

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Baibakov V. M.: <https://orcid.org/0000-0001-8632-103X>^{ABD}
Abramov S. V.: <https://orcid.org/0000-0002-7088-1865>^F
Ostrovskaya S. S.: <https://orcid.org/0000-0002-0373-3491>^{EF}
Khobotova N. V.: <https://orcid.org/0000-0003-3945-423X>^B
Rodionov V. K.: <https://orcid.org/0009-0007-3454-0514>^A
Antonova O. V.: <https://orcid.org/0000-0002-5681-288X>^C
Tereshchenko N. M.: <https://orcid.org/0000-0001-6380-2551>^{BC}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Baibakov Volodymyr Mykhailovych / Байбаков Володимир Михайлович
European Medical University / Європейський медичний університет
Ukraine, 49005, Dnipro, 3 Academician Georgy Dzyak str. / Адреса: Україна, 49005, м. Дніпро, вул. Академіка
Георгія Дзяка 3
Tel.: 0509198547 / Тел.: 0509198547
E-mail: baybakov-vm@ukr.net

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 17.07.2025 / Стаття надійшла 17.07.2025 року
Accepted 10.11.2025 / Стаття прийнята до друку 10.11.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-293-305

UDC 616.71-001.52:612.65]-053-055

¹Biriuk I. G., ¹Khmara T. V., ²Marceniak I. V., ¹Kukovs'ka I. L., ³Marchuk O. F.

SEX- AND AGE-RELATED FEATURES OF POSTNATAL MORPHOGENESIS AND OSSIFICATION OF THE HUMAN HAND BONES

¹Bukovinian State Medical University (Chernivtsi, Ukraine)

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi, Ukraine)

³Chernivtsi Emergency Medical Hospital (Chernivtsi, Ukraine)

biryuk.igor@bsmu.edu.ua

The article presents the results of a study of age-related features of ossification of the hand bones in children as indicators of morphological differentiation and of "bone age" determination. Based on the analysis of 124 radiographs, 43 computer tomograms and 12 three-dimensional reconstructions of the skeleton of the hand in children aged from newborn to 12 years, the timing, sequence and symmetry of the appearance of ossification points in the carpal and metacarpal bones and phalanges of the fingers were established. Regularities in the dynamics of ossification were revealed; in particular, the process begins in the 1st year of life, when nuclei appear in the capitate and hook bones. Later, ossification sequentially occurs in the triquetral bone, lunate bone, scaphoid bone, trapezoid bone, trapezium bone and, lastly, pisiform bone (9-12 years). The intensity of growth and the increase in bone-nucleus size were monitored, as well as a slight physiological asymmetry in ossification (1-3 months) between the bones of the right and left hands. The results emphasize the diagnostic and prognostic value of bone age assessment as a more informative indicator of physical development compared to chronological age. It is noted that a comprehensive assessment of the body's condition requires a combination of morphological and functional research methods.

Key words: bone age, bones, ossification, ossification centers, hand skeleton, physical development.

Connection of the publication with planned research work.

The study is a fragment of the complex topic of the Department of Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery "Sexual and Age Patterns of Ontogenetic Transformations and Morphometric Parameters of Organs and Structures under Normal and Experimental Conditions. Morpho-Functional and Anthropometric Features of the Musculoskeletal System of Athletes" (state registration number 0125U001531).

Introduction.

The human body develops from fertilization to death, but each period of pre- and postnatal ontogenesis has its own characteristics [1]. For childhood, the most characteristic features are intensive development, growth and maturation. The development and growth of the child's body are, as is known, not only a quantitative increase in body size and weight; it is a rather complex biological process, accompanied by profound qualitative changes in the morphological, structural differentiation of all organs, tissues and the body as a whole [2]. At the same time, it should be emphasized that the energy of

