

СТАТЕВО-ВІКОВА ДИНАМІКА ДОВЖИН П'ЯСТКОВИХ КІСТОК У ДІТЕЙ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ

I.G. Бірюк

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна

Одним із пріоритетних завдань сучасної морфології є дослідження формування та розмірів кісток скелета в різні періоди онтогенезу людини. Особливе значення має вивчення кісток кисті, оскільки саме вони чутливо відображають загальні закономірності росту, мають специфічні механічні властивості та відіграють ключову роль у функціональній організації скелета. Темпи їх розвитку відзначаються значною індивідуальною мінливістю, що підкреслює необхідність поглибленого аналізу морфометричних показників кисті.

Мета – визначення статеві-вікових особливостей та морфометричних стандартів п'ясткових кісток правої та лівої кистей у дітей періоду молодшого шкільного віку.

Матеріали і методи. Проведено ретроспективний аналіз 194-х рентгенограм кистей 107-ми хлопчиків віком 8-12 років та 87-ми дівчаток віком 8-11 років, які не мали патології кісткової системи. Морфометричні вимірювання здійснювали за стандартними рентгенографічними проекціями; для статистичної обробки використовували Microsoft Excel, результати представлені як середні значення (М) та стандартне відхилення (SD). Дослідження виконували відповідно до етичних вимог, викладених у Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (04.04.1997), Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964 р., із поправками 2013 р. Етичну експертизу дослідження здійснено Комісією з питань біомедичної етики Буковинського державного медичного університету (протокол №2 від 16.10.2025 р.), за результатами якої порушень морально-правових норм не виявлено.

Результати. В усіх дітей спостерігали приріст довжини п'ясткових кісток із віком, проте його темпи мали статеві та вікові відмінності. У дівчат пік росту припав на 9-10 років, зі швидким приростом від 3,5 до 6,6%, після чого темпи росту суттєво знижувалися. У хлопчиків максимальний приріст спостерігали у 10-11 років, він сягав 6,6% і ріст тривав довше. Асиметрія між правою та лівою кистями була мінімальною (0,5-1,5%). Отримані дані дозволяють сформулювати морфометричні стандарти довжини п'ясткових кісток для дітей обох статей у досліджуваному віковому періоді.

Висновки. П'ясткові кістки є чутливими маркерами скелетного дозрівання, демонструють виразний статевий диморфізм у темпах росту та періодах максимального розвитку. У дівчат пік приросту довжини п'ясткових кісток припадає на 9-10 років і характеризується високою інтенсивністю, що засвідчує про більш раннє настання стрибка скелетного дозрівання. У хлопців інтенсивний ріст п'ясткових кісток відзначається пізніше – у 10-11 років, і має більш тривалий період збереження активного росту, що вказує на затримку порівняно з дівчатами та триваліший період морфофункціональної перебудови.

Ключові слова:

п'ясткові кістки, морфометрія, скелетне дозрівання, діти молодшого шкільного віку, статеві-вікові особливості.

Клінічна та експериментальна патологія 2025. Т.24, № 4 (94). С. 3-8

DOI 10.24061/1727-4338.XXIV.4.94.2025.01

E-mail: biryuk.igor@bsmu.edu.ua

SEX- AND AGE-RELATED DYNAMICS OF METACARPAL BONE LENGTH IN CHILDREN OF PRIMARY SCHOOL AGE

I.G. Biryuk

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

One of the priority tasks of modern morphology is the study of the formation and dimensions of skeletal bones at different stages of human ontogenesis. The bones of the hand are of particular importance, as they sensitively reflect general growth patterns, possess specific mechanical properties, and play a key role in the functional organization of the skeleton. The rates of their development show considerable individual variability, which highlights the need for an in-depth analysis of their morphometric characteristics.

Aim – to determine sex- and age-related features and morphometric standards of the metacarpal bones of the right and left hands in children of early school age.

Key words: metacarpal bones, morphometry, skeletal maturation, early school age children, sex- and age-related characteristics.

Clinical and experimental pathology 2025. Vol. 24, № 4 (94). P. 3-8.

Material and methods. A retrospective analysis of 194 hand radiographs from 107 boys aged 8-12 years and 87 girls aged 8-11 years without skeletal pathology was performed. Morphometric measurements were carried out using standard radiographic projections. Statistical processing was performed using Microsoft Excel; results are presented as mean values (M) and standard deviation (SD).

