



Методы определения биологической зрелости

Безуглов Эдуард Николаевич — доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, руководитель медицинского комитета РФС, к.м.н.

Малякин Георгий Ильич — научный сотрудник Лаборатории Sports Высших Достижений Первого МГМУ им. И.М. Сеченова



Определения

Созревание — сложный процесс перехода к окончательному (зрелому) состоянию, конечной точке развития, а зрелость — сформированное состояние (исход созревания)

Биологическое созревание — процесс перехода во взрослое (зрелое) состояние той или иной системы организма

Хронологический возраст — количество лет, месяцев и дней, прошедших с момента рождения человека

Скелетный возраст — относится к зрелости скелета (костной ткани), определяемый степенью окостенения скелета

Максимальная/пиковая скорость роста — максимально достигаемая скорость роста в определённый год, измеряемая, как правило, в см/год

Возраст при максимальной (пиковой) скорости роста — возраст, при котором наступает максимальная (пиковая) скорость роста

Прогнозируемое смещение зрелости — время до/после максимальной (пиковой) скорости роста — является индикатором состояния зрелости

Оцениваемые параметры

01

Скелетный возраст



02

Развитие половых признаков



03

Степень соматического созревания

Изменение размеров



Размер тела юных футболистов, которые занимались футболом в 2000–2015 гг. больше, чем у юных футболистов схожего возраста, которые занимались футболом в 1978–1999 гг.

Однако возраст максимальной скорости роста и максимальной скорости веса не изменился

Основными причинами для этого можно назвать улучшение здоровья и условий питания, а также предвзятость в отборе в ведущих футбольных академиях, заключающуюся в систематическом отборе и удержании игроков с более высоким статусом зрелости и исключении позднесозревающих игроков, начиная примерно с 12–13 лет

Этому способствуют и тренировочные программы, направленные на развитие силы и мощности уже в детском возрасте

Спортивная успешность и степень биологического созревания

Спортивная успешность в подростковом возрасте в значительной степени может объясняться именно степенью биологического созревания и этот факт обязательно учитывается в реализации различных программ идентификации талантливости в спорте и без её учета сложно (если не сказать, невозможно) объективно оценить полученные данные



Ссылка: Malina RM, Rogol AD, Cumming SP, Coelho e Silva MJ, Figueiredo AJ. Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. Br J Sports Med. 2015 Jul;49(13):852-9

Скелетный возраст юных футболистов



11–12 ЛЕТ

РАННЕСОЗРЕВАЮЩИЕ ПОЗДНЕСОЗРЕВАЮЩИЕ

21%

21%

13–14 ЛЕТ

РАННЕСОЗРЕВАЮЩИЕ

38%

ПОЗДНЕСОЗРЕВАЮЩИЕ

7%

15–16 ЛЕТ

РАННЕСОЗРЕВАЮЩИЕ

65%

ПОЗДНЕСОЗРЕВАЮЩИЕ

2%

При этом, в возрасте 11–12 лет размеры тела и вес футболистов совпадают с эталонными значениями в США, а в 15–16 лет уже значительно обгоняют (на 7 месяцев)

Экспериментальный турнир

Среди 103 участников (средний хронологический возраст – 11,6 лет) 38% футболистов были раннесозревающими, а 27% – позднесозревающими. Скелетный возраст участников находился в диапазоне от 9,9 до 14,7 лет (средний скелетный возраст – 12,3 лет). 38 участников были старше своего хронологического возраста на шесть и более месяцев. 28 участников были на шесть месяцев младше своего хронологического возраста

При этом раннесозревающие оказались выше и тяжелее позднесозревающих, но не быстрее и сильнее

Параметры	позднесозревающие	вовремя созревающие	раннесозревающие
рост	143,8	149,4	156,6
вес	35,3	38,8	44,3
хронологический возраст	140	139,4	139,4
скелетный возраст	129,4	141,3	153,3
спринт 5 метров	1,3	1,25	1,3
спринт 10 метров	2,12	2,13	2,13
спринт 20 метров	3,7	3,7	3,7
спринт 30 метров	5,2	5,23	5,2
СМЖ вертикальный прыжок	28,6	27,5	27,6
VJ горизонтальный прыжок	175,7	178,5	176,5
Дриблинг	10,4	10,6	10,9
Бег со сменой направления	8,4	8,5	8,6
T-тест	9,8	10	10

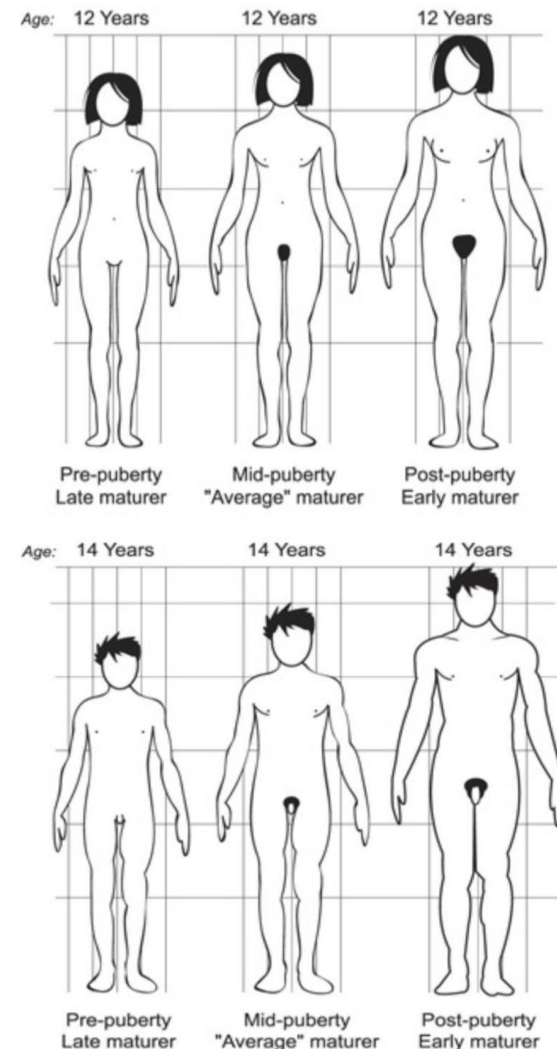
Методы оценки статуса биологической зрелости

Неинвазивные

- ❑ Оценка полового созревания (шкала Таннера)
- ❑ Процент от прогнозируемого роста взрослого человека (формула Хамиса-Роше)
- ❑ Прогнозируемое смещение зрелости (timing-predicted maturity offset)
- ❑ Возраст при максимальной скорости роста (age at peak height velocity, aPHV)

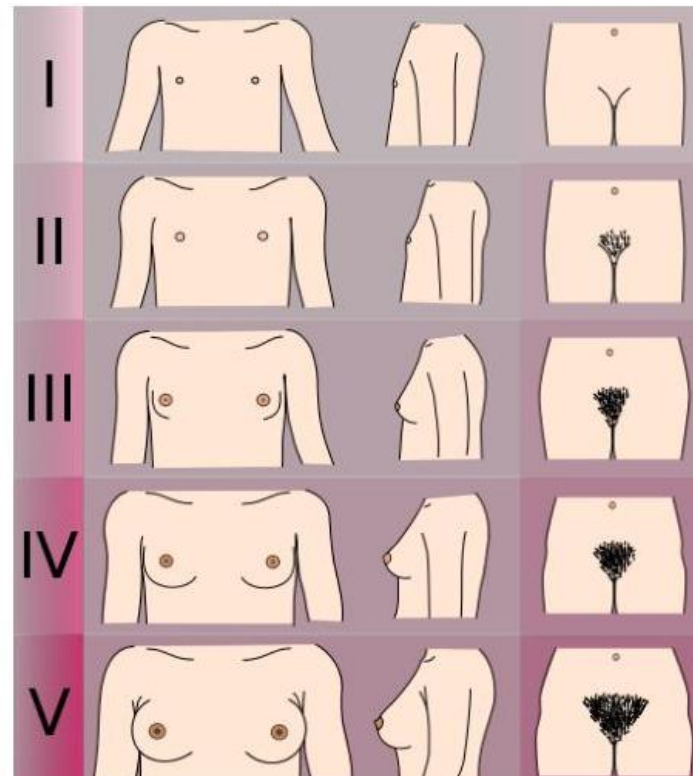
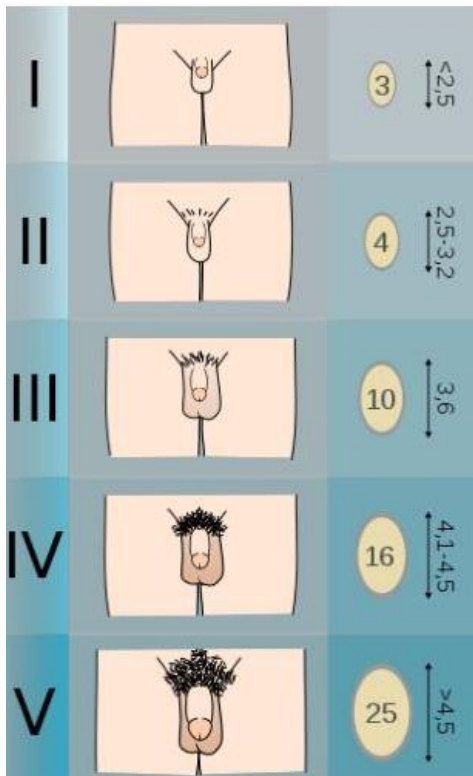
Аппаратные

- ❑ Рентгенография левой кисти: «золотой стандарт» диагностики
- ❑ Ультразвуковое исследование кисти
- ❑ Магнитно-резонансная томография кисти



Оценка полового созревания по шкале Таннера

Оценка половых признаков происходит по следующим параметрам: волосы на лице и в подмышечных впадинах/волосы на лобке (PH), грудь (B), гениталии (G), наступление менархе (для девушек), а также изменение голоса (у юношей). Параметры имеют шкалу оценки от 1 до 5 по клиническому осмотру либо самооценке, явное проявление развития B2 и G2 в среднем знаменует собой переход к половой зрелости у девочек и мальчиков соответственно



Процент от прогнозируемого роста взрослого человека (формула Хамиса-Роше)

Определение степени биологической зрелости с использованием метода Хамиса-Роше часто используется в исследованиях с участием юных спортсменов

Для этого используются данные о фактическом росте и весе спортсмена, а также росте его биологических родителей

Эта формула наиболее применима для белокожих юношей и девушек в возрасте от 4 до 18 лет

С помощью этой формулы определяется процент от прогнозируемого роста взрослого человека

Формула Хамиса-Роше выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Степень биологической зрелости} = & \beta_0 + \beta_1 \times \text{рост ребенка (дюймы)} \\ & + \beta_2 \times \text{вес ребенка (фунты)} \\ & + \beta_3 \times \text{средний рост родителей (дюймы)} \end{aligned}$$

Ссылки: Khamis HJ, Roche AF. Predicting adult stature without using skeletal age: the Khamis-Roche method. Pediatrics. 1994 Oct;94(4 Pt 1):504-7. Erratum in: Pediatrics 1995 Mar;95(3):457

Parr EB, Devlin BL, Lim KHC, Moresi LNZ, Geils C, Brennan L, Hawley JA. Time-Restricted Eating as a Nutrition Strategy for Individuals with Type 2 Diabetes: A Feasibility Study. Nutrients. 2020 Oct 22;12(11):3228.

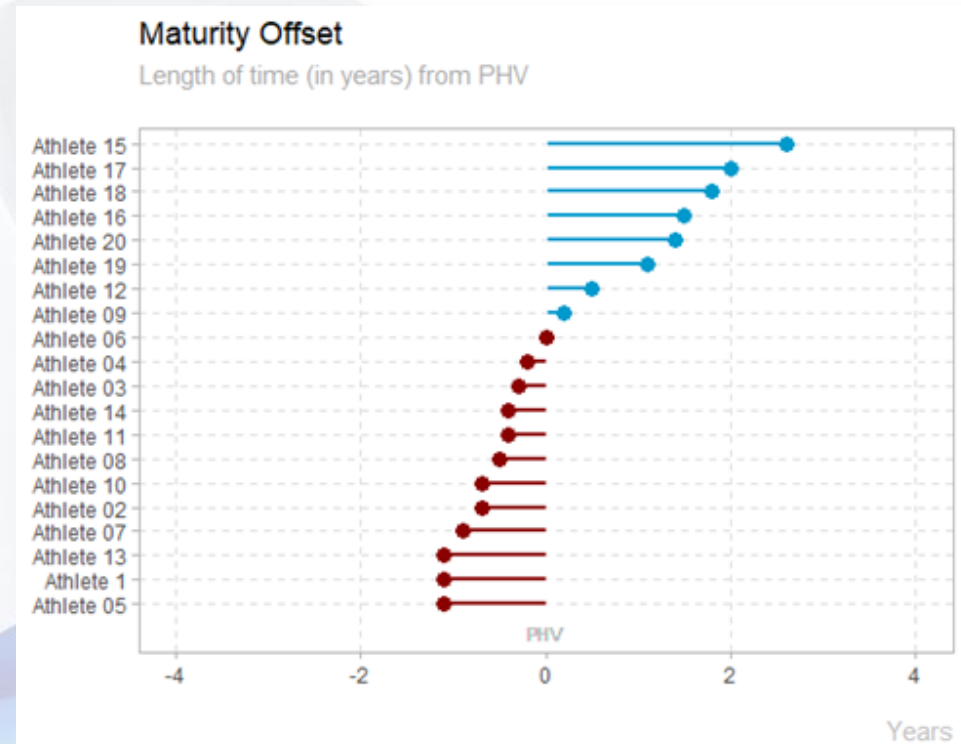
Прогнозируемое смещение зрелости

Это время до или после достижения
возраста пиковой скорости роста

Этот параметр все чаще используется
в качестве индикатора состояния
зрелости

Исторически использовалась
формула Mirwald, рассчитанная при
наблюдении за выборкой канадских
детей

Однако по результатам нескольких
крупных исследований была
обнаружена её непригодность для
программ развития спортивных
тантов



Ссылки: Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. Med Sci Sports Exerc. 2002;34(4):689-694.

Malina RM, Kozielec SM. Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. J Sports Sci. 2014;32(5):424-437.

Moore SA, McKay HA, Macdonald H, et al. Enhancing a Somatic Maturity Prediction Model. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(8):1755-1764.

Прогнозируемое смещение зрелости

Поэтому в 2015 году Sarah A Moore et al. модифицировали эту формулу (Moore-1):

Смещение зрелости (девочки) = $- 7,709133 + (0,0042232 \times (\text{возраст (в годах)} \times \text{рост (см)}))$

Смещение зрелости (мальчики) = $- 8,128741 + (0,0070346 \times (\text{возраст (в годах)} \times \text{рост в положении сидя (см)}))$

А также предложили альтернативную формулу для мальчиков (Moore-2):

Смещение зрелости = $- 7,999994 + (0,0036124 \times (\text{возраст (в годах)} \times \text{рост (см)}))$

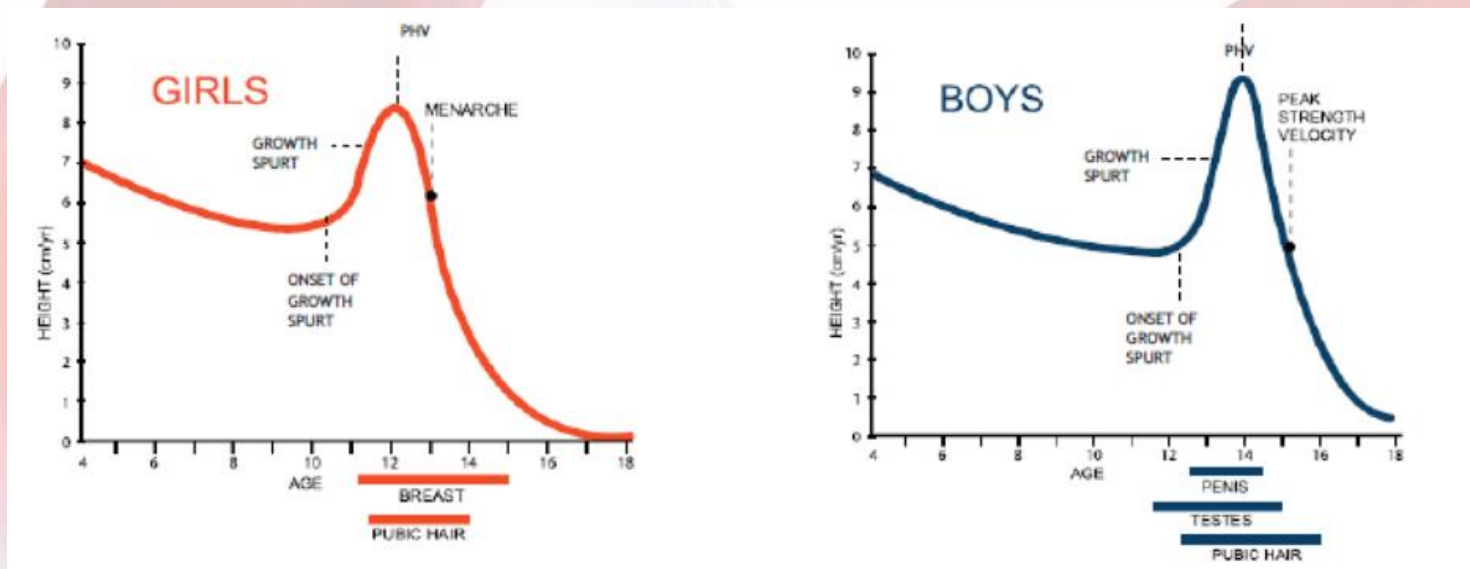
Модифицированная формула неоднократно применялась в последних работах и показала свою прогностическую точность и лёгкость воспроизведения по сравнению с первой версией Mirwald

Ссылки: Kozieł SM, Malina RM. Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. Sports Med. 2018;48(1):221-236.
Malina RM, Martinho DV, Valente-Dos-Santos J, Coelho-E-Silva MJ, Kozieł SM. Growth and Maturity Status of Female Soccer Players: A Narrative Review. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(4):1448. Published 2021 Feb 4.

Возраст пиковой скорости роста

Пиковая скорость роста (ПСР) — период времени, в течение которого наблюдается самое быстрое увеличение роста

ПСР = Хронологический возраст – Прогнозируемое смещение зрелости



Рентгенография левой кисти



«Золотой стандарт» оценки статуса биологической зрелости

В основе — оценка процесса окостенения с использованием рентгенографии

Наиболее часто оценка производится по степени окостенения костей левой кисти и запястья

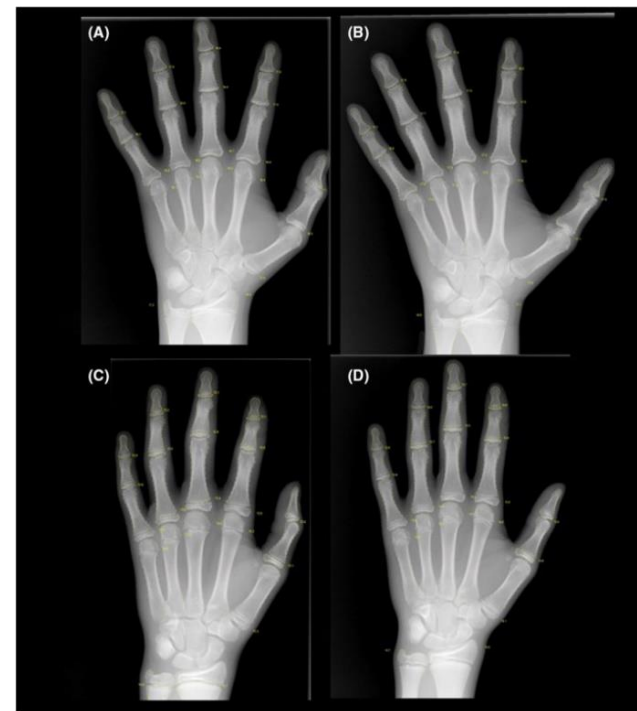
Участки окостенения оцениваются с использованием следующих протоколов: рентгенографического атласа развития скелета кисти и запястья Уильяма Грейлиха и Сары Пайл, а также методов Таннера — Уайтхауса и FELS

"Рентгенографический атлас развития скелета кисти и запястья" Уильяма Грейлиха и Сары Пайл (1959)

Включает в себя эталонные нормы левой руки и левого запястья женщин и мужчин до 18 и 19 лет, соответственно

При использовании данной методики костный возраст оценивается путем сравнения рентгенограммы пациента с ближайшей стандартной рентгенограммой в атласе

Метод был разработан с использованием рентгенограмм детей европеоидной расы из семей с высоким уровнем материального достатка в Кливленде (штат Огайо, США) в период между 1931 и 1942 годами



Преимущества: более простой и быстрый метод, надежен для оценки белокожих детей

Недостатки: менее надежен у детей азиатского и африканского происхождения, “эталонные рентгенограммы” не обновлялись с 1959 года при том, что процесс созревания в последние десятилетия ускорился

Метод Таннера – Уайтхауса (Tanner-Whitehouse method)

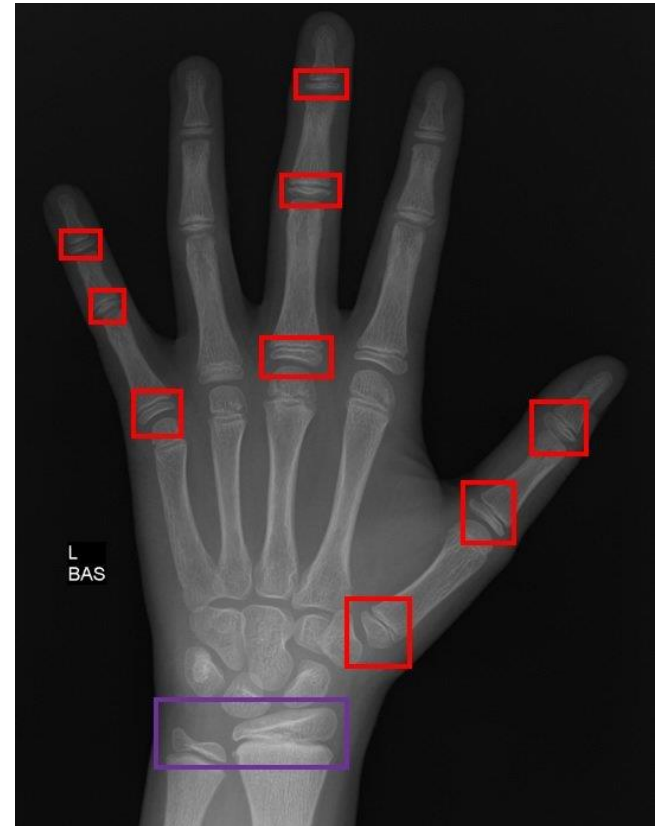
Основан на количественной оценке стадии окостенения (оссификации) 7–20 костей кисти и предплечья в зависимости от используемой модификации метода

Каждой кости присваиваются определенные баллы по стадии оссификации, которые затем суммируются: итоговый результат сопоставляется с эталонным значением и на основании него определяется скелетный возраст

Существуют несколько разновидностей метода. Наиболее современным является Метод TWIII (RUS), включающий анализ стадии оссификации тринадцати костей предплечья, пясти и пальцев (2001)

Преимущества: более высокая точность определения скелетного возраста и воспроизводимости результатов при проведении исследования разными специалистами

Недостатки: данный метод сложнее для освоения и требует больше времени для интерпретации рентгенограмм, чем метод Грейлиха–Пайл