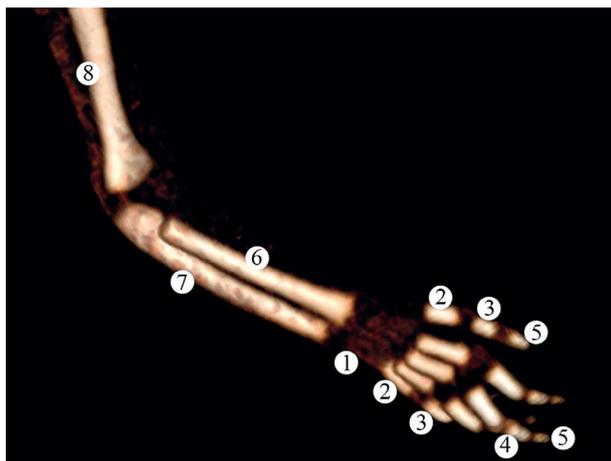


Figure 1 – Three-dimensional computer reconstruction of the bones of the free part of the right upper limb of a newborn human. Posterior-lateral projection. Magnification: 1.3x. Designation: 1 – wrist; 2 – metacarpal bones; 3 – proximal phalanges of the fingers; 4 – middle phalanx of the finger; 5 – terminal phalanges of the fingers; 6 – radius; 7 – ulna; 8 – humerus.

the body's development, both in terms of growth and differentiation, can vary significantly across different age stages. A certain part of children shows accelerated or slowed energy in the body's development, which is associated with normal differentiation occurring earlier than in most children, or later in life [3, 4].

The constitutional features of a child during its growth period (newborns, infants, toddlers, preschool children, younger school-age children, and older school-age children) and differentiation are a number of transitional properties that are more or less established at certain developmental stages [4].

In light of modern data of age osteology on the evolutionary features of the child's organism, an individual assessment of the child's physical development based only on anthropometric standards is, first of all, insufficient [5, 6]. We cannot characterize a child's physiological age solely on the basis of the correspondence between his body size and weight and age norms [7, 8]. In our opinion, such a characteristic is incomplete, roughly approxi-



Figure 2 – Skeleton bones of the left hand of a 6-month-old girl. Photoradiogram. Direct projection.

mate and most often erroneous. It should be noted that the actual level of physical development of a child can be established only on the basis of data on his age-related morphological and functional differentiation [9]. It is known that passport age is less accurate than "bone" age, and when assessing the features of morphogenesis, age-related and involutive changes in the tissues of the musculoskeletal system, accurate data on the timing and sequence of the appearance of primary and secondary ossification centers in the bones of the human skeleton are of important applied value [10]. Based on the state of development of the skeletal system and the timing of the appearance of ossification points, in particular the carpal bones, one can judge the "bone age", which reflects the morphological differentiation of the entire organism [11, 12].

According to V. S. Pikalyuk, A. Yu. Osmanov [13] defines the term of appearance of the triquetral bone nucleus as the number of its faces (3 years); in the future, it is sufficient to add 1 year to each adjacent one (clockwise) to obtain the term of ossification. As a result, the order of ossification of the carpal bones will be as follows: capitate bone (2 months), hamate bone (3 months), triquetral bone (3 years), lunate bone (4 years), scaphoid bone (5 years), trapezium bone and trapezoid bone (5 and 6 years). The term of appearance of the pisiform bone ossification nucleus is 6.5-16.5 years.

Using the X-ray method, it is possible to detect indicators of peculiarities and violations in the evolution of the organism and developmental anomalies [14]. The most common forms of ossification anomalies are delays or acceleration of the rate of ossification [15]. These anomalies are caused by exogenous and endogenous