The study was conducted in accordance with the ethical principles of the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine (04.04.1997), the Declaration of Helsinki of the World Medical Association (1964, with amendments of 2013). Ethical approval was obtained from the Biomedical Ethics Committee of Bukovinian State Medical University (Protocol No. 2, dated 16.10.2025), which confirmed the absence of violations of ethical and legal standards.

Results. All children demonstrated an age-related increase in metacarpal bone length; however, the growth rate exhibited sex and age differences. In girls, the peak growth occurred at 9-10 years with a rapid increase of 3,5-6,6%, followed by a sharp decline in growth rate. In boys, the maximum increase was observed at 10-11 years, reaching 6,6%, and growth persisted for a longer period. Asymmetry between the right and left hands was minimal (0,5-1,5%). The obtained data enable the establishment of morphometric standards for metacarpal bone length in children of both sexes within the studied age range.

Conclusions. Metacarpal bones are sensitive markers of skeletal maturation and demonstrate pronounced sexual dimorphism in growth rates and periods of maximal development. In girls, the peak increase in metacarpal bone length occurs at 9-10 years and is characterized by high intensity, indicating an earlier onset of skeletal maturation. In boys, intensive metacarpal growth is observed later – at 10-11 years – with a longer duration of active growth, suggesting a relative delay compared to girls and a more prolonged period of morphofunctional remodeling.

Вступ

Одним із важливих завдань сучасної морфології є дослідження особливостей становлення форми і величини кісток скелету на етапах онтогенезу людини, які знаходяться в корелятивній залежності від певних механічних властивостей, визначених для кожної частини осцевого і додаткового скелету, зокрема кісток кисті, якими зумовлюється та чи інша їхня роль у конструкції цілого скелета. Темпи розвитку скелета кисті мають індивідуальні відхилення, крайні межі яких можна позначити як плюс- і мінус-варіанти, що характеризують кожну вікову групу.

Саме скелет як морфофункціональна структура найбільш чутливо реагує на зміни темпів росту, гормонального фону та умов розвитку організму дитини, а тому залишається важливим об'єктом клініко-анатомічних досліджень [1-3]. На особливу увагу заслуговують кістки кисті, зокрема п'ясткові, які відіграють провідну роль у формуванні функціональної активності кисті та слугують маркерами фізіологічного дозрівання. Простота та доступність їх візуалізації за допомогою променевих методів обстеження дає змогу визначати «кістковий вік» та оцінювати темпи скостеніння в дітей [4, 5].

Рентгенографія кисті та променево-зап'ясткового суглоба залишається базовим методом об'єктивної оцінки процесів скелетного дозрівання в дитячому віці. Її результати дають змогу аналізувати появу, послідовність і ступінь розвитку епіфізарних ядер скостеніння та момент настання синостозів, що є візуальними критеріями біологічного віку [6-8]. Лінійні характеристики п'ясткових кісток, зокрема, їхня довжина, товщина та діаметр, мають високий діагностичний потенціал, оскільки відображають не лише локальні особливості росту кисті, а й загальну

Клінічна та експериментальна патологія. 2025. Т.24, № 4 (94)

динаміку розвитку кісткової системи [9]. Саме визначення вікових та статевих закономірностей зміни морфометричних параметрів п'ясткових кісток є важливим елементом комплексної оцінки росту, що може бути використано у клінічній ендокринології, ортопедії та медико-правовій практиці.

Сучасні методи аналізу рентгенівських зображень передбачають інтеграцію автоматизованих систем оцінки кісткового віку, які забезпечують високу відтворюваність, зменшують суб'єктивність і розширюють можливості стандартизації морфометричних вимірювань [10-13].

Значення дослідження п'ясткових кісток посилюється потребою у своєчасній діагностиці ендокринних порушень, затримки росту різного генезу, та станів, пов'язаних із дисгармонійністю фізичного розвитку. Кістковий вік є незалежним маркером біологічної зрілості й широко використовується для оцінки відповідності фізичного та статевого дозрівання віковим нормам, виявлення передчасного або затримки статевого розвитку, затримки та випередження паспортного віку, а також для прогнозування остаточного зросту [5, 8, 14]. До того ж, визначення морфометричних характеристик п'ясткових кісток має практичне значення у фаховій судово-медичній експертизі, де встановлення біологічного віку є необхідною складовою [6].

Популяційні дослідження демонструють, що темпи скостеніння та морфометричні параметри елементів кисті можуть варіювати залежно від етнічних і регіональних особливостей, а тому актуальними є локальні дослідження, спрямовані на формування референсних показників для конкретних вікових груп [9, 15]. Вивчення статево-вікової динаміки довжин п'ясткових кісток у дітей молодшого шкільного віку дає змогу не лише

ISSN 1727-4338 <https://www.bsmu.edu.ua>

охарактеризувати закономірності нормального розвитку, а й створити основу для диференційної діагностики патології росту та вдосконалення методичних підходів до оцінки морфологічного віку.

Отже, дослідження морфометричних параметрів п'ясткових кісток у дітей молодшої шкільної групи є актуальним як у науковому, так і практичному аспекті. Воно дозволяє поглибити уявлення про закономірності нормального скелетного розвитку, визначити статеві відмінності у темпах росту, а також підвищити точність клінічних підходів, що базуються на оцінці кісткового віку.

Мета роботи

Встановити статево-вікові особливості та морфометричні стандарти розмірів п'ясткових кісток правої і лівої кистей у дітей у періоді молодшого шкільного віку.

Матеріал і методи дослідження

Дослідження морфометричних параметрів п'ясткових кісток правої та лівої кистей у дітей молодшого шкільного віку (дівчатка 8-11 років, хлопчики – 8-12 років) було проведене шляхом ретроспективного аналізу 194 рентгенограм кистей пацієнтів віком від 8 до 12 років (хлопчики) та від 8 до 11 років (дівчатка), які перебували на стаціонарному або амбулаторному лікуванні у відділенні дитячої травматології лікарні швидкої медичної допомоги м. Чернівці. Загальна вибірка включала 107 хлопчиків та 87 дівчат, які не мали ознак патології кісткової системи, що могло б вплинути на ріст чи морфометричні показники п'ясткових кісток. Дослідження здійснювали в межах співпраці з лікувальним закладом відповідно до укладеного договору.

Морфометричні вимірювання проводили безпосередньо за рентгенограмами з урахуванням стандартних проєкцій, відповідно до методичних рекомендацій рентгеноостеометричного аналізу. Для статистичного опрацювання отриманих даних використовували програму «Microsoft Excel». Результати представлені у вигляді середніх значень (M) та стандартного відхилення (SD).

Дослідження виконували відповідно до етичних вимог, викладених у Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (04.04.1997), Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964 р., із поправками 2013 р.). Етичну експертизу дослідження проведено Комісією з питань біомедичної етики Буковинського державного медичного університету (протокол №2 від 16.10.2025 р.), за результатами якої порушень морально-правових норм не виявлено.

Дослідження є фрагментом планової комплексної теми кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії і кафедри анатомії людини імені М.Г. Туркевича Буковинського державного медичного університету «Закономірності статево-вікової будови та топографоанатомічних перетворень органів і структур організму на пре- та постнатальному етапах онтогенезу. Особливості перинатальної анатомії та ембріотопографії», № Клінічна та експериментальна патологія. 2025. Т.24, № 4 (94)

державної реєстрації 0120U101571).

Результати та їх обговорення

На рентгенограмах скелету правої і лівої кистей дітей молодшого шкільного віку проведено оцінку довжини п'ясткових кісток у дітей залежно від віку та статі (табл. 1).

Таблиця 1

Довжина п'ясткових кісток дітей дошкільного віку залежно від статі

Стать	Чоловіча		Жіноча	
Кисть	права	ліва	права	ліва
Перша п'ясткова кістка				
8 років	3,10±0,02	3,07±0,03	2,90±0,09	2,93±0,08
9 років	3,17±0,01	3,18±0,01	3,12±0,09	3,14±0,09
10 років	3,23±0,01	3,27±0,03	3,23±0,05	3,27±0,05
11 років	3,42±0,03	3,41±0,02	3,36±0,09	3,47±0,06
12 років	3,50±0,01	3,52±0,02	-	-
Друга п'ясткова кістка				
8 років	4,75±0,02	4,71±0,03	4,54±0,03	4,59±0,03
9 років	4,86±0,03	4,91±0,05	4,71±0,06	4,76±0,03
10 років	4,93±0,03	4,98±0,05	4,92±0,05	4,97±0,04
11 років	5,17±0,04	5,11±0,06	5,12±0,02	5,19±0,08
12 років	5,23±0,05	5,30±0,03	-	-
Третя п'ясткова кістка				
8 років	4,45±0,03	4,48±0,03	4,33±0,03	4,38±0,04
9 років	4,55±0,03	4,60±0,04	4,54±0,03	4,59±0,05
10 років	4,72±0,04	4,79±0,05	4,75±0,03	4,80±0,05
11 років	4,92±0,03	4,98±0,04	4,91±0,04	4,98±0,04
12 років	5,03±0,07	5,12±0,05	-	-
Четверта п'ясткова кістка				
8 років	3,84±0,03	3,91±0,04	3,80±0,05	3,90±0,09
9 років	3,92±0,06	3,99±0,04	3,97±0,01	4,06±0,06
10 років	4,05±0,04	4,15±0,07	4,19±0,05	4,25±0,04
11 років	4,29±0,04	4,37±0,05	4,37±0,03	4,43±0,06
12 років	4,45±0,04	4,52±0,04	-	-
П'ята п'ясткова кістка				
8 років	3,53±0,03	3,58±0,04	3,49±0,05	3,56±0,05
9 років	3,58±0,05	3,65±0,03	3,62±0,05	3,68±0,05
10 років	3,71±0,05	3,77±0,05	3,86±0,04	3,92±0,05
11 років	3,95±0,05	4,02±0,06	4,06±0,04	4,11±0,06
12 років	4,11±0,05	4,16±0,05	-	-

У результаті проведеного аналізу встановлено чіткі вікові та статеві закономірності росту п'ясткових кісток у дітей молодшого шкільного віку. Довжина всіх п'ясткових кісток збільшувалась із віком, однак темпи приросту дещо різнилися між хлопчиками та дівчатами.

У дівчат найвищі темпи росту всіх п'ясткових кісток спостерігали у віці 9-10 років, коли річний приріст становив: I п'ясткова кістка: +3,5-4,8%, II п'ясткова кістка: +4,5-6,6%, III п'ясткова кістка: +4,6-5,7%, IV п'ясткова кістка: +4,9-5,7%, V п'ясткова кістка: +5,3-6,3%.

Після 10 років динаміка росту в дівчат істотно сповільнювалася, що узгоджується з наближенням до пубертатного розвитку. У віці 11 років приріст окремих кісток знижувався до 1,5-3,4%.

У хлопчиків, навпаки, найвища інтенсивність росту була зафіксована у 10-11 років, коли річне

збільшення довжини становило: I п'ястка: +5,9-6,2%, II п'ястка: +4,9-5,4%, III п'ястка: +3,8-4,5%, IV п'ястка: +4,8-6,0%, V п'ястка: +6,0-6,6%.

До 12 років приріст зберігався, хоча знижувався до 1,2-3,5%. Це свідчить про триваліший період активного росту у хлопців порівняно з дівчатами.

Асиметрія між правою і лівою кистями була мінімальною, коливалася в межах 0,5-1,5% і не мала вираженого системного характеру. Дещо вищі значення спостерігалися на лівій кисті у хлопчиків 12 років та на правій кисті у дівчат у 10 років.

Знайдені нами дані корелюють із результатами, отриманими в класичних довгострокових спостереженнях Цюрихського дослідження, де встановлено, що довжина й товщина п'ясткових кісток у дітей демонструють різко прискорений ріст перед пубертатом із більш раннім піком у дівчаток [16]. Схожі закономірності підтверджені у південноафриканських дослідженнях, де темпи росту метакарпальних кісток також виявляли статеві відмінності, з більш раннім підйомом кривої росту в дівчат та збереженням інтенсивного росту до більш пізнього віку у хлопчиків [17,20]. Наші результати узгоджуються і з рентгено-денситометричними оцінками п'ясткових кісток у дітей, де виявлено однозначне статеве випередження дівчатами щодо скелетного дозрівання та довжини кісткових структур [18].

Особливо важливо, що встановлені закономірності спостерігалися для всіх п'ясткових кісток, проте з певними морфометричними нюансами. Найбільший відносний приріст у пікові роки реєструвався для II, III та V п'ясткових кісток, що узгоджується з результатами автоматизованих аналізів кісток кисті, отриманих із застосуванням BoneXpert у дітей різних популяцій [19,22]. І хоча абсолютні значення довжини п'ясткових кісток у хлопчиків у 11-12 років були загалом вищими, ніж у дівчаток, дівчата продемонстрували виразнішу та різкішу динаміку росту на рік раніше, тоді як у хлопців траплявся більш помірний, але довший період активного збільшення кісткової довжини.

Цікаво, що наші дані також підтверджують концепцію тимчасової морфологічної «крижості» кістки в періоди швидкого росту, описану Wang et al., які продемонстрували зниження кортикальної товщини в період стрибка росту довгих трубчастих кісток [24]. З огляду на аналогічні закономірності, отримані для п'ясткових кісток нашої вибірки, можна припустити, що інтенсивний приріст довжини може супроводжуватися тимчасовими змінами мінералізації та структурної стабільності досліджуваних кісток, що має клінічне значення для оцінки ризику травм у дітей і підлітків.

Анатомічні взаємозв'язки між довжиною, шириною та епіфізарними площами п'ясткових кісток, продемонстровані в анатомічних дослідженнях Sephien et al. [25], підтверджують, що зміни довжини метакарпальних кісток тісно пов'язані з перебудовою їх епіфізарних зон. Це пояснює виявлену нами синхронність ростових хвиль між різними метакарпальними кістками та

узгоджується з морфофункціональною концепцією пропорційного скелетного росту кисті. Додатково отримані дані корелюють із цифровими атласами скелетного віку, де відображено подібні закономірності статевого диморфізму та більш раннього інтенсивного росту п'ясткових кісток у дівчат [23].

Методичні дослідження цифрової оцінки кісткового віку свідчать, що метакарпальні індекси є чутливими маркерами темпів скелетного дозрівання й можуть використовуватися для оцінювання темпів росту навіть при мінімальних вікових змінах [21,22]. Це повністю підтверджується нашими даними, де п'ясткові кістки виявили високу варіабельність росту між статями і віковими групами вже на інтервалі в один рік. Зокрема, дівчата демонстрували на 2,5-3,5% швидший ріст у віці 9-10 років, тоді як хлопці – на 1,0-1,8% інтенсивніший ріст у 10-11 років. Такі відмінності підкреслюють необхідність використання статеві-специфічних норм при оцінці кісткового віку та діагностичній інтерпретації рентгенологічних даних у педіатричній практиці.

У цілому отримані результати підтверджують загальноприйнятую концепцію статевого диморфізму скелетного дозрівання, включаючи більш раннє дозрівання кісток кисті у дівчат та пізніше збільшення довжини кісток у хлопців на завершальних етапах препубертатного розвитку. Узгодження наших даних з численними міжнародними та анатомо-рентгенологічними дослідженнями [16-25] свідчить про високу відтворюваність виявлених закономірностей та їх значущість для клінічної оцінки скелетного дозрівання.

Висновки

1. У дітей молодшого шкільного віку довжина п'ясткових кісток збільшується з віком, проте темпи росту мають статеві-вікові відмінності.

2. У дівчат пік приросту довжини п'ясткових кісток припадає на 9-10 років і характеризується високою інтенсивністю, що свідчить про більш раннє настання стрибка скелетного дозрівання.

3. У хлопців інтенсивний ріст п'ясткових кісток відзначається пізніше – у 10-11 років, і має більш тривалий період збереження активного росту, що вказує на затримку у порівнянні з дівчатами та триваліший період морфофункціональної перебудови.

4. П'ясткові кістки є чутливими маркерами темпів скелетного росту та дозрівання, тому їх морфометричне оцінювання може бути корисним для діагностики затримок або прискореного розвитку скелета у дітей.

6. Отримані результати підкреслюють необхідність використання статеві-специфічних норм при оцінці кісткового віку та плануванні медичних втручань, спрямованих на корекцію порушень росту.

Перспективи подальших досліджень

Вивчити темпи росту п'ясткових кісток та статеві-вікові відмінності у старших вікових групах

для формування повних норм скелетного дозрівання у дітей та підлітків.

Список літератури

1. Umer M, Eshmawi AA, Alnowaiser K, Mohamed A, Alrashidi H, Ashraf I. Skeletal age evaluation using hand X-rays to determine growth problems. *PeerJ Comput Sci* [Internet]. 2023[cited 2025 Nov 29];9:e1512. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10702717/pdf/peerj-cs-09-1512.pdf> doi: 10.7717/peerj-cs.1512
2. Yuan W, Fan P, Zhang L, Pan W, Zhang L. Bone Age Assessment Using Various Medical Imaging Techniques Enhanced by Artificial Intelligence. *Diagnostics (Basel)* [Internet]. 2025[cited 2025 Nov 29];15(3):257. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-4418/15/3/257> doi: 10.3390/diagnostics15030257
3. Booz C, Yel I, Wichmann JL, Boettger S, Al Kamali A, Albrecht MH, et al. Artificial intelligence in bone age assessment: accuracy and efficiency of a novel fully automated algorithm compared to the Greulich-Pyle method. *Eur Radiol Exp* [Internet]. 2020[cited 2025 Dec 05];4(1):6. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6987270/pdf/41747_2019_Article_139.pdf doi: 10.1186/s41747-019-0139-9
4. van Rijn RR, Thodberg HH. Bone age assessment: automated techniques coming of age? *Acta Radiol*. 2013;54(9):1024-9. doi: 10.1258/ar.2012.120443
5. De Sanctis V, Di Maio S, Soliman AT, Raiola G, Elalaily R, Millimaggi G. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond. *Indian J Endocrinol Metab*. 2014;18(Suppl 1):S63-71. doi: 10.4103/2230-8210.145076
6. Creo AL, Schwenk WF 2nd. Bone Age: A Handy Tool for Pediatric Providers. *Pediatrics*. 2017;140(6):e20171486. doi: 10.1542/peds.2017-1486
7. Satoh M. Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clin Pediatr Endocrinol*. 2015;24(4):143-52. doi: 10.1297/cpe.24.143
8. Mohammed RB, Reddy MA, Jain M, Singh JR, Sanghvi P, Thetay AA. Digital radiographic evaluation of hand-wrist bone maturation and prediction of age in South Indian adolescents. *Hand (N Y)*. 2014;9(3):375-83. doi: 10.1007/s11552-013-9598-2
9. Spampinato C, Palazzo S, Giordano D, Aldinucci M, Leonardi R. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images. *Med Image Anal*. 2017;36:41-51. doi: 10.1016/j.media.2016.10.010
10. Bui TD, Lee JJ, Shin J. Incorporated region detection and classification using deep convolutional networks for bone age assessment. *Artif Intell Med*. 2019;97:1-8. doi: 10.1016/j.artmed.2019.04.005
11. Martin DD, Wit JM, Hochberg Z, Säwendahl L, van Rijn RR, Fricke O, et al. The use of bone age in clinical practice - part 1. *Horm Res Paediatr*. 2011;76(1):1-9. doi: 10.1159/000329372
12. Choukair D, Hückmann A, Mittnacht J, Breil T, Schenk JP, Alrajab A, et al. Near-Adult Heights and Adult Height Predictions Using Automated and Conventional Greulich-Pyle Bone Age Determinations in Children with Chronic Endocrine Diseases. *Indian J Pediatr*. 2022;89(7):692-8. doi: 10.1007/s12098-021-04009-8
13. Mohammed RB, Kalyan VS, Tircouveluri S, Vegesna GC, Chirila A, Varma DM. The reliability of Fishman method of skeletal maturation for age estimation in children of South Indian population. *J Nat Sci Biol Med*. 2014;5(2):297-302. doi: 10.4103/0976-9668.136170
14. Luo S, Fan F, Liu M, Qiu LR, Zhan MJ, Zhou YC, et al. Age assessment of Chinese Tibetan twins using multiple skeletal age estimation methods: A case report. *Leg Med (Tokyo)* [Internet]. 2025[cited 2025 Dec 05];72:102558. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622324001688?via%3Dihub> doi: 10.1016/j.legalmed.2024.102558
15. Maggio A, Flavel A, Hart R, Franklin D. Skeletal age estimation in a contemporary Western Australian population using the Tanner-Whitehouse method. *Forensic Sci Int*. 2016;263:e1-e8. doi: 10.1016/j.forsciint.2016.03.042
16. Martin DD, Heckmann C, Jenni OG, Ranke MB, Binder G, Thodberg HH. Metacarpal thickness, width, length and medullary diameter in children – reference curves from the First Zürich Longitudinal Study. *Osteoporos Int*. 2011;22(5):1525-36. doi: 10.1007/s00198-010-1389-9
17. Magan A, Nyati LH, Micklesfield LK, Norris SA, Pettifor JM. Metacarpal growth during adolescence in a longitudinal South African cohort. *J Bone Miner Res*. 2017;32(9):1926-34. doi: 10.1002/jbmr.3179
18. Martin DD, Heckmann C, Neuhof J, Jenni OG, Ranke MB, Binder G. Comparison of radiogrammetrical metacarpal indices in children and reference data from the First Zurich Longitudinal Study. *Pediatr Radiol*. 2012;42(8):982-91. doi: 10.1007/s00247-012-2390-6
19. Zhang J, Lin F, Ding X. Maturation disparity between hand-wrist bones in a Chinese sample of normal children: analysis based on automatic BoneXpert and Greulich-Pyle assessment. *Korean J Radiol*. 2016;17(3):435-42. doi: 10.3348/kjr.2016.17.3.435
20. Schoenbuchner SM, Pettifor JM, Norris SA, Micklesfield LK, Prentice A, Ward KA. Ethnic differences in peripheral skeletal development among urban South African adolescents: a ten-year longitudinal pQCT study. *J Bone Miner Res*. 2017;32(12):2355-66. doi: 10.1002/jbmr.3279
21. Bala M, Pathak A, Jain RL. Assessment of skeletal age using MP3 and hand-wrist radiographs and its correlation with dental and chronological ages in children. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2010;28(2):95-9. doi: 10.4103/0970-4388.66746
22. Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE Trans Med Imaging*. 2009;28(1):52-66. doi: 10.1109/tmi.2008.926067
23. Gilsanz V, Ratib O. *Hand Bone Age: A Digital Atlas of Skeletal Maturity*. Springer; 2005, p. 12-104.
24. Wang Q, Wang XF, Iuliano-Burns S, Ghasem-Zadeh A, Zebaze R, Seeman E. Rapid growth produces transient cortical weakness: a risk factor for metaphyseal fractures during puberty. *J Bone Miner Res*. 2010;25(7):1521-6. doi: 10.1002/jbmr.46
25. Sephien A, Bethel CF, Gulick D, Nairn C, Oum F, Schwartz-Fernandes FA. Inter-relationships of Metacarpals 1 to 5, Regarding Their Length, Metaphyseal Midshaft Width, Articular Surface Area of Head and Base, Age, and Sex: A Cadaveric Study. *Hand (N Y)*. 2021;16(5):706-13. doi: 10.1177/1558944719880026

References

1. Umer M, Eshmawi AA, Alnowaiser K, Mohamed A, Alrashidi H, Ashraf I. Skeletal age evaluation using hand X-rays to determine growth problems. *PeerJ Comput Sci* [Internet]. 2023[cited 2025 Nov 29];9:e1512. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10702717/pdf/peerj-cs-09-1512.pdf> doi: 10.7717/peerj-cs.1512
2. Yuan W, Fan P, Zhang L, Pan W, Zhang L. Bone Age Assessment Using Various Medical Imaging Techniques Enhanced by Artificial Intelligence. *Diagnostics (Basel)* [Internet]. 2025[cited 2025 Nov 29];15(3):257. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-4418/15/3/257> doi: 10.3390/diagnostics15030257
3. Booz C, Yel I, Wichmann JL, Boettger S, Al Kamali A, Albrecht MH, et al. Artificial intelligence in bone age assessment: accuracy and efficiency of a novel fully automated algorithm compared to the Greulich-Pyle method. *Eur Radiol Exp* [Internet]. 2020[cited 2025 Dec 05];4(1):6. Available from: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6987270/pdf/41747_2019_Article_139.pdf

- 019_Article_139.pdf doi: 10.1186/s41747-019-0139-9
4. van Rijn RR, Thodberg HH. Bone age assessment: automated techniques coming of age? *Acta Radiol.* 2013;54(9):1024-9. doi: 10.1258/ar.2012.120443
 5. De Sanctis V, Di Maio S, Soliman AT, Raiola G, Elalaily R, Millimaggi G. Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond. *Indian J Endocrinol Metab.* 2014;18(Suppl 1):S63-71. doi: 10.4103/2230-8210.145076
 6. Creo AL, Schwenk WF 2nd. Bone Age: A Handy Tool for Pediatric Providers. *Pediatrics.* 2017;140(6):e20171486. doi: 10.1542/peds.2017-1486
 7. Satoh M. Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clin Pediatr Endocrinol.* 2015;24(4):143-52. doi: 10.1297/cpe.24.143
 8. Mohammed RB, Reddy MA, Jain M, Singh JR, Sanghvi P, Thetay AA. Digital radiographic evaluation of hand-wrist bone maturation and prediction of age in South Indian adolescents. *Hand (N Y).* 2014;9(3):375-83. doi: 10.1007/s11552-013-9598-2
 9. Spampinato C, Palazzo S, Giordano D, Aldinucci M, Leonardi R. Deep learning for automated skeletal bone age assessment in X-ray images. *Med Image Anal.* 2017;36:41-51. doi: 10.1016/j.media.2016.10.010
 10. Bui TD, Lee JJ, Shin J. Incorporated region detection and classification using deep convolutional networks for bone age assessment. *Artif Intell Med.* 2019;97:1-8. doi: 10.1016/j.artmed.2019.04.005
 11. Martin DD, Wit JM, Hochberg Z, Säwendahl L, van Rijn RR, Fricke O, et al. The use of bone age in clinical practice - part 1. *Horm Res Paediatr.* 2011;76(1):1-9. doi: 10.1159/000329372
 12. Choukair D, Hückmann A, Mitnacht J, Breil T, Schenk JP, Alrajab A, et al. Near-Adult Heights and Adult Height Predictions Using Automated and Conventional Greulich-Pyle Bone Age Determinations in Children with Chronic Endocrine Diseases. *Indian J Pediatr.* 2022;89(7):692-8. doi: 10.1007/s12098-021-04009-8
 13. Mohammed RB, Kalyan VS, Tircouveluri S, Vegesna GC, Chirila A, Varma DM. The reliability of Fishman method of skeletal maturation for age estimation in children of South Indian population. *J Nat Sci Biol Med.* 2014;5(2):297-302. doi: 10.4103/0976-9668.136170
 14. Luo S, Fan F, Liu M, Qiu LR, Zhan MJ, Zhou YC, et al. Age assessment of Chinese Tibetan twins using multiple skeletal age estimation methods: A case report. *Leg Med (Tokyo) [Internet].* 2025[cited 2025 Dec 05];72:102558. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1344622324001688?via%3Dihub> doi: 10.1016/j.legalmed.2024.102558
 15. Maggio A, Flavel A, Hart R, Franklin D. Skeletal age estimation in a contemporary Western Australian population using the Tanner-Whitehouse method. *Forensic Sci Int.* 2016;263:e1-e8. doi: 10.1016/j.forsciint.2016.03.042
 16. Martin DD, Heckmann C, Jenni OG, Ranke MB, Binder G, Thodberg HH. Metacarpal thickness, width, length and medullary diameter in children – reference curves from the First Zürich Longitudinal Study. *Osteoporos Int.* 2011;22(5):1525-36. doi: 10.1007/s00198-010-1389-9
 17. Magan A, Nyati LH, Micklesfield LK, Norris SA, Pettifor JM. Metacarpal growth during adolescence in a longitudinal South African cohort. *J Bone Miner Res.* 2017;32(9):1926-34. doi: 10.1002/jbmr.3179
 18. Martin DD, Heckmann C, Neuhof J, Jenni OG, Ranke MB, Binder G. Comparison of radiogrammetrical metacarpal indices in children and reference data from the First Zurich Longitudinal Study. *Pediatr Radiol.* 2012;42(8):982-91. doi: 10.1007/s00247-012-2390-6
 19. Zhang J, Lin F, Ding X. Maturation disparity between hand-wrist bones in a Chinese sample of normal children: analysis based on automatic BoneXpert and Greulich-Pyle assessment. *Korean J Radiol.* 2016;17(3):435-42. doi: 10.3348/kjr.2016.17.3.435
 20. Schoenbuchner SM, Pettifor JM, Norris SA, Micklesfield LK, Prentice A, Ward KA. Ethnic differences in peripheral skeletal development among urban South African adolescents: a ten-year longitudinal pQCT study. *J Bone Miner Res.* 2017;32(12):2355-66. doi: 10.1002/jbmr.3279
 21. Bala M, Pathak A, Jain RL. Assessment of skeletal age using MP3 and hand-wrist radiographs and its correlation with dental and chronological ages in children. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2010;28(2):95-9. doi: 10.4103/0970-4388.66746
 22. Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE Trans Med Imaging.* 2009;28(1):52-66. doi: 10.1109/tmi.2008.926067
 23. Gilsanz V, Ratib O. *Hand Bone Age: A Digital Atlas of Skeletal Maturity.* Springer; 2005, p. 12-104.
 24. Wang Q, Wang XF, Iuliano-Burns S, Ghasem-Zadeh A, Zebaze R, Seeman E. Rapid growth produces transient cortical weakness: a risk factor for metaphyseal fractures during puberty. *J Bone Miner Res.* 2010;25(7):1521-6. doi: 10.1002/jbmr.46
 25. Sephien A, Bethel CF, Gulick D, Nairn C, Oum F, Schwartz-Fernandes FA. Inter-relationships of Metacarpals 1 to 5, Regarding Their Length, Metaphyseal Midshaft Width, Articular Surface Area of Head and Base, Age, and Sex: A Cadaveric Study. *Hand (N Y).* 2021;16(5):706-13. doi: 10.1177/1558944719880026

Відомості про автора:

Бірюк І. Г. – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри медицини катастроф та військової медицини Буковинського державного медичного університету, м. Чернівці, Україна.

E-mail: biryuk.igor@bsmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-2808>

Information about author:

Biryuk I. – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi; Ukraine.

E-mail: biryuk.igor@bsmu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8171-2808>

Дата першого надходження рукопису до видання: 14.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 02.11.2025

Дата публікації: 25.12.2025

