

УДК 611.717

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОСТНОГО ВОЗРАСТА

Багинский В. А., Денисов С. Д.

Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Реферат. В статье представлены результаты оценки степени точности и эффективности клинического применения следующих методов определения костного возраста, наиболее часто применяющихся в клинической практике: Грейлиха — Пайла и различных модификаций метода Таннера — Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)). Авторы заключили, что в сложных клинических случаях целесообразно использовать метод Таннера — Уайтхауза (TWIII (RUS)) в связи с более высокой точностью определения костного возраста, а также возможностью документирования минимальных изменений стадии оссификации костей кисти и дистального отдела предплечья. В рутинной клинической практике для определения костного возраста допустимо использование простого в освоении и наименее трудоемкого метода Грейлиха — Пайла.

Ключевые слова: костный возраст, метод Грейлиха — Пайла, метод Таннера — Уайтхауза, созревание скелета, нарушение роста и полового созревания.

Введение. Костный возраст является одним из значимых показателей физического и полового развития детей, который объективно отражает процессы роста организма и позволяет оценить уровень полового развития детей и подростков. Определение костного возраста важно для диагностики и лечения заболеваний, сопровождающихся нарушением роста и полового созревания, контроля эффективности лечения эндокринопатий, прогнозирования конечного роста. В ортопедии костный возраст применяется для оценки скорости роста скелета, что имеет значение при определении тактики лечения и времени выполнения оперативных вмешательств у пациентов со сколиозом, кифозом, юношеским эпифизеолизом головки бедра. В судебной медицине костный возраст используется в качестве одного из индикаторов определения хронологического возраста [1, 2].

Для определения костного возраста в клинической практике используются рентгенограммы кисти и лучезапястного сустава в прямой проекции. Костный возраст определяется на основе анализа рентгенограмм с использованием специальных методов. Различные методы определения костного возраста характеризуются разной точностью, сложностью освоения, трудоемкостью [3, 4]. Сложность разработки единой универсальной методики оценки костного возраста обусловлена популяционной изменчивостью формирования центров окостенения, акселерацией, ускорением темпов оссификации скелета у современного поколения детей.

В международной клинической практике для определения костного возраста используются два основных метода: Грейлиха — Пайла (GP, Greulich — Pyle) и Таннера — Уайтхауза (TW, Tanner — Whitehouse).

Метод Грейлиха — Пайла (GP, Greulich, Pyle) основан на сопоставлении рентгенограммы пациента со стандартными снимками из специального атласа. Наиболее часто в международной клинической практике используется второе издание атласа Грейлиха — Пайла (1959 г.). Атлас включает эталонные рентгенограммы детей разного возраста: мужской пол — 31 рентгенограмма, возраст от 3 месяцев до 19 лет, женский пол — 27 рентгенограмм, возраст от 3 месяцев до 18 лет [5].

Достоинства метода Грейлиха — Пайла — это простота освоения, малое время анализа рентгенограмм. **Недостатками** данного метода являются: невысокая точность определения костного возраста; высокий уровень вариабельности показателей при оценке разными специалистами; отсутствие модификаций, адаптированных под разные популяции; отсутствие обновлений атласа, которые учитывают особенности развития скелета современного поколения детей.

Метод Таннера — Уайтхауза основан на количественной оценке стадии оссификации 7–20 костей кисти и предплечья в зависимости от модификации. Стадия оссификации определяется путем сопоставления рентгеновского изображения кости с соответствующим описанием, скиаграммой, образцом рентгенограммы

данной кости. Каждой кости присваиваются определенные баллы, которые затем суммируются, итоговый результат сопоставляется с эталонным значением, на основании которого определяется костный возраст.

Метод TWII (CARPAL) внедрен в 1975 г., основан на анализе стадии оссификации семи костей запястья: трапеции, трапециевидной, головчатой, крючковидной, ладьевидной, полулунной, трехгранной.

Метод TWII 20 (20 BONE) внедрен в 1975 г., основан на анализе стадии оссификации семи костей запястья, тринадцати костей предплечья, пясти и пальцев: трапеции, трапециевидной, головчатой, крючковидной, ладьевидной, полулунной, трехгранной, лучевой, локтевой, 1-, 3-, 5-пястных, проксимальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, дистальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, средних фаланг 3-го, 5-го пальцев.

Метод TWII (RUS) внедрен в 1975 г., основан на анализе стадии оссификации тринадцати костей предплечья, пясти и пальцев: лучевой, локтевой, 1-, 3-, 5-пястных, проксимальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, дистальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, средних фаланг 3-го, 5-го пальцев.

Метод TWIII (RUS) внедрен в 2001 г., основан на анализе стадии оссификации тринадцати костей предплечья, пясти и пальцев: лучевой, локтевой, 1-, 3-, 5-пястных, проксимальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, дистальных фаланг 1, 3, 5-го пальцев, средних фаланг 3-го, 5-го пальцев. При расчете костного возраста используется обновленная по сравнению с методом TWII (RUS) шкала, более точно характеризующая темпы оссификации скелета современного поколения детей [6].

Достоинства метода Таннера – Уайтхауза заключаются в более высокой точности определения костного возраста и воспроизводимости результатов при проведении исследования разными специалистами. Этот метод сложнее для освоения и требует больше времени для

интерпретации рентгенограммы, чем метод Грейлиха – Пайла.

Цель работы — оценка степени точности и эффективности клинического применения метода Грейлиха – Пайла и различных модификаций метода Таннера – Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) для определения костного возраста детей Республики Беларусь.

Материалы и методы. Произведен ретроспективный анализ 305 рентгенограмм кисти и лучезапястного сустава в прямой проекции пациентов Городского клинического центра травматологии и ортопедии УЗ «6-я городская клиническая больница» г. Минска с травматологической патологией, не затрудняющей оценку костного возраста по рентгенограмме.

Костный возраст определялся с использованием метода Грейлиха – Пайла и различных модификаций метода Таннера – Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)).

Разные методы оценки костного возраста имеют различные возрастные ограничения, поэтому некоторые методики применимы только в определенных возрастных диапазонах. Для определения костного возраста с помощью методов Грейлиха – Пайла и модификаций метода Таннера – Уайтхауза (TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS)) проанализированы рентгенограммы пациентов мужского пола в возрасте 2–16,9 лет и женского пола в возрасте 2–15,9 лет. Для определения костного возраста с помощью метода Таннера – Уайтхауза TWII (CARPAL) проведен анализ рентгенограмм пациентов мужского пола в возрасте 2–14,9 лет и женского пола в возрасте 2–12,9 лет. Для определения костного возраста с помощью метода Таннера – Уайтхауза TWIII (RUS) проанализированы рентгенограммы пациентов мужского пола в возрасте 2–16 лет и женского пола в возрасте 2–14,9 лет (таблица 1).

Таблица 1 — Распределение пациентов по возрастным группам

Возраст, лет	Мужской пол			Женский пол		
	GP, TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS)	TWII (CARPAL)	TWIII (RUS)	GP, TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS)	TWII (CARPAL)	TWIII (RUS)
2–2,9	10	5	10	11	11	11
3–3,9	10	10	10	13	13	13
4–4,9	11	11	11	9	9	9
5–5,9	4	4	4	7	7	7
6–6,9	6	6	6	8	8	8

Окончание табл. 1

Возраст, лет	Мужской пол			Женский пол		
	GP, TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS)	TWII (CARPAL)	TWIII (RUS)	GP, TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS)	TWII (CARPAL)	TWIII (RUS)
7–7,9	8	8	8	8	8	8
8–8,9	6	6	6	6	6	6
9–9,9	11	11	11	9	9	9
10–10,9	17	17	17	11	11	11
11–11,9	12	12	12	17	17	17
12–12,9	20	20	20	9	9	9
13–13,9	15	15	15	11	–	11
14–14,9	11	11	11	21	–	21
15–15,9	7	–	7	10	–	–
16–16,9	7	–	1	–	–	–
Итого	155	136	149	150	108	140

Анализ рентгенограмм проведен с использованием таблиц из руководств Грейлиха – Пайла и Таннера – Уайтхауза.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2016, Statistica 10.0 для Windows (StatSoft Inc., США). Сравнение количественных данных выполняли с применением методов описательной статистики и непараметрических методов. Для определения статистической значимости различий в зависимых выборках использовали критерий Вилкоксона. Статистически значимым считали результат в случае, если вероятность отвергнуть нулевую гипотезу об

отсутствии различий не превышала 5 % ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение. Средний хронологический возраст пациентов мужского пола составил $9,9 \pm 4,1$ лет; женского пола $9,5 \pm 4,2$ лет.

В таблицах 2, 3 приведены показатели костного возраста, разности, корреляции между костным и хронологическим возрастом, среднее время анализа одной рентгенограммы, полученные при использовании методов Грейлиха – Пайла (GP) и различных модификаций метода Таннера – Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) у пациентов мужского и женского пола.

Таблица 2 — Показатели костного и хронологического возраста пациентов мужского пола

Показатель	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Костный возраст, лет, $m \pm \sigma$	$9,8 \pm 4,5$	$9,3 \pm 4,2$	$9,9 \pm 4,6$	$10,4 \pm 4,7$	$9,8 \pm 4,2$
Разность между костным и хронологическим возрастом, лет, $m \pm \sigma$, [95% ДИ]	$-0,1 \pm 1$ [-0,3; 0,1]	$-0,5 \pm 1,1$ [-0,7; -0,3]	$0,1 \pm 0,9$ [-0,1; 0,2]	$0,6 \pm 0,8$ [0,5; 0,7]	$-0,1 \pm 0,5$ [-0,1; 0,1]
Размах разности между костным и хронологическим возрастом, лет	-2,8/2,5	-3,6/2	-2,1/3,1	-1,4/3,2	-1,5/1,6
Разность между костным и хронологическим возрастом, стандартная ошибка среднего, лет	0,08	0,09	0,07	0,07	0,04
Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между костным и хронологическим возрастом ($p < 0,001$)	0,977	0,963	0,982	0,991	0,991
Критерий Вилкоксона, p	0,137	<0,001	0,385	<0,001	0,516
Среднее время анализа рентгенограммы, мин	1,5	4	11	7	7

Примечание — m — среднее арифметическое значение; σ — среднеквадратическое отклонение; 95% ДИ — 95%-й доверительный интервал.

Таблица 3 — Показатели костного и хронологического возраста пациенток женского пола

Показатель	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Костный возраст, лет, $m \pm \sigma$	$9,7 \pm 4,7$	$8,7 \pm 3,9$	$9,8 \pm 4,7$	$10,3 \pm 4,7$	$9,7 \pm 4,3$
Разность между костным и хронологическим возрастом, лет, $m \pm \sigma$, [95% ДИ]	$-0,1 \pm 1$ [-0,1; 0,3]	$-0,5 \pm 1$ [-0,7; -0,3]	$0,3 \pm 0,9$ [0,1; 0,4]	$0,8 \pm 0,8$ [0,7; 0,9]	$0,2 \pm 0,6$ [0,1; 0,3]
Размах разности между костным и хронологическим возрастом, лет	-2,9/2,9	-3,5/2,2	-2,4/2,7	-1,1/2,7	-1,7/1,7
Разность между костным и хронологическим возрастом, стандартная ошибка среднего, лет	0,08	0,1	0,07	0,06	0,05
Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между костным и хронологическим возрастом ($p < 0,001$)	0,981	0,962	0,983	0,985	0,985
Критерий Вилкоксона, p	0,261	<0,001	0,001	<0,001	0,002
Среднее время анализа рентгенограммы, мин	1,5	4	11	7	7

Примечание — m — среднее арифметическое значение; σ — среднеквадратическое отклонение; 95% ДИ — 95%-й доверительный интервал.

Разность между костным возрастом, определенным с помощью методов GP, TWII 20 (20 BONE), TWIII (RUS) и хронологическим возрастом у пациентов мужского пола статистически незначима. У пациенток женского пола разность между костным возрастом, опре-

деленным с помощью методов GP, и хронологическим возрастом статистически незначима.

На рисунках 1–5 показаны диаграммы рассеяния показателей костного возраста, определенного с помощью различных методов, и хронологического возраста.

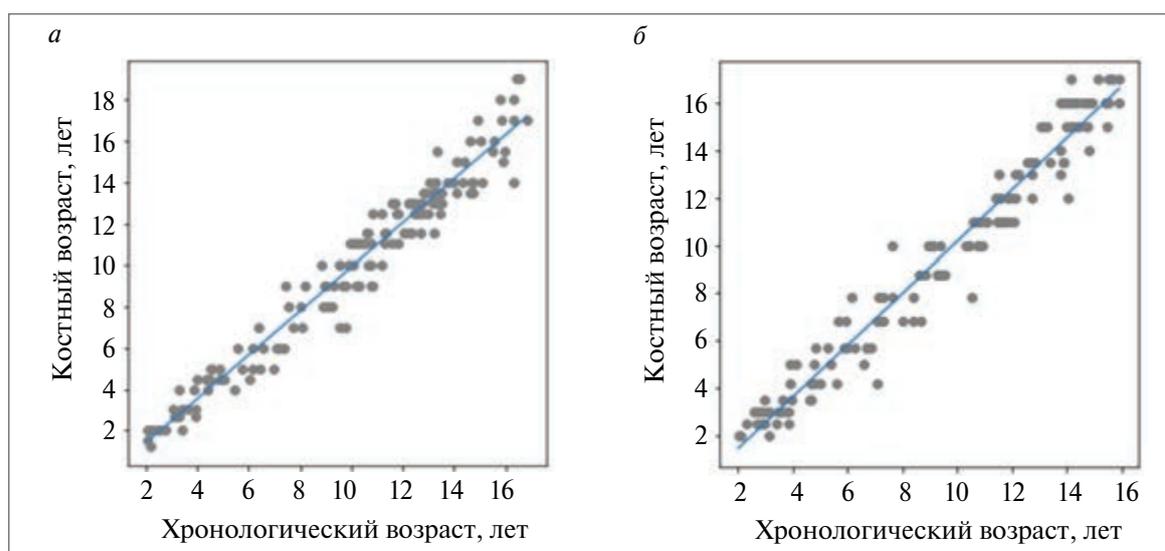


Рисунок 1 — Диаграмма рассеяния показателей костного возраста, определенного методом Грейлиха — Пайла, и хронологического возраста:
***a* — мужской пол GP; *б* — женский пол GP**

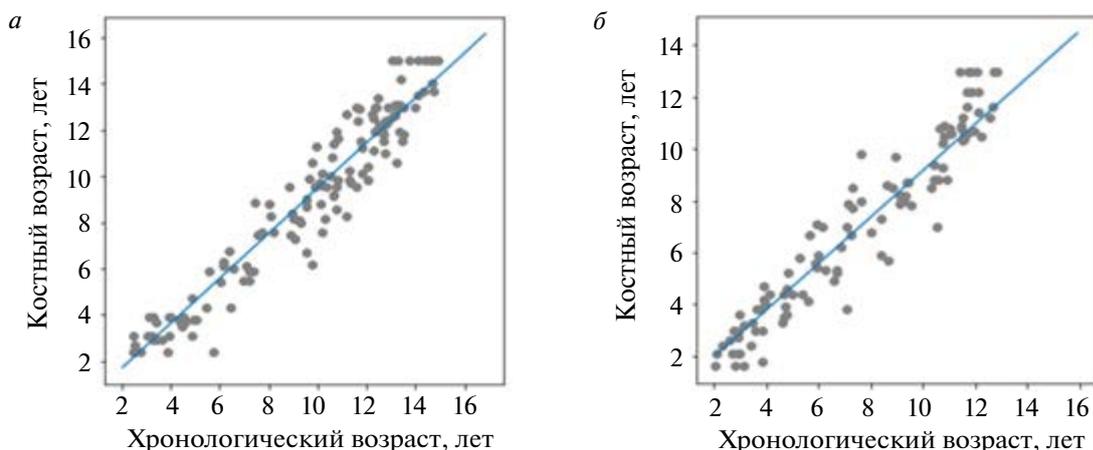


Рисунок 2 — Диаграмма рассеяния показателей костного возраста, определенного методом TWII (CARPAL), и хронологического возраста:

a — мужской пол; *б* — женский пол

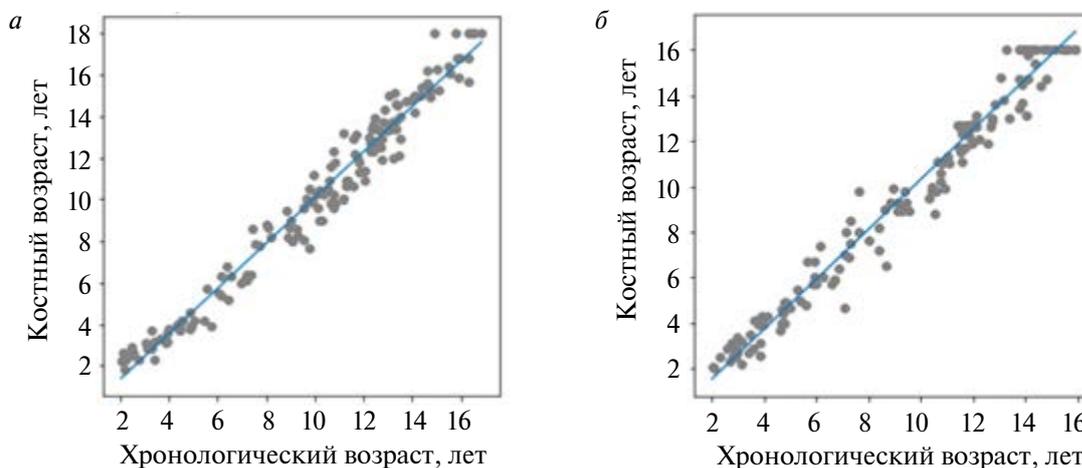


Рисунок 3 — Диаграмма рассеяния показателей костного возраста, определенного методом TWII 20 (20 BONE), и хронологического возраста:

a — мужской пол; *б* — женский пол

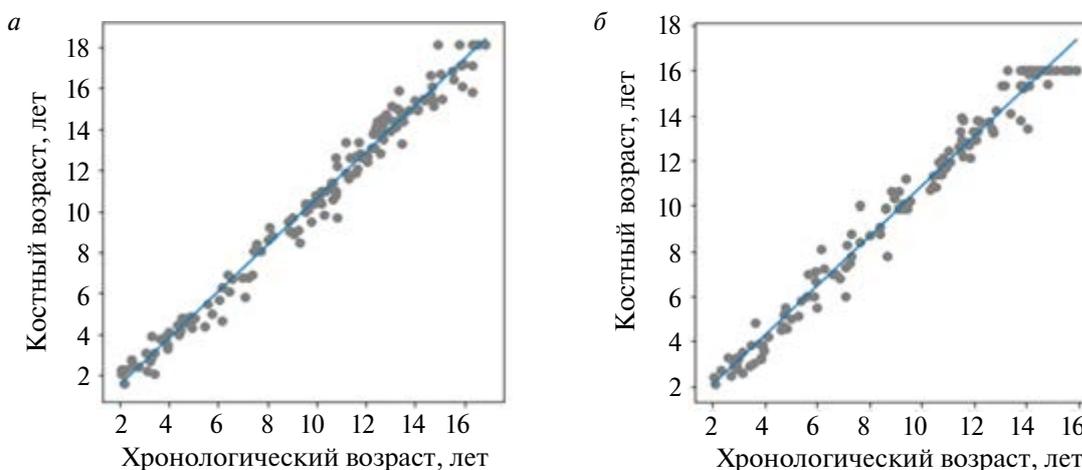


Рисунок 4 — Диаграмма рассеяния показателей костного возраста, определенного методом TWII (RUS), и хронологического возраста:

a — мужской пол; *б* — женский пол

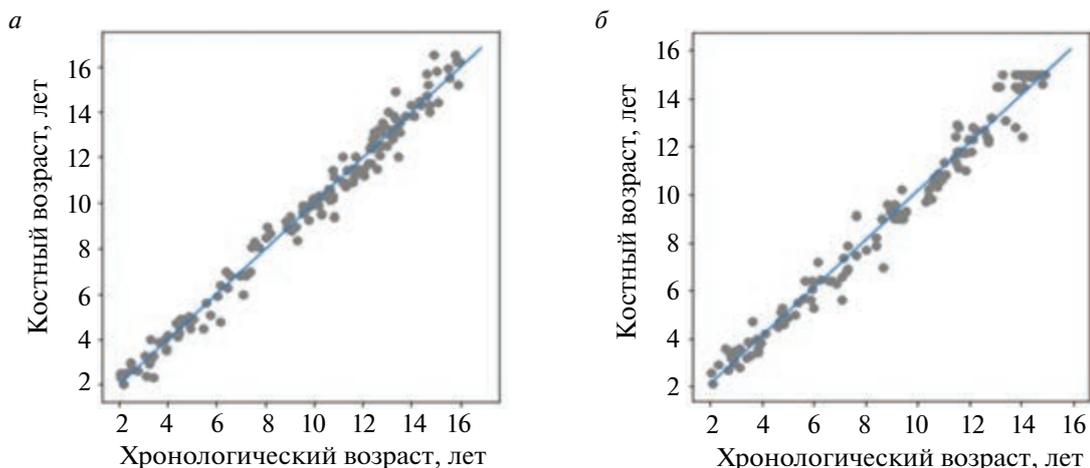


Рисунок 5 — Диаграмма рассеяния показателей костного возраста, определенного методом TWIII (RUS), и хронологического возраста:
a — мужской пол; *б* — женский пол

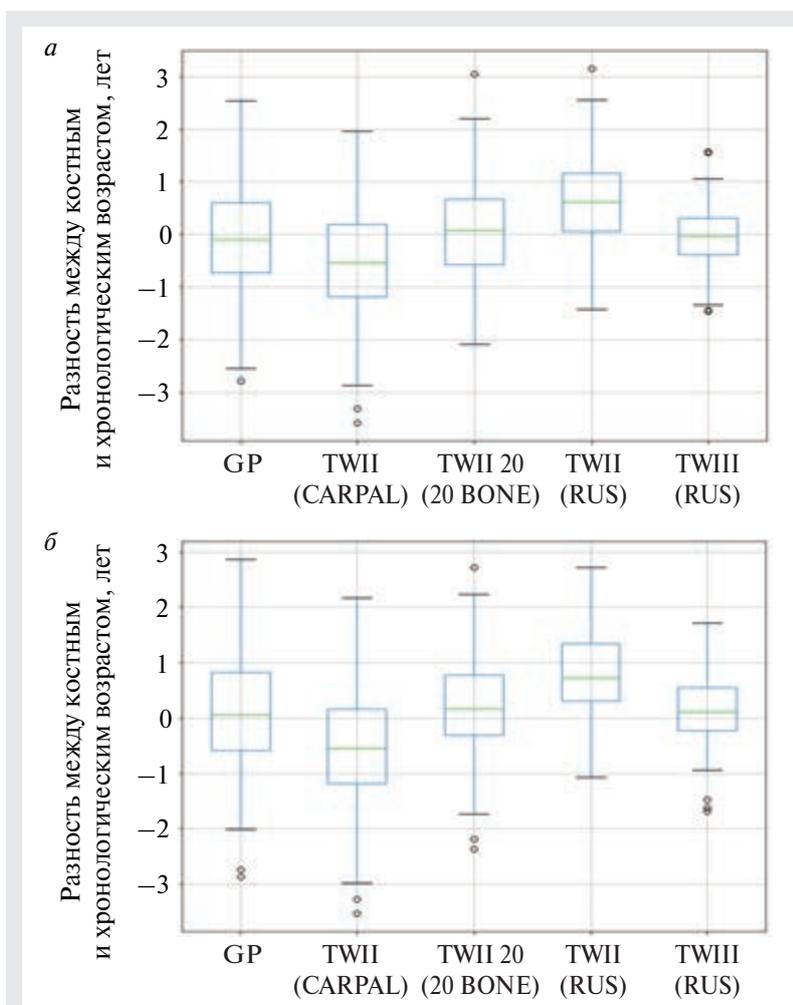


Рисунок 6 — Диаграмма размаха показателей разности между костным возрастом, определенным с помощью различных методов, и хронологическим возрастом у пациентов:
a — мужской пол; *б* — женский пол

На рисунке 6 отображены диаграммы размаха показателей разности между костным возрастом, определенным с помощью различных методов, и хронологическим возрастом у пациентов мужского и женского пола.

Точность определения костного возраста — характеристика качества исследования, отражающая степень совпадения значений костного и хронологического возраста. Скорость оссификации костей отличается у разных популяций, на темпы созревания скелета влияют социально-экономические условия, экологическая обстановка. В норме отклонение костного возраста от хронологического может достигать двух лет в зависимости от возрастной группы, максимальные значения отклонения наблюдаются в пубертатном периоде [7].

Наиболее точным методом определения костного возраста у детей Республики Беларусь является метод Таннера — Уайтхауза TWIII (RUS)), так как при использовании данной методики наблюдается высокая корреляция, наименьшая стандартная ошибка среднего, а также минимальный размах разности между костным и хронологическим воз-

растом. Преимуществом данного метода является наличие строгих критериев для определения стадии оссификации каждой исследуемой кости, что помогает объективизировать оценку скелетной зрелости. *Недостатком* данного метода является его трудоемкость, поскольку требуется по отдельности анализировать стадию оссификации тринадцати костей. Однако по мере накопления практического опыта скорость интерпретации рентгенограмм возрастает, временные затраты компенсируются более высоким уровнем точности методики.

Метод Таннера — Уайтхауза TWII (RUS)) показал сопоставимую с методом TWIII (RUS) трудоемкость, поскольку количество анализируемых костей и описание стадий оссификации для обоих методик одинаковое. Однако точность определения костного возраста при использовании метода TWII (RUS)) ниже, чем при применении метода TWIII (RUS).

Метод Таннера — Уайтхауза TWII (CARPAL) продемонстрировал наименьшую точность определения костного возраста, что связано с анатомической вариабельностью костей запястья, сложностью интерпретации стадии оссификации данных костей.

Для метода Таннера — Уайтхауза TWII 20 (20 BONE) характерна невысокая точность и наибольшая трудоемкость, так как для оценки костного возраста необходимо проанализировать стадию оссификации двадцати костей (семь костей запястья, а также тринадцать пястных костей и костей пальцев).

Метод Грейлиха — Пайла показал удовлетворительную точность определения костного возраста, а также наименьшую трудоемкость анализа рентгенограмм.

Заключение. На основании проведенных исследований и изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Выявлена высокая достоверная корреляция между хронологическим и костным возрастом, определенным по методам Грейлиха — Пайла и Таннера — Уайтхауза (TWIII (RUS)).

2. Методы Грейлиха — Пайла и Таннера — Уайтхауза (TWIII (RUS)) могут применяться для определения костного возраста у детей, проживающих в Республике Беларусь.

3. Метод Таннера — Уайтхауза (TWIII (RUS)) более сложен в освоении, чем метод Грейлиха — Пайла и требует больше времени на анализ рентгенограмм с целью определения костного возраста.

4. Применение устаревших модификаций метода Таннера — Уайтхауза TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS) в современной клинической практике нецелесообразно в связи с невысокой точностью определения костного возраста.

В рутинной клинической практике допустимо применение метода Грейлиха — Пайла как наиболее простого в освоении и наименее трудоемкого метода определения костного возраста.

В сложных клинических случаях более целесообразно использование метода Таннера — Уайтхауза (TWIII (RUS)) в связи с более высокой точностью определения костного возраста и возможностью документирования минимальных изменений степени оссификации костей.

Для разных методик оценки костного возраста характерна различная точность, поэтому при определении костного возраста целесообразно указывать название применявшегося метода определения костного возраста.

Список цитированных источников

1. The use of bone age in clinical practice—part 1 / D. D. Martin [et al.] // Hormone research in paediatrics. — 2011. — Т. 76, № 1. — P. 1–9.
2. The use of bone age in clinical practice—part 2 / D. D. Martin [et al.] // Hormone research in paediatrics. — 2011. — Т. 76, № 1. — P. 10–16.
3. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond / De V. Sanctis [et al.] // Indian J. of endocrinology and metabolism. — 2014. — Т. 18, № 1. — P. 63.
4. Accuracy of three age determination X-ray methods on the left hand-wrist: a systematic review and meta-analysis / S. Serinelli [et al.] // Legal medicine. — 2011. — Т. 13, № 3. — P. 120–133.
5. Greulich, W. W. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist / W. W. Greulich, S. I. Pyle. — Stanford university press, 1959. — 256 p.
6. Carty, H. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method) : 3 rd. edition / H. Carty // edited by J. M. Tanner, M. J. R. Healy, H. Goldstein, N. Cameron. — London, etc: W. B. Saunders, 2001. — 110 p.
7. Bone age for chronological age determination—statement of the European Society of Paediatric Radiology musculoskeletal task force group / L. S. Ording Myller [et al.] // Pediatric radiology. — 2019. — Т. 49, № 7. — P. 979–982.



Comparative analysis of methods for bone age determination

Baginskiy V. A., Denisov S. D.

Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus

The article presents the results of the evaluation of the degree of accuracy and clinical effectiveness of the following methods for determining bone age, which are most commonly used in clinical practice: Greulich – Pyle and various modifications of the Tanner – Whitehouse method (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)). The authors concluded that the Tanner – Whitehouse method (TWIII (RUS)) is more appropriate in complicated clinical cases due to a higher accuracy of determining bone age, as well as the possibility of documenting minimal changes in the ossification stage of the hand and distal forearm bones. In routine clinical practice, the simple to learn and the least time-consuming Greulich – Pyle method is acceptable for determining bone age.

Keywords: bone age, Greulich – Pyle method, Tanner – Whitehouse method, skeletal maturation, impairment of growth and puberty.

Поступила 16.07.2022