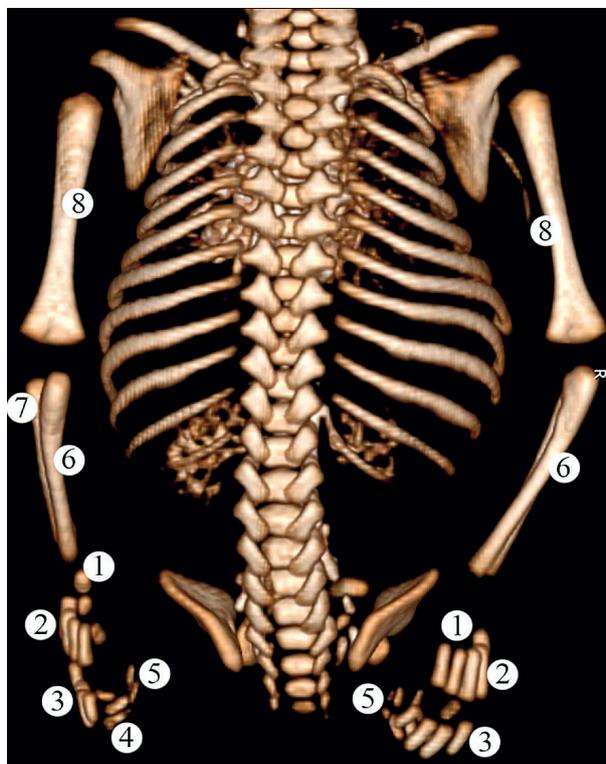


Figure 3 – Three-dimensional computer reconstruction of the bones of the skeleton of a newborn. Posterior view. Magnification: 1.9x. Designation: 1 – capitate bones; 2 – metacarpal bones; 3 – proximal phalanges of the fingers; 4 – middle phalanx of the finger; 5 – terminal phalanges of the fingers; 6 – ulna; 7 – left radius; 8 – humerus.

factors that affect the child's development (nutritional conditions, living conditions, prior diseases, etc.) [16]. Therefore, establishing the peculiarities of ossification of the bones of the hand skeleton, their terms and rates at different stages of the postnatal period of human ontogenesis under normal conditions, is an urgent task of modern-age osteology [17, 18].

The aim of the study.

To determine the timing, sequence, and symmetry of the appearance of ossification centers in the carpal and metacarpal bones and finger phalanges from the neonatal period to primary school age.

Object and research methods.

The study of the terms of ossification of the bones of the hand as an indicator of morphological differentiation of "bone age" was conducted on the basis of a retrospective study of 124 radiographs, 43 computer tomograms and 12 three-dimensional computer reconstruction models of the skeleton of the right and left hands of

children of both sexes aged from newborns to 8-11 years (girls) and 8-12 years (boys) under normal conditions on the basis of the Department of Pediatric Traumatology (Head of the Department – Martynov A.V.) of the Chervivtsi Emergency Medical Hospital.

Research results and their discussion.

In newborns, the carpal bones are still at the cartilaginous stage of development (fig. 1); their ossification begins in the 1st year of life.

On radiographs of the skeleton of the right and left hands of children of the 1st year of life, the shadows of all metacarpal bones, phalanges of the fingers and distal epiphyses of the diaphyses of the ulna and radius bones are clearly visible.

In children between 2 and 6 months of age, ossification points appear in the capitate bone and hamate bone (fig. 2). However, in a few newborns, radiographs, computed tomography, and three-dimensional computer reconstruction models have revealed bone nuclei in