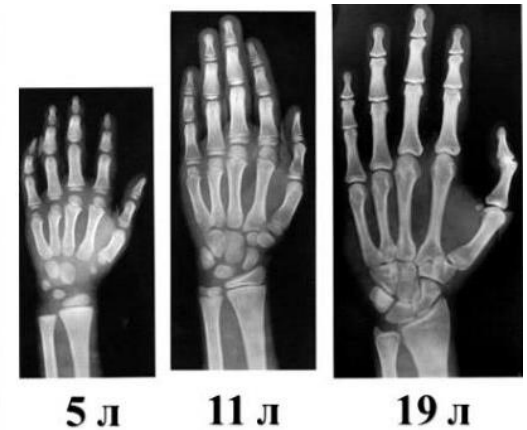


Метод FELS

Метод FELS остается единственным способом оценки скелетного возраста, позволяющим оценивать стандартную ошибку, позволяя вычислять доверительные интервалы для рассчитанного скелетного возраста

Данный метод основан на сравнении показателей оцениваемого ребёнка с данными детей (референтная группа), полученными в многолетних продольных исследованиях

Оценка каждой из костей, а также ширина эпифиза и метафиза вводятся в компьютерную программу (Felsbw 1.0), которая вычисляет скелетный возраст и стандартную ошибку оценки для конкретного человека



Ультразвуковое исследование кисти

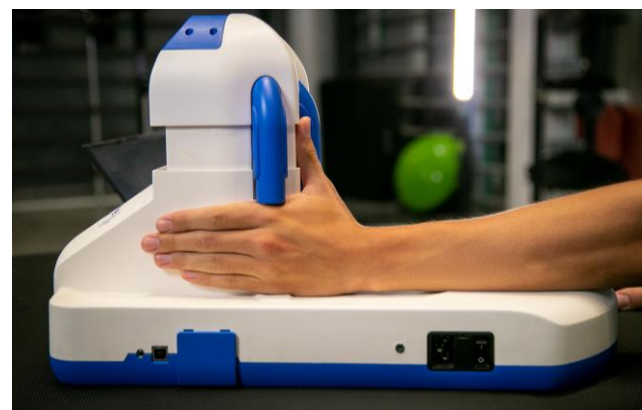
Рентгенографическая оценка скелетного возраста с использованием метода Таннера–Уайтхауса также может быть получена на основе ультразвуковых изображений

Это простой, быстрый, надежный способ определения скелетного возраста

Данный метод основан на применении специальных формул для преобразования данных УЗИ в рентгенологические данные

Ультразвуковой метод диагностики скелетного возраста был разработан недавно и удовлетворяет критериям «золотого стандарта», однако пока не принят в качестве него

В публикациях 2020-х годов отмечалось, что данный метод все еще нуждается в оценке на разных популяциях с большим размером выборки



BAUSports™ SonicBone

Партнерами и активными пользователями данного устройства являются:

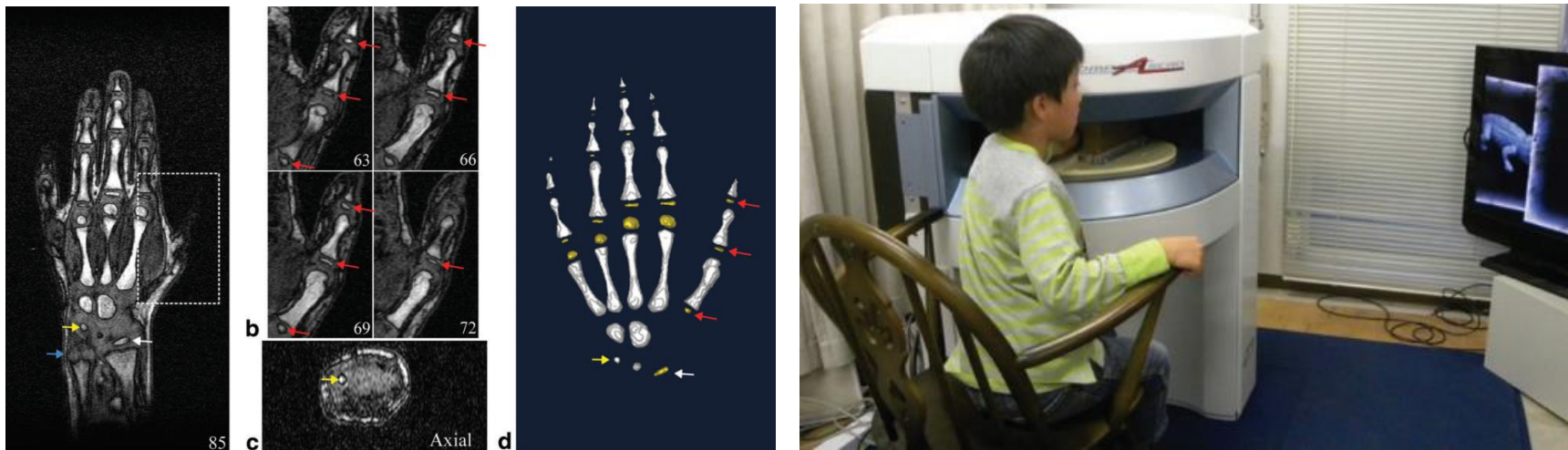
1. Лучшие клубы Бундеслиги: Штутгарт, Боруссия, Хоффенхайм
2. ФК Барселона и другие клубы ЛаЛиги
3. Футбольные ассоциации Норвегии, Венгрии, Швейцарии
4. Испанский университет Спорта, Университет Кардифф Метрополитан, Университет Центрального Ланкашира



Магнитно-резонансная томография кисти

В 2012 году этот метод был предложен для определения скелетного возраста

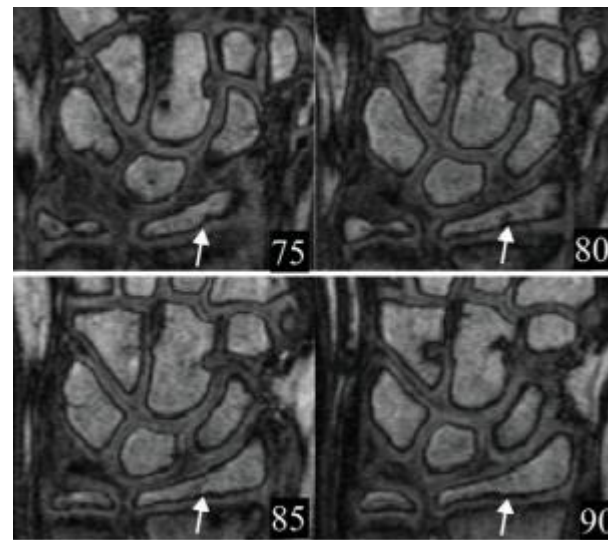
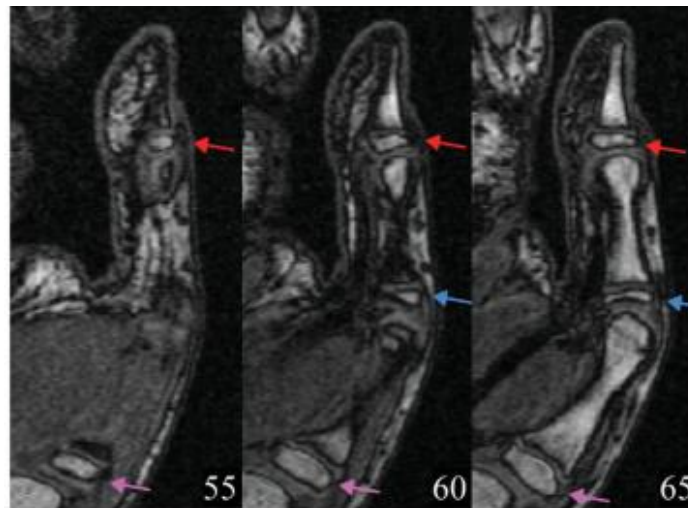
Основан он на методе Таннера—Уайтхауса, адаптированном для МРТ



Магнитно-резонансная томография кисти

Преимущества: более высокая точность определения скелетного возраста и воспроизводимости результатов, безопасный в контексте ионизирующего излучения

Недостатки: метод более дорогой, непросто в воспроизведении (из-за необходимости использования специального оборудования)





Методы определения биологической зрелости

Безуглов Эдуард Николаевич — доцент кафедры спортивной медицины и медицинской реабилитации Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, руководитель медицинского комитета РФС, к.м.н.

Малякин Георгий Ильич — научный сотрудник Лаборатории Sports Высших Достижений Первого МГМУ им. И.М. Сеченова

