legal Med.* 2021;135(4):1581–1587. EDN: [CBRWZW](#) doi: [10.1007/s00414-021-02516-z](https://doi.org/10.1007/s00414-021-02516-z)
21. Schmeling A. *Forensic age diagnostics of living persons in criminal proceedings* [dissertation]. Berlin: Universitätsmedizin Berlin; 2004.
22. Baumann U, Schulz R, Reisinger W, et al. Reference study on the time frame for ossification of the distal radius and ulnar epiphyses on the hand radiograph. *Forensic Sci Int.* 2009;191(1–3):15–18. doi: [10.1016/j.forsciint.2009.05.023](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.05.023)
23. Schmidt S, Baumann U, Schulz R, et al. Study of age dependence of epiphyseal ossification of the hand skeleton. *Int J Legal Med.* 2008;122(1):51–54. EDN: [KCODLI](#) doi: [10.1007/s00414-007-0209-z](https://doi.org/10.1007/s00414-007-0209-z)
24. Hisham S, Flavel A, Abdullah N, et al. Quantification of sphenooccipital synchondrosis fusion in a contemporary Malaysian population. *Forensic Sci Int.* 2018;284:78–84. doi: [10.1016/j.forsciint.2017.12.046](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.12.046)
25. Demirturk Kocasarac H, Sinanoglu A, Noujeim M, et al. Radiologic assessment of third molar tooth and spheno-occipital synchondrosis for age estimation: a multiple regression analysis study. *Int J Legal Med.* 2016;130(3):799–808. EDN: [LCNODR](#) doi: [10.1007/s00414-015-1298-8](https://doi.org/10.1007/s00414-015-1298-8)
26. Sinanoglu A, Kocasarac HD, Noujeim M. Age estimation by an analysis of spheno-occipital synchondrosis using cone-beam computed tomography. *Leg Med (Tokyo).* 2016;18:13–19. doi: [10.1016/j.legalmed.2015.11.004](https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.11.004)
27. Soliman KEA, Al Shehri F, AlThaqufi OJ. Age estimation of epiphyseal union around wrist joint and its correlation with chronological age: a radiological study in Qassim population, Saudi Arabia. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2022;55(1):605–620. EDN: [IFHEAU](#) doi: [10.1080/00450618.2022.2043437](https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2043437)
28. Sobh ZK, Mohamed AS. A computed tomographic analysis of spheno-occipital synchondrosis ossification for age estimation in a sample of Egyptians. *Am J Forensic Med Pathol.* 2021;42(3):235–242. EDN: [UTNLED](#) doi: [10.1097/PAF.0000000000000645](https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000645)
29. Candan B, Akin SD, Dilek EG, Didem K. Analysis of fusion of sphenooccipital synchondrosis using computed tomography in Turkish population. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2022;54(6):65–74. doi: [10.1080/00450618.2022.2123112](https://doi.org/10.1080/00450618.2022.2123112)
30. Bayrak S, Göller Bulut D. Relationship between condyle cortication, sphenooccipital synchondrosis, and chronological age. *Oral Radiol.* 2020;36(2):190–196. EDN: [BHEEXY](#) doi: [10.1007/s11282-019-00398-x](https://doi.org/10.1007/s11282-019-00398-x)
31. Fan F, Dong X, Wu X, et al. An evaluation of statistical models for age estimation and the assessment of the 18-year threshold using conventional pelvic radiographs. *Forensic Sci Int.* 2020;314:110350. EDN: [BBEAVX](#) doi: [10.1016/j.forsciint.2020.110350](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110350)
32. Ekizoglu O, Inci E, Erdil I, et al. Computed tomography evaluation of the iliac crest apophysis: age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2016;130(4):1101–1107. EDN: [SIXHOQ](#) doi: [10.1007/s00414-016-1345-0](https://doi.org/10.1007/s00414-016-1345-0)
33. Tang X, Lu Y, Pang M, et al. An abbreviated scale for the assessment of skeletal bone age using radiographs of the knee. *Orthopedics.* 2018;41(5):e676–e680. doi: [10.3928/01477447-20180724-03](https://doi.org/10.3928/01477447-20180724-03)
34. Welson NN, Abd El Basset AS. Age and sex estimation by knee roentgenographic assessment: An Egyptian population study. *Journal of Forensic Radiology and Imaging.* 2019;18:4–10. doi: [10.1016/j.jofri.2019.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2019.07.002)
35. Pröve PL, Jopp-van Well E, Stanczus B, et al. Automated segmentation of the knee for age assessment in 3D MR images using convolutional neural networks. *Int J Legal Med.* 2019;133(4):1191–1205. EDN: [PXCYFD](#) doi: [10.1007/s00414-018-1953-y](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1953-y)

36. Ottow C, Schulz R, Pfeiffer H, et al. Forensic age estimation by magnetic resonance imaging of the knee: the definite relevance in bony fusion of the distal femoral- and the proximal tibial epiphyses using closest-to-bone T1 TSE sequence. *Eur Radiol.* 2017;27(12):5041–5048. EDN: [CZSWJZ](#) doi: [10.1007/s00330-017-4880-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-4880-2)
37. O'Connor JE, Coyle J, Bogue C, et al. Age prediction formulae from radiographic assessment of skeletal maturation at the knee in an Irish population. *Forensic Sci Int.* 2014;234:188.e1–188.e8. doi: [10.1016/j.forsciint.2013.10.032](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.032)
38. O'Connor JE, Bogue C, Spence LD, Last J. A method to establish the relationship between chronological age and stage of union from radiographic assessment of epiphyseal fusion at the knee: an Irish population study. *J Anatomy.* 2008;212(2):198–209. doi: [10.1111/j.1469-7580.2007.00847.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2007.00847.x)
39. O'Connor JE, Coyle J, Spence LD, Last J. Epiphyseal maturity indicators at the knee and their relationship to chronological age: results of an Irish population study. *Clin Anat.* 2013;26(6):755–767. doi: [10.1002/ca.22122](https://doi.org/10.1002/ca.22122)
40. Mauer MA, Well EJ, Herrmann J, et al. Automated age estimation of young individuals based on 3D knee MRI using deep learning. *Int J Legal Med.* 2021;135(2):649–663. EDN: [XWYSLD](#) doi: [10.1007/s00414-020-02465-z](https://doi.org/10.1007/s00414-020-02465-z)
41. Maggio A. The skeletal age estimation potential of the knee: current scholarship and future directions for research. *Journal of Forensic Radiology and Imaging.* 2017;9:13–15. doi: [10.1016/j.jofri.2017.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jofri.2017.05.002)
42. Kvist OF, Dallora AL, Nilsson O, et al. Comparison of reliability of magnetic resonance imaging using cartilage and T1-weighted sequences in the assessment of the closure of the growth plates at the knee. *Acta Radiologica Open.* 2020;9(9):205846012096273. doi: [10.1177/2058460120962732](https://doi.org/10.1177/2058460120962732)
43. Krämer JA, Schmidt S, Jürgens KU, et al. The use of magnetic resonance imaging to examine ossification of the proximal tibial epiphysis for forensic age estimation in living individuals. *Forensic Sci Med Pathol.* 2014;10(3):306–313. EDN: [MNZHSJ](#) doi: [10.1007/s12024-014-9559-2](https://doi.org/10.1007/s12024-014-9559-2)
44. Herrmann J, Säring D, Auf der Mauer M, et al. Forensic age assessment of the knee: proposal of a new classification system using two-dimensional ultrasound volumes and comparison to MRI. *Eur Radiol.* 2021;31(5):3237–3247. EDN: [SMLIPB](#) doi: [10.1007/s00330-020-07343-1](https://doi.org/10.1007/s00330-020-07343-1)
45. Hackman L, Black S. Age estimation from radiographic images of the knee. *J Forensic Sci.* 2013;58(3):732–737. doi: [10.1111/1556-4029.12077](https://doi.org/10.1111/1556-4029.12077)
46. Gurses MS., Altinsoy HB. Evaluation of distal femoral epiphysis and proximal tibial epiphysis ossification using the Vieth method in living individuals: applicability in the estimation of forensic age. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2020;53(4):431–447. doi: [10.1080/00450618.2020.1743357](https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1743357)
47. Galić I, Mihanović F, Giuliadori A, et al. Accuracy of scoring of the epiphyses at the knee joint (SKJ) for assessing legal adult age of 18 years. *Int J Legal Med.* 2016;130(4):1129–1142. EDN: [ILSUNB](#) doi: [10.1007/s00414-016-1348-x](https://doi.org/10.1007/s00414-016-1348-x)
48. Fan F, Zhang K, Peng Z, et al. Forensic age estimation of living persons from the knee: comparison of MRI with radiographs. *Forensic Science International.* 2016;268:145–150. doi: [10.1016/j.forsciint.2016.10.002](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.10.002)
49. Faisant M, Rerolle C, Faber C, et al. Is the persistence of an epiphyseal scar of the knee a reliable marker of biological age? *Int J Legal Med.* 2015;129(3):603–608. doi: [10.1007/s00414-014-1130-x](https://doi.org/10.1007/s00414-014-1130-x)
50. El-Din EAA, Mostafa HES, Tantawy EF, El-Shafei DA. Magnetic resonance imaging of the proximal tibial epiphysis: could it be helpful in forensic age estimation? *Forensic Sci Med Pathol.* 2019;15(3):352–361. EDN: [YMZWYF](#) doi: [10.1007/s12024-019-00116-3](https://doi.org/10.1007/s12024-019-00116-3)
51. Ekizoglu O, Er A, Bozdog M, et al. Forensic age estimation via magnetic resonance imaging of knee in the Turkish population: use of T1-TSE sequence. *Int J Legal Med.* 2020;135(6):1–7. EDN: [DURUZB](#) doi: [10.1007/s00414-020-02402-0](https://doi.org/10.1007/s00414-020-02402-0)
52. Dedouit F, Auriol J, Rousseau H, et al. Age assessment by magnetic resonance imaging of the knee: a preliminary study. *Forensic Science International.* 2012;217(1-3):232.e1–232.e7. doi: [10.1016/j.forsciint.2011.11.013](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.11.013)

53. Dallora AL, Berglund JS, Brogren M. et al. Age assessment of youth and young adults using magnetic resonance imaging of the knee: a deep learning approach. *JMIR Med Inform.* 2019;7(4):e16291. doi: [10.2196/16291](https://doi.org/10.2196/16291)
54. Dallora AL, Anderberg P, Kvist O, et al. Bone age assessment with various machine learning techniques: a systematic literature review and meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(7):e0220242. doi: [10.1371/journal.pone.0220242](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220242)
55. Daghighi MH, Pourisa M, Javanpour-Heravi H, et al. Application of knee MRI in forensic age estimation: a retrospective cohort. *Radiography (Lond).* 2021;27(1):108–114. EDN: [KZPOHH](https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.06.019) doi: [10.1016/j.radi.2020.06.019](https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.06.019)
56. Chowdhuri S, Das S, Ghosh R. Estimation of Forensic Age from Bony Fusion of Distal Femoral and Proximal Tibial Epiphyses by MRI of the Knee. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics.* 2020;9(2):185–194. EDN: [UOJWYL](https://doi.org/10.17063/bjfs9(2)y2020185) doi: [10.17063/bjfs9\(2\)y2020185](https://doi.org/10.17063/bjfs9(2)y2020185)
57. Cameriere R, Cingolani M, Giuliadori A, et al. Radiographic analysis of epiphyseal fusion at knee joint to assess likelihood of having attained 18 years of age. *Int J Legal Med.* 2012;126(6):889–899. EDN: [LGHBBQ](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0754-y) doi: [10.1007/s00414-012-0754-y](https://doi.org/10.1007/s00414-012-0754-y)
58. Boeyer ME, Ousley SD. Skeletal assessment and secular changes in knee development: a radiographic approach. *Am J Phys Anthropol.* 2017;162(2):229–240. doi: [10.1002/ajpa.23110](https://doi.org/10.1002/ajpa.23110)
59. Mauer M, Säring D, Stanczus B, et al. A 2-year follow-up MRI study for the evaluation of an age estimation method based on knee bone development. *Int J Legal Med.* 2019;133(1):205–215. EDN: [PKZYYS](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1826-4) doi: [10.1007/s00414-018-1826-4](https://doi.org/10.1007/s00414-018-1826-4)
60. Altinsoy HB, Alatas O, Gurses MS, Turkmen Inanir N. Forensic age estimation in living individuals by 1.5T magnetic resonance imaging of the knee: a retrospective MRI study. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2020;52(4):439–453. doi: [10.1080/00450618.2018.1545868](https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1545868)
61. Alatas O, Altinsoy HB, Gurses MS, Balci A. Evaluation of knee ossification on 1.5 T magnetic resonance images using the method of Vieth et al.: a retrospective magnetic resonance imaging study. *Rechtsmedizin.* 2021;31(1):50–58. EDN: [LGFDPQ](https://doi.org/10.1007/s00194-020-00432-x) doi: [10.1007/s00194-020-00432-x](https://doi.org/10.1007/s00194-020-00432-x)
62. Uygun B, Kaya K, Köse S, et al. Applicability of magnetic resonance imaging of the knee in forensic age estimation. *Am J Forensic Med Pathol.* 2021;42(2):147–154. doi: [10.1097/PAF.0000000000000634](https://doi.org/10.1097/PAF.0000000000000634)
63. Vieth V, Schulz R, Heindel W. et al. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages. *Eur Radiol.* 2018;28(8):3255–3262. EDN: [DGCWBR](https://doi.org/10.1007/s00330-017-5281-2) doi: [10.1007/s00330-017-5281-2](https://doi.org/10.1007/s00330-017-5281-2)
64. Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, et al. Forensic age estimation via 3-T magnetic resonance imaging of ossification of the proximal tibial and distal femoral epiphyses: use of a T2-weighted fast spin-echo technique. *Forensic Science International.* 2016;260:102.e1–102.e7. doi: [10.1016/j.forsciint.2015.12.006](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.006)
65. Dogaroiu C, Avramoiu M. Correlation between chronological age and the stage of union of the distal femur and proximal tibia epiphyses in a Romanian sample population. *Rom J Leg Med.* 2015;23:171–176. doi: [10.4323/rjlm.2015.171](https://doi.org/10.4323/rjlm.2015.171)
66. Aly SM, Shrestha B, Hong DJ, et al. Identification of age and sex based on knee radiography. *Forensic Science International.* 2016;267:231.e1–231.e7. doi: [10.1016/j.forsciint.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.08.001)
67. Margalit A, Cottrill E, Nhan D, et al. The spatial order of physeal maturation in the normal human knee using magnetic resonance imaging. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(4):e318–e322. doi: [10.1097/BPO.0000000000001298](https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000001298)
68. Krämer JA, Schmidt S, Jürgens KU, et al. Forensic age estimation in living individuals using 3.0 T MRI of the distal femur. *Int J Legal Med.* 2014;128(3):509–514. EDN: [FCBINB](https://doi.org/10.1007/s00414-014-0967-3) doi: [10.1007/s00414-014-0967-3](https://doi.org/10.1007/s00414-014-0967-3)
69. Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, et al. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. *Int J Legal Med.* 2010;124(4):321–325. EDN: [DHXACF](https://doi.org/10.1007/s00414-010-0448-2) doi: [10.1007/s00414-010-0448-2](https://doi.org/10.1007/s00414-010-0448-2)
70. Schmeling A, Schulz R, Reisinger W, et al. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med.* 2004;118(1):5–8. doi: [10.1007/s00414-003-0404-5](https://doi.org/10.1007/s00414-003-0404-5)

71. De Tobel J, Bauwens J, Parmentier GIL, et al. Magnetic resonance imaging for forensic age estimation in living children and young adults: a systematic review. *Pediatr Radiol.* 2020;50(12):1691–1708. EDN: [LQFRDT](#) doi: [10.1007/s00247-020-04709-x](https://doi.org/10.1007/s00247-020-04709-x)
72. Boldsen JL, Milner GR, Konigsberg LW, Wood JW. Transition analysis: a new method for estimating age from skeletons. In: *Hoppa R.D., Vaupel J.W., (eds). Paleodemography: age distributions from skeletal samples.* Cambridge University Press: Cambridge, 2002:73–106.
73. Zolotenkova GV, Rogachev AI, Pigolkin YuI, et al. Age classification in forensic medicine using machine learning techniques. *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2022;14(1):15–24. EDN: [WRMKYT](#) doi: [10.17691/stm2022.14.1.02](https://doi.org/10.17691/stm2022.14.1.02)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

*Автор, ответственный за переписку	*Corresponding author
*Золотенков Дмитрий Дмитриевич; адрес: Россия, 119992, Москва, ул. Трубечкая, д. 8, стр. 2; ORCID: 0000-0002-1224-1077; eLibrary SPIN: 1352-8848; e-mail: Zolotenkovaspir@mail.ru	*Dmitry D. Zolotenkov, MD; address: 8 Trubetskaya str., bldg 2, 119992, Moscow, Russia; ORCID: 0000-0002-1224-1077; eLibrary SPIN: 1352-8848; e-mail: Zolotenkovaspir@mail.ru
Серова Наталья Сергеевна, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН; ORCID: 0000-0003-2975-4431; eLibrary SPIN: 4632-3235.	Natalia S. Serova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0000-0003-2975-4431; eLibrary SPIN: 4632-3235.
Золотенкова Галина Вячеславовна, д-р мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0003-1764-2213; eLibrary SPIN: 1685-1802; e-mail: zolotenkova_g_v@staff.sechenov.ru	Galina V. Zolotenkova, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor; ORCID: 0000-0003-1764-2213; eLibrary SPIN: 1685-1802; e-mail: zolotenkova_g_v@staff.sechenov.ru
Поletaева Мария Петровна, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0003-0542-100X; eLibrary SPIN: 4910-8281; e-mail: poletaeva_m_p@staff.sechenov.ru	Mariya P. Poletaeva, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0003-0542-100X; eLibrary SPIN: 4910-8281; e-mail: poletaeva_m_p@staff.sechenov.ru
Пиголкин Юрий Иванович, д-р мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН; ORCID: 0000-0001-5370-4931; eLibrary SPIN: 1426-5903; e-mail: pigolkin@mail.ru .	Yuri I. Pigolkin, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences; ORCID: 0000-0001-5370-4931; eLibrary SPIN: 1426-5903; e-mail: pigolkin@mail.ru .

ТАБЛИЦА

Таблица 1. Характеристики отобранных публикаций для систематического обзора

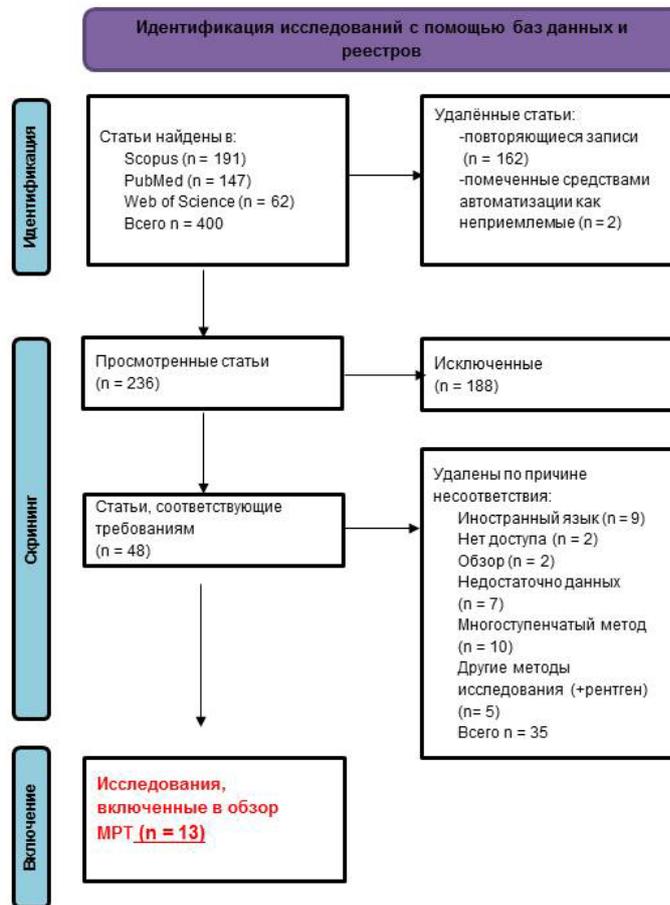
Table 1. Characteristics of the selected publications for systematic reviews

Авторы	Год	Страна выполнения исследования	Журнал	Классификация стадий эпифизарной оссификации	Размер популяционной выборки: всего/мужчины/женщины	Возрастной диапазон, лет	Последовательности магнитно-резонансной томографии	Ссылка
F. Dedouit и соавт.	2012	Франция	Forensic Science International	F. Dedouit и соавт.	290/138/152	10–30	PD	[52]
O. Ekizoglu и соавт.	2016	Турция	Forensic Science International	F. Dedouit и соавт.	503/305/198	10–30	T1-ВИ TSE	[64]
F Fan и соавт.	2016	Китай	Forensic Science International	J.A. Kramer и соавт.	322/183/139	11–30	T1-ВИ TSE	[48]
C. Ottow и соавт.	2017	Германия	European Radiology	A. Schmeling и соавт. и M. Kellinghaus и соавт.	658/333/325	12–24	T1-ВИ TSE	[36]
V. Vieth и соавт.	2018	Германия	European Radiology	V. Vieth и соавт.	694/344/350	12–24	T1-ВИ; T2-ВИ SPIR	[63]
A. Margalit и соавт.	2019	Соединённые Штаты Америки	Journal of Pediatric Orthopaedics	F. Dedouit и соавт.	165	0–19	T1-ВИ TSE	[67]
E.A.A. El-Din и соавт.	2019	Египет	Forensic Science, Medicine and Pathology	A. Schmeling и соавт. и M. Kellinghaus и соавт.	335/217/118	8–28	T1-ВИ TSE	[50]
M.H. Daghighi и соавт.	2020	Иран	Radiography	A. Schmeling и соавт.	193/139/54	15–40	T2-ВИ TSE; PD-FS	[55]
M.S. Gurses и соавт.	2020	Турция	Australian Journal of Forensic Sciences	V. Vieth и соавт.	598/367/231	12–30	T1-ВИ TSE; PD	[46]
O. Ekizoglu и соавт.	2020	Турция	International Journal of Legal Medicine	A. Schmeling и соавт. и M. Kellinghaus и соавт.	649/335/314	14–21	T1-ВИ TSE	[53]
H.B. Altinsoy и соавт.	2020	Турция	Australian Journal of Forensic Sciences	F. Dedouit и соавт.	472/195/277	10–30	PD	[60]
B. Uygun и соавт.	2021	Турция	The American Journal of Forensic Medicine and Pathology	F. Dedouit и соавт.	489/292/197	10–25	PD	[62]
O. Alatas и соавт.	2021	Турция	Rechtsmedizin	V. Vieth и соавт.	764/425/284	12–27	T1-ВИ TSE; PD	[61]

Примечание. ВИ — взвешенное изображение; PD — протон-взвешенное; TSE — турбо спин-эхо; PD-FS — протон-взвешенное с жироподавлением.

Note. VI — weighted imaging; PD — proton-weighted; TSE — turbo spin echo; PD-FS — proton-weighted fat-suppressed.

РИСУНКИ



ation

Рис. 1. Блок-схема PRISMA 2020 для систематического обзора, включающего поиск с использованием базы данных и поисковых систем.

Рис. 1. PRISMA 2020 flow chart for a systematic review including database and search engine searches.

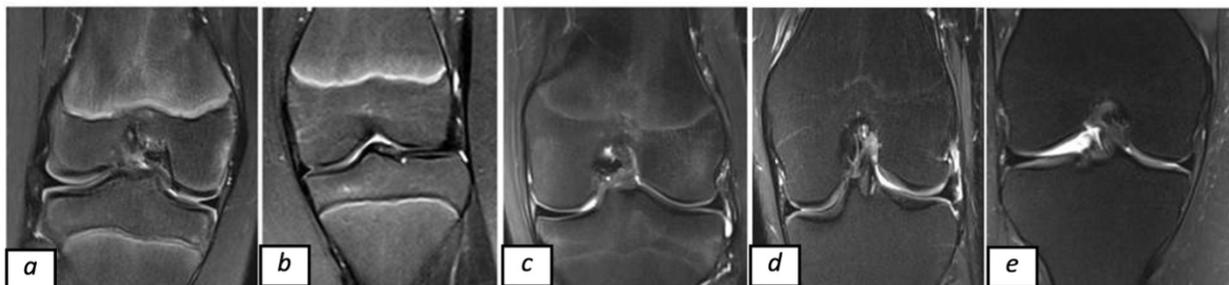


Рис. 2. Результаты магнитно-резонансной томографии коленного сустава в коронарной плоскости, T2-взвешенные изображения [64]. Стадии оссификации проксимального эпифиза большеберцовой и дистального эпифиза бедренной кости в соответствии с классификацией F. Dedouit и соавт. (2012): а — I стадия; b — II стадия; c — III стадия; d — IV стадия; e — V стадия.

Fig. 2. Results of magnetic resonance imaging of the knee joint in the coronal plane, T2-weighted images [64]. Stages of ossification of the proximal tibial epiphysis and distal femoral epiphysis according to the classification of F. Dedouit et al. (2012): a — stage I; b — stage II; c — stage III; d — stage IV; e — stage V.

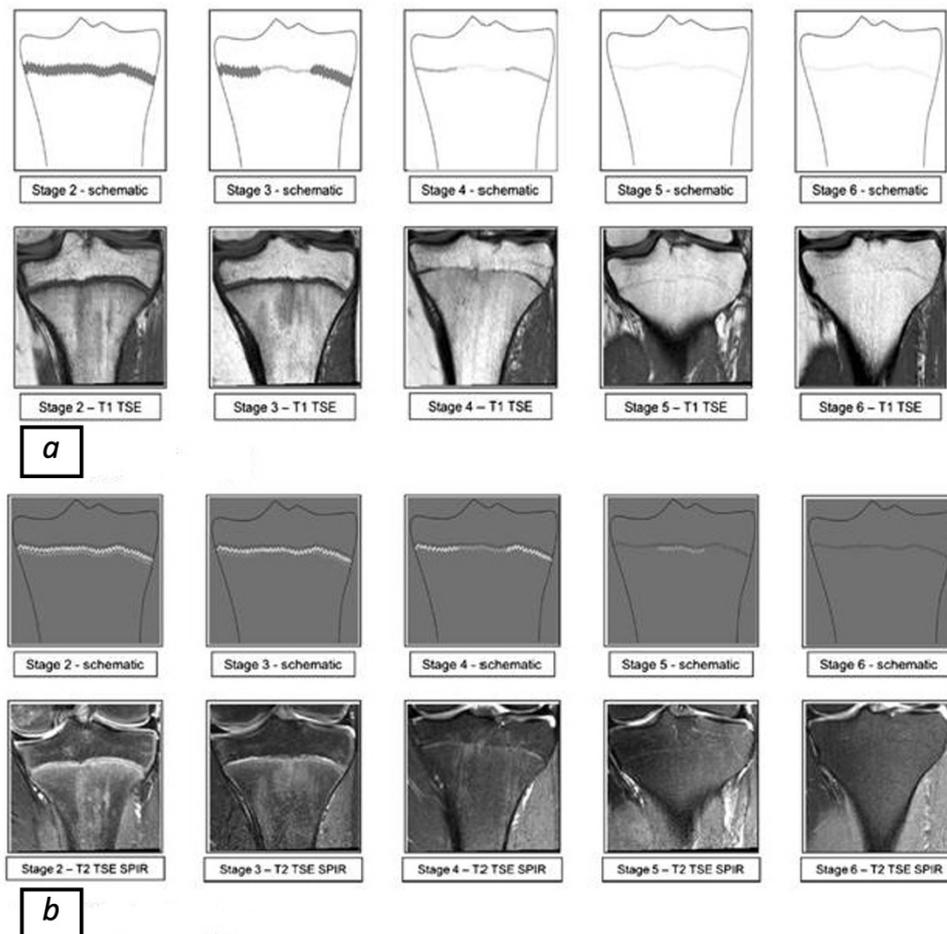


Рис. 3. Результаты магнитно-резонансной томографии коленного сустава в коронарной плоскости: *a* — T1-взвешенное изображение; *b* — T2-взвешенное изображение [63]. Стадии оссификации проксимального эпифиза большеберцовой и дистального эпифиза бедренной кости в соответствии с классификацией V. Vieth и соавт. (2018). TSE — турбо спин-эхо; SPIR — предварительное насыщение сигнала с инверсным восстановлением.

Fig. 3. Results of magnetic resonance imaging of the knee joint in the coronal plane: *a* — T1-weighted image; *b* — T2-weighted image [63]. Ossification stages of the proximal tibial epiphysis and distal femoral epiphysis according to the classification of V. Vieth et al. (2018). TSE — turbo spin echo; SPIR — signal pre-saturation with inversion recovery.

Accepted for publication

10/17