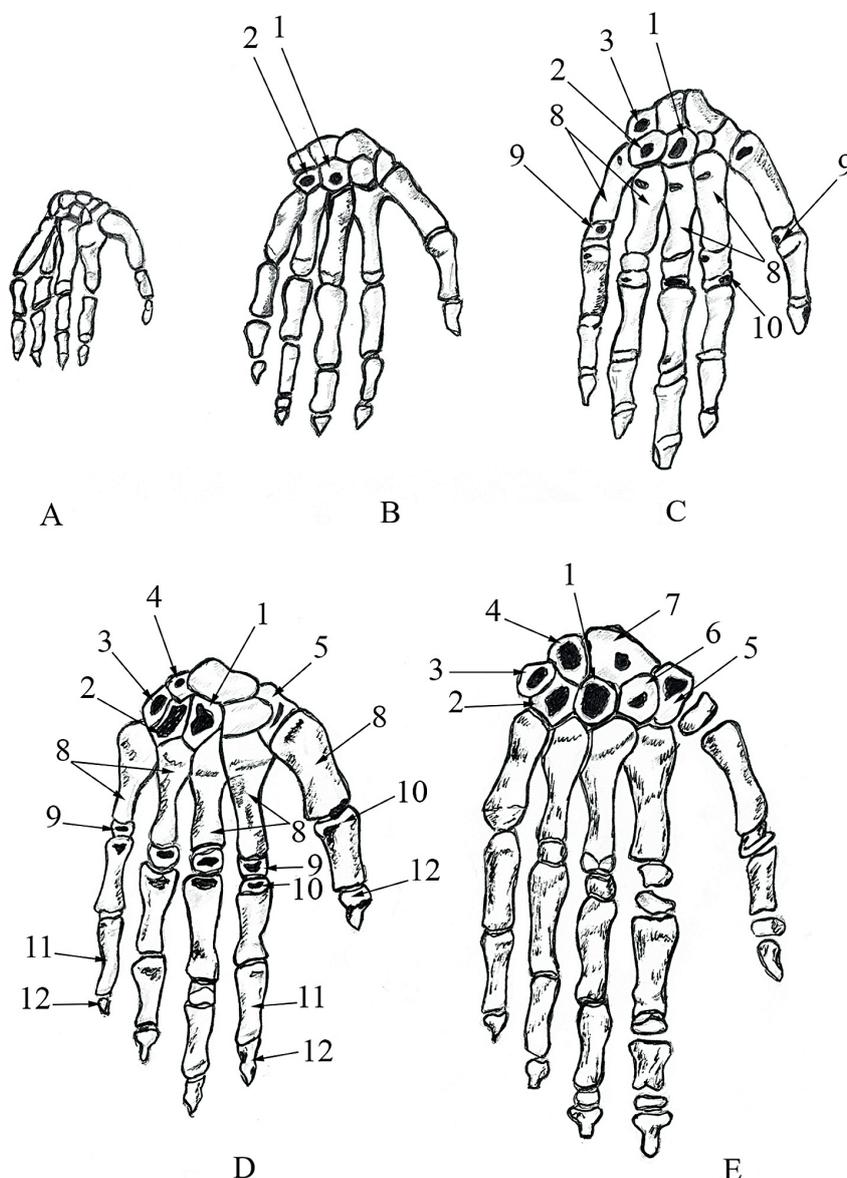


Figure 4 – Schematic representation of the centers of ossification of the bones of the hand in a newborn (A), at the end of the 1st year (B), at the 3rd year (C), at the 5th year (D), at the 9th year of life (E).

Designation: 1 – capitate bone; 2 – hamate bone; 3 – triquetral bone; 4 – lunate bone; 5 – trapezium bone; 6 – trapezoid bone; 7 – scaphoid bone; 8 – bodies of the metacarpal bones; 9 – epiphyses of the metacarpal bones; 10 – epiphyses of the proximal phalanges of the fingers; 11 – middle phalanges of the fingers; 12 – terminal phalanges of the fingers.



Figure 5 – Skeleton bones of the right hand of a boy aged 2 years and 8 months. Photoradiogram. Direct projection.

the capitate (**fig. 3**) or (and) hamate bones, which, in our opinion, together with other symptoms, may serve as a sign of prematurity.

During the 2nd year of life, an ossification point appears in the distal epiphysis of the radius, and an increase in the size of the capitate and hamate bones is also noted.

During the 3rd year of life, an ossification point appears in the triquetral bone, as well as in the epiphyses of all metacarpal bones and phalanges of the fingers (**fig. 4**).

In children of this age, an increase in the size of the capitate and hamate bones, as well as the distal epiphysis of the radius, is detected. In particular, on the radiograph of the bones of the right hand of a boy aged 2 years and 8 months, the ossification points of the capitate and hamate bones, the epiphyses of the metacarpal bones and the phalanges of the fingers are clearly visi-



Figure 6 – Skeleton bones of the left hand of a girl aged 2 years and 11 months. Photoradiogram. Direct projection.

ble, and the ossification point of the triquetral bone is also outlined (**fig. 5**).

On the radiographs of the skeleton of the right and left hands of 4-year-old children, the appearance of an ossification point in the lunate bone is noted, mainly at the end of the 4th year of life. In isolated (4) cases, we observed the appearance of an ossification point in the lunate bone in children of an earlier age, in particular in a girl of 2 years 11 months (**fig. 6**), or somewhat later - at the beginning of the 5th year of the child's life.

In a girl aged 3 years and 10 months, the radiograph of the skeleton of the right hand of life visualizes the ossification points of the capitate, hamate, triquetral, lunate bones, as well as in the epiphyses of all short tubular bones and the ulna, which are somewhat larger in size compared to children aged 2-3 years. The presented radiograph shows the ossification centers of the trapezoid and trapezium bones (**fig. 7**).



Figure 7 – Skeleton bones of the right hand of a girl aged 3 years and 10 months. Photoradiogram. Direct projection.



Figure 8 – Skeleton bones of the right hand of a boy aged 5 years and 1 month. Photoradiogram. Direct projection.



Figure 9 – Skeleton bones of the left hand of a girl aged 4 years and 7 months. Photoradiogram. Direct projection.

During the 5th year of a child's life, usually at the end of the 5th year, the appearance of ossification points in the scaphoid bone and trapezoid bone, and trapezium bone is noted. However, it should be noted that, on radiographs of 5-year-old children, we observed poorly defined ossification centers in two of the three above-mentioned carpal bones (fig. 8), but not in all three.

On the radiographs of the hands of a girl aged 4 years and 7 months (fig. 9), the ossification points of the capitate, hamate, triquetral, lunate, and scaphoid bones, trapezium bone, and trapezoid bone, as well as the epiphyses of the radial and metacarpal bones and finger phalanges, are clearly visible. In children aged 6-7, the ossification centers of the scaphoid, trapezium, and trapezoid bones are clearly visible. During this age period, intensive growth of all wrist bones occurs.



Figure 11 – Skeleton bones of the left hand of a girl aged 8 years and 2 months. Photoradiogram. Direct projection.



Figure 10 – Skeleton bones of the right hand of a girl aged 7 years and 3 months. Photoradiograph. Direct projection.

At the beginning of the 7th year of life, the ossification points of all wrist bones, except for the pisiform bone, are clearly visible on the radiographs of the right and left hands of the child, while the ossification points of the epiphyses of the metacarpal bones, radial bone, and finger phalanges increase in size compared to children aged 5 years.

During the 7th year of life, an ossification point appears in the distal epiphysis of the ulna, initially a small calcified area in the form of a triangle or wedge is noted (fig. 10), and by the end of the 7th year of life, the ossification point has the shape of a small oval or, in isolated cases, a disk that occupies only part of the epiphysis of the ulna.

At the beginning of the prepubertal period (during the 8th year of life), there is an intensive growth and increase in the size of the distal epiphysis of the ulna. The latter appears as a disk-shaped oval, visualized along its



Figure 12 – Skeleton bones of the right hand of a boy aged 9 years and 3 months. Photoradiogram. Direct projection.



Figure 13 – Skeleton bones of the left hand of a girl aged 10 years and 9 months. Photoradiogram. Direct projection.

entire length (fig. 11). The remains of the pseudoepiphyses of the second metacarpal bones are detected.

The formation of the styloid process of the ulna occurs due to the ossification point of the distal epiphysis of this bone and is detected on radiographs of the right and left hands of 9-year-old children (fig. 12).

At the end of the second childhood period, with a gender difference of 9-12 months, in girls 10 years 5 months - 11 years and boys 11 years 4 months - 12 years, the ossification point of the pisiform bone appears. In children of this age, a change in the shape of the middle phalanx of the II-V fingers is observed - a significant protrusion of the rounded upper-radial angle and a more pronounced "waist" on the radial side (fig. 13-14). In isolated cases, we have noted minor fluctuations (1-3 months) in the timing of ossification point appearance in the same carpal and metacarpal bones of the right and left hands in newborns and children of infant, preschool, and primary school age with normal morphogenesis.

Conclusions.

The given sequence of ossification points in the carpal and metacarpal bones and the phalanges of the fingers from the period of newborn to primary school age



Figure 14 – Skeleton bones of the right hand of a boy aged 11 years and 11 months. Photoradiogram. Direct projection.

provides a picture of the age dynamics of ossification of the hand skeleton during normal development.

The terms of ossification of the carpal bones determined by X-ray methods of research are an indicator of the morphological differentiation of the organism and the "bone age" of the child.

A slight asymmetry of ossification of the carpal and metacarpal bones of the right and left hands was established - the non-simultaneous appearance (with a difference of 1-3 months) and the development of ossification of these bones in children of the studied age groups, in our opinion, is a variant of the normal development of the skeleton of the hands.

The state of any one system, in particular the bone system, does not provide an exhaustive description of the development of the entire organism, since dissociation phenomena in the rates of development of organs and systems are possible - ontogenetic dyschrony. For a more complete and accurate assessment of development, it is necessary to use a complex of methods of morphological and functional research.

Prospects for further research.

To establish the features of ossification of the bones of the hand in children of senior school age.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-293-305

УДК 616.71-001.52:612.65]-053-055

¹Бірюк І. Г., ¹Хмара Т. В., ²Марценяк І. В., ¹Куковська І. Л., ³Марчук О. Ф.

СТАТЕВО-ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСТНАТАЛЬНОГО МОРФОГЕНЕЗУ ТА ОСИФІКАЦІЇ КІСТОК КИСТІ ЛЮДИНИ

¹Буковинський державний медичний університет (м. Чернівці, