

DOI: <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2024.4.71>

В. А. Багинский

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОСТНОГО ВОЗРАСТА

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

Цель исследования. Оценка точности определения костного возраста и эффективности клинического применения разработанных автором программных веб-приложений для определения костного возраста с помощью метода Грейлиха–Пайла и различных модификаций метода Таннера–Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)).

Материалы и методы. Рентгенограммы кисти и лучезапястного сустава в прямой проекции 600 пациентов мужского и женского пола в возрасте 2–15,9 лет. Костный возраст определялся с помощью метода Грейлиха–Пайла и различных модификаций метода Таннера–Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) с использованием бумажных версий руководств и программных веб-приложений.

Результаты. Показатели костного возраста, определяемые с помощью программных веб-приложений, сопоставимы с показателями, полученными при использовании бумажных версий руководств Грейлиха–Пайла и Таннера–Уайтхауза. Программные веб-приложения позволяют существенно уменьшить время анализа рентгенограмм, упростить расчеты костного возраста. Использование цифровых технологий дает возможность специалистам применять в рутинной клинической практике более объективные, точные и современные методы определения костного возраста, такие как метод Таннера–Уайтхауза TWIII (RUS), затрачивая на анализ рентгенограмм такое же время, как при использовании простого и менее точного метода Грейлиха–Пайла.

Заключение. Программные веб-приложения могут использоваться для оценки костного возраста в клинической практике. Применение приложений позволяет врачам использовать более точные и объективные методы определения костного возраста, сократить время исследования снимка, а также упростить процесс анализа рентгеноанатомических особенностей костей кисти и дистального отдела предплечья.

Ключевые слова: костный возраст, цифровые технологии в медицине, метод Таннера–Уайтхауза, метод Грейлиха–Пайла.

V. A. Baginskiy

EVALUATION OF THE ACCURACY AND EFFICIENCY OF WEB-BASED SOFTWARE APPLICATIONS FOR BONE AGE ASSESSMENT

Objectives. Evaluation of the accuracy of bone age assessment and efficiency of clinical use of the web-based software applications developed by the author to assess the bone age of children in the Republic of Belarus.

Materials and methods. X-ray images of the hand and wrist joint in direct projection of 600 male and female patients at the age of 2–15.9 years. Bone age determination was performed using the Greulich–Pyle method and various modifications of the Tanner–Whitehouse method (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) using paper versions of manuals and web-based software applications.

Results. The accuracy values of bone age assessment calculated using web-based software applications are comparable to the accuracy values obtained using paper versions of the Greulich–Pyle and Tanner–Whitehouse manuals. Web-based software applications can significantly reduce the time required to analyze radiographs and simplify bone age calculations. The use of digital technologies enables specialists to use more objective, accurate and complex methods of bone age assessment in routine clinical practice, such as the Tanner–Whitehouse TWIII (RUS) method, consuming the same amount of time to analyze X-ray images as when using the simple and less accurate Greulich–Pyle method.

Conclusion. *Web-based software applications can be used for bone age assessment in clinical practice. The use of applications allows clinicians to utilize more accurate and objective methods of bone age assessment, reduce examination time and simplify the process of analyzing the X-ray anatomical features of the bones of the hand and distal forearm.*

Key words: *bone age, digital technologies in medicine, Tanner-Whitehouse method, Greulich-Pyle method.*

Костный возраст является одним из ключевых показателей, отражающих физическое и половое развитие детей. Оценка костного возраста и анализ динамики его изменения играют важную роль при диагностике и лечении заболеваний эндокринной системы, низкорослости, хромосомных аномалий, нарушений полового созревания. Мониторинг костного возраста применяется для анализа эффективности терапии при эндокринных заболеваниях, выработки стратегий лечения ортопедических заболеваний, а также для прогнозирования показателей конечного роста у пациентов с эндокринопатиями [1, 2].

В клинической практике оценка костного возраста производится на основе анализа возрастных рентгеноанатомических особенностей костей на рентгенограммах кисти и дистального отдела предплечья. Это обусловлено наличием в данном сегменте конечности многочисленных центров окостенения, а также относительной безопасностью данного рентгенологического исследования [1, 3].

Учитывая большое количество центров оссификации в области кисти и дистального отдела предплечья, вариабельность порядка и сроков оссификации костей, изменчивость процессов формирования центров окостенения в различных популяциях, в настоящее время в мировой клинической практике не существует надежного универсального метода определения костного возраста. Разные методы определения костного возраста отличаются степенью точности, сложностью освоения, трудоемкостью процесса анализа рентгенограмм [3, 4].

Наибольшей популярностью среди врачей-эндокринологов и рентгенологов в мире пользуется метод Грейлиха-Пайла (GP, Greulich-Pyle). Метод основан на сравнении рентгенограммы кисти и лучезапястного сустава пациента со снимками из специализированного атласа, содержащего эталонные для разных возрастных групп рентгенограммы. Достоинства данного способа оценки костного возраста заключаются в простоте изучения и использования, анализ рентгенограммы производится за сравнительно короткий промежуток времени. Метод может применяться врачами, не обладающими большим опытом в области интерпретации возрастных рентгеноанатомических особенностей скелета.

Однако относительно простой в применении метод Грейлиха-Пайла характеризуется невысокой точностью определения костного возраста из-за

значительных временных интервалов между эталонными снимками. Также недостатком метода является его устаревание, рентгенограммы атласа не обновлялись с 1952 г., то есть не отражают специфику возрастных рентгеноанатомических особенностей современного поколения детей и подростков. Результаты оценки костного возраста, определенного с помощью атласа Грейлиха-Пайла, характеризуются высоким уровнем вариабельности показателей, обусловленной субъективизмом заключений, сделанных разными врачами [3, 4, 5].

Более объективным и точным методом определения костного возраста является метод Таннера – Уайтхауза (TW, Tanner-Whitehouse). Данный метод основан на оценке врачом стадии оссификации отдельных костей кисти и дистального отдела предплечья. Рентгенографическое изображение каждой анализируемой кости сравнивается с эталоном рентгенограммы данной кости и описанием, которое соответствуют определенной стадии оссификации кости. Каждая стадии оссификации кости характеризуется количественной оценкой, выраженной в баллах. Количественная оценка всех анализируемых костей суммируется и сравнивается с эталонным значением из таблиц руководства Таннера-Уайтхауза.

Существует несколько модификаций метода Таннера-Уайтхауза: TWII (CARPAL), TWII (RUS), TWII 20 (20 BONE), TWIII (RUS). Разные модификации отличаются типом и количеством анализируемых костей, а также формулами расчетов показателя скелетной зрелости и костного возраста.

Для метода Таннера-Уайтхауза характерна высокая точность, которая обусловлена учетом специфических рентгеноанатомических особенностей нескольких (от семи до двадцати) костей кисти и дистального отдела предплечья, что позволяет объективизировать даже минимальные изменения степени окостенения костей. Наиболее современная модификация метода TWIII (RUS) разработана в 2001 г. и учитывает актуальные для нынешнего поколения детей особенности созревания скелета, связанные с феноменом акселерации.

Несмотря на достоинства, метод Таннера-Уайтхауза не получил широкого распространения в клинической практике в связи с высокой сложностью изучения данной методики и трудоемкостью процесса анализа рентгенограмм. Применение метода Таннера-Уайтхауза требует от врача знания подробных возрастных рентгеноанатоми-

ческих характеристик различных костей, анализ рентгенограмм и расчет костного возраста занимают продолжительное время [3, 4, 6].

В настоящее время цифровые технологии получают все более широкое применение для анализа медицинских изображений, в том числе для определения костного возраста. Использование специализированного программного обеспечения позволяет упростить освоение сложных методов оценки костного возраста, повысить точность диагностики за счет учета мельчайших рентгеноанатомических деталей, уменьшить время анализа рентгенограммы и сократить количество ошибок благодаря автоматизации расчетов.

Достоинства программных приложений для определения костного возраста:

1. Повышение точности определения костного возраста. Компьютерные приложения позволяют облегчить освоение специалистами сложных объективных методов диагностики, основанных на анализе рентгеноанатомических характеристик отдельных костей. Программные приложения также предоставляют дополнительные функции, такие как масштабирование и панорамирование рентгеновских снимков, что позволяет пользователям увеличивать определенные области для более тщательного изучения. Автоматизация расчетов показателей скелетной зрелости и костного возраста позволяет уменьшить значимость человеческого фактора и тем самым понизить вероятность ошибок при расчетах.

2. Повышение эффективности работы специалиста. Стандартизация процесса определения костного возраста, автоматизация расчетов, функции поиска и навигации эталонных рентгенограмм и описаний рентгеноанатомических характеристик способствуют уменьшению времени анализа изображений [7, 8, 9, 10].

Автор разработал программные веб-приложения для определения костного возраста с применением метода Грейлиха-Пайла и метода Таннера-Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)). Два программных веб-приложения, позволяющие определять костный возраст с помощью наиболее распространенных в настоящее время методов (Грейлиха-Пайла, Таннера-Уайтхауза TWIII (RUS)), зарегистрированы в Государственном учреждении «Национальный центр интеллектуальной собственности», получены сертификаты о регистрации и депонировании объекта авторского права.

Программное приложение для определения костного возраста методом Грейлиха-Пайла позволяет врачу визуализировать на мониторе компьютера рентгенограмму исследуемого пациента, сравнивать данную рентгенограмму с эталонными снимками кисти и дистального отдела предплечья

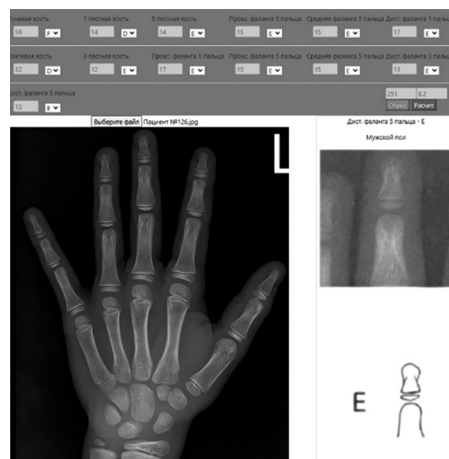


Рис. 1. Фрагмент пользовательского интерфейса приложения для определения костного возраста методом Таннера-Уайтхауза TWIII (RUS)

из атласа Грейлиха-Пайла и определять костный возраст на основании выбранного пользователем эталона.

Программные приложения для определения костного возраста с помощью метода Таннера-Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII (RUS), TWII 20 (20 BONE), TWIII (RUS)) предоставляют возможность визуализировать на мониторе компьютера рентгенограмму исследуемого пациента, сравнивать интересные области рентгенограммы с описаниями и снимками отдельных костей согласно соответствующей модификации метода Таннера-Уайтхауза, определять стадии окостенения костей, отображать количественную оценку зрелости отдельных костей и суммарный показатель скелетной зрелости, рассчитывать костный возраст на основании введенных данных о стадии окостенения анализируемых костей. На рис. 1 продемонстрирован фрагмент пользовательского интерфейса приложения для определения костного возраста методом Таннера-Уайтхауза TWIII (RUS).

Программные веб-приложения позволяют регистрировать время анализа изображения от момента загрузки рентгенограммы пациента до вынесения заключения о значении костного возраста.

Цель исследования. Оценить точность определения костного возраста и эффективность применения программных веб-приложений для определения костного возраста с помощью метода Грейлиха-Пайла и различных модификаций метода Таннера-Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)).

Точность определения костного возраста оценивалась как степень близости показателя костного возраста к величине хронологического возраста. Критерием оценки эффективности применения веб-приложений являлось время анализа рентгенограммы.

Материал и методы. Рентгенограммы кисти и лучезапястного сустава 600 пациентов мужского и женского пола в возрасте 2–15,9 лет, обращавшихся в ГКЦТиО УЗ «6-я городская клиническая больница» по поводу травм конечностей. Распределение пациентов мужского и женского пола по возрастным группам показано в табл. 1.

Этапы исследования:

1. Определение костного возраста с помощью атласа Грейлиха–Пайла, различных модификаций метода Таннера–Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) с использованием бумажных версий руководств.

2. Определение костного возраста с помощью метода Грейлиха–Пайла, различных модификаций метода Таннера–Уайтхауза (TWII (CARPAL), TWII 20 (20 BONE), TWII (RUS), TWIII (RUS)) с применением разработанных автором программных веб-приложений.

3. Сравнение показателей костного возраста и времени анализа рентгенограммы, полученных при использовании бумажной версии атласа Грейлиха–Пайла, руководств Таннера–Уайтхауза и программных веб-приложений.

4. Оценка эффективности определения костного возраста с применением традиционных методов и программных веб-приложений.

Количественные данные интерпретировались с помощью методов описательной статистики и параметрических методов. Для определения соответствия вида распределения закону нормального распределения использовался критерий Колмогорова–Смирнова. Статистическая значимость различий в двух независимых группах оценивалась с использованием t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Результат расценивался, как статистически значимый, если вероятность ошибки первого рода составляла менее 5 % ($p < 0,05$). Статистическая обработка результатов исследования производилась с использованием программного обеспечения STATISTICA 10.0 («StatSoft Inc.», США), Microsoft Excel 2016. Данные представлены в виде среднего арифметического значения (m), среднеквадратического отклонения (σ), границ 95-процентного доверительного интервала (95 % ДИ).

Результаты и обсуждение. При использовании всех версий приложений не выявлено статистически значимых различий между показателями костного возраста, рассчитанными с помощью программных веб-приложений и данными, полученными при использовании бумажных версий атласа Грейлиха–Пайла и руководств Таннера–Уайтхауза у пациентов как мужского, так и женского пола (табл. 2, 3).

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	20	20	20	18	18	18
3–3,9	20	20	20	20	20	20
4–4,9	18	18	18	20	20	20
5–5,9	20	20	20	24	24	24
6–6,9	20	20	20	18	18	18
7–7,9	20	20	20	22	22	22
8–8,9	18	18	18	24	24	24
9–9,9	20	20	20	22	22	22
10–10,9	20	20	20	20	20	20
11–11,9	24	24	24	22	22	22
12–12,9	26	26	26	24	24	24
13–13,9	26	26	26	20	–	20
14–14,9	26	26	26	22	–	22
15–15,9	22	–	22	24	–	–
Всего	300	278	300	300	–	276

Таблица 2. Разность между костным и хронологическим возрастом у пациентов мужского пола

	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Бумажная версия руководств, 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]
Программные веб-приложения, лет, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$-0,1 \pm 0,9$ [–0,2; 0,1]	$-0,4 \pm 1,1$ [–0,6; –0,3]	$0,1 \pm 0,7$ [–0,1; 0,2]	$0,7 \pm 0,8$ [0,5; 0,8]	$-0,1 \pm 0,4$ [–0,1; 0,1]
t-критерий Стьюдента, p	0,4	0,2	0,6	0,2	0,7

Таблица 3. Разность между костным и хронологическим возрастом у пациентов женского пола

	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Бумажная версия руководств, 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]
Программные веб-приложения, лет, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$-0,1 \pm 0,8$ [-0,1; 0,2]	$-0,4 \pm 1$ [-0,6; -0,3]	$0,3 \pm 0,8$ [0,1; 0,4]	$0,7 \pm 0,6$ [0,6; 0,9]	$0,2 \pm 0,5$ [0,1; 0,3]
t-критерий Стьюдента, p	0,8	0,4	0,7	0,3	0,2

Показатели костного возраста, рассчитанные с помощью программных веб-приложений, сопоставимы с показателями, полученными при использовании бумажных версий атласа Грейлиха-Пайла и руководств Таннера-Уайтхауза, поскольку при расчетах используются одинаковые эталонные изображения, описания рентгеноанатомических характеристик и количественные показатели степени зрелости костей.

В табл. 4, 5 приведены показатели времени анализа рентгенограмм при использовании программных веб-приложений и бумажных версий атласа Грейлиха-Пайла, руководств Таннера-Уайтхауза.

Выявлены статистически значимые различия между временем анализа рентгенограмм с применением бумажной версии атласа, руководств и при использовании программных веб-приложений у пациентов мужского и женского пола. Метод Грейлиха-Пайла сравнительно прост, для определения костного возраста в большинстве случаев нужно сравнить рентгенограмму пациента с 2–3 эталонными снимками. Поэтому, при применении этого метода с использованием программного приложения экономия времени незначительна, так как оценка костного возраста с помощью бумажной версии атласа также занимает незначительное время.

Наиболее выраженное уменьшение времени анализа рентгенограмм наблюдается при использовании программных веб-приложений для опре-

деления костного возраста с помощью метода Таннера-Уайтхауза. Для оценки костного возраста данным методом необходимо по отдельности определить стадию оссификации от семи до двадцати костей кисти и дистального отдела предплечья в зависимости от модификации метода.

Интерактивные инструменты веб-приложений позволяют специалисту сравнительно быстро сопоставлять представляющие интерес фрагменты рентгенограммы пациента с различными эталонными изображениями и описаниями, что значительно упрощает и ускоряет оценку стадии оссификации отдельных костей. Автоматизация расчетов коэффициента скелетной зрелости и соответствующего ему костного возраста, позволяет уменьшить время расчетов и вероятность ошибок, обусловленных человеческим фактором.

Применение программных приложений позволило существенно ускорить процесс интерпретации возрастных рентгеноанатомических особенностей костей кисти и дистального отдела предплечья, а также расчета костного возраста. Время анализа рентгенограммы при использовании веб-приложения для определения костного возраста с применением наиболее точного и актуального для современного поколения детей метода Таннера-Уайтхауза TWIII (RUS) сопоставимо с временем анализа снимка с помощью устаревшего, но наиболее широко используемого в клинической практике атласа Грейлиха-Пайла.

Таблица 4. Время анализа рентгенограммы пациентов мужского пола

	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Бумажная версия руководств, мин, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$1,5 \pm 0,5$ [1,4; 1,5]	$4 \pm 1,3$ [4; 4,2]	$11 \pm 3,2$ [10,8; 11,2]	$7 \pm 1,6$ [6,9; 7,1]	$7 \pm 1,5$ [7; 7,1]
Программные веб-приложения, мин, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$1 \pm 0,3$ [0,9; 1]	$1 \pm 0,4$ [1; 1,1]	$2,5 \pm 0,9$ [2,4; 2,5]	$1,5 \pm 0,5$ [1,4; 1,5]	$1,5 \pm 0,4$ [1,4; 1,5]
t-критерий Стьюдента, p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Таблица 5. Время анализа рентгенограммы пациентов женского пола

	GP	TWII (CARPAL)	TWII 20 (20 BONE)	TWII (RUS)	TWIII (RUS)
Бумажная версия руководств, мин, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$1,5 \pm 0,4$ [1,4; 1,5]	$4 \pm 1,4$ [4; 4,3]	$11 \pm 3,3$ [10,9; 11,3]	$7 \pm 1,5$ [7; 7,1]	$7 \pm 1,4$ [6,9; 7,1]
Программные веб-приложения, мин, $m \pm \sigma$, [95 % ДИ]	$1 \pm 0,3$ [1; 1,1]	$1 \pm 0,4$ [1; 1,2]	$2,5 \pm 0,8$ [2,3; 2,5]	$1,5 \pm 0,5$ [1,5; 1,6]	$1,5 \pm 0,3$ [1,4; 1,6]
t-критерий Стьюдента, p	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Выводы

1. Программные веб-приложения могут применяться в клинической практике, так как показатели костного возраста, рассчитанные с помощью приложений, не отличаются от показателей, полученных при использовании бумажных версий атласа Грейлиха–Пайла и руководств Таннера–Уайтхауза.

2. Применение программных веб-приложений позволяет упростить освоение врачами различных методов определения костного возраста благодаря удобной визуализации эталонных рентгенограмм и скиаграмм, простой навигации между описаниями возрастных рентгеноанатомических особенностей отдельных костей на разных стадиях процесса оссификации.

3. Программные приложения предоставляют возможность существенно уменьшить время, затрачиваемое на анализ рентгенограмм, за счет автоматизации расчетов костного возраста, использования интерактивных инструментов, позволяющих легко и быстро сопоставлять эталонные изображения и описания с интересующими фрагментами рентгенограмм пациента.

4. Простота и эффективность применения программных веб-приложений позволяет специалистам применять в рутинной клинической практике более объективные, точные и современные методы оценки костного возраста, такие как метод Таннера–Уайтхауза TWIII (RUS), при этом врач тратит на анализ рентгенограммы практически такое же время, как при использовании простого и менее точного метода Грейлиха–Пайла.

Литература

1. *Martin D. D.* et al. The use of bone age in clinical practice—part 1 // *Hormone research in paediatrics*. – 2011. – Т. 76. – № 1. – С. 1–9.
2. *Martin D. D.* et al. The use of bone age in clinical practice—part 2 // *Hormone research in paediatrics*. – 2011. – Т. 76. – № 1. – С. 10–16.
3. *De Sanctis V.* et al. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond // *Indian journal of endocrinology and metabolism*. – 2014. – Т. 18. – № . Suppl 1. – С. S63.
4. *Serinelli S.* et al. Accuracy of three age determination X-ray methods on the left hand-wrist: a systematic review and meta-analysis // *Legal medicine*. – 2011. – Т. 13. – № 3. – С. 120–133.
5. *Greulich W. W., Pyle S. I.* Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. – Stanford university press, 1959.
6. *Tanner J. M.* Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method). 3rd ed. W. B. Saunders; 2001.

7. *Yildiz M.* et al. Implementation and statistical evaluation of a web-based software for bone age assessment // *Journal of medical systems*. – 2011. – Т. 35. – С. 1485–1489.

8. *Dallora A. L.* et al. Bone age assessment with various machine learning techniques: A systematic literature review and meta-analysis // *PloS one*. – 2019. – Т. 14. – № 7. – С. e0220242.

9. *Bunch P. M.* et al. Skeletal development of the hand and wrist: digital bone age companion—a suitable alternative to the Greulich and Pyle atlas for bone age assessment? // *Skeletal radiology*. – 2017. – Т. 46. – С. 785–793.

10. *Prokop-Piotrkowska M.* et al. Traditional and new methods of bone age assessment—an overview // *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 251.

References

1. *Martin D. D.* et al. The use of bone age in clinical practice—part 1 // *Hormone research in paediatrics*. – 2011. – Т. 76. – № 1. – С. 1–9.
2. *Martin D. D.* et al. The use of bone age in clinical practice—part 2 // *Hormone research in paediatrics*. – 2011. – Т. 76. – № 1. – С. 10–16.
3. *De Sanctis V.* et al. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond // *Indian journal of endocrinology and metabolism*. – 2014. – Т. 18. – № . Suppl 1. – С. S63.
4. *Serinelli S.* et al. Accuracy of three age determination X-ray methods on the left hand-wrist: a systematic review and meta-analysis // *Legal medicine*. – 2011. – Т. 13. – № 3. – С. 120–133.
5. *Greulich W. W., Pyle S. I.* Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. – Stanford university press, 1959.
6. *Tanner J. M.* Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method). 3rd ed. W. B. Saunders; 2001.
7. *Yildiz M.* et al. Implementation and statistical evaluation of a web-based software for bone age assessment // *Journal of medical systems*. – 2011. – Т. 35. – С. 1485–1489.
8. *Dallora A. L.* et al. Bone age assessment with various machine learning techniques: A systematic literature review and meta-analysis // *PloS one*. – 2019. – Т. 14. – № 7. – С. e0220242.
9. *Bunch P. M.* et al. Skeletal development of the hand and wrist: digital bone age companion—a suitable alternative to the Greulich and Pyle atlas for bone age assessment? // *Skeletal radiology*. – 2017. – Т. 46. – С. 785–793.
10. *Prokop-Piotrkowska M.* et al. Traditional and new methods of bone age assessment—an overview // *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 251.

Поступила 05.07.2024 г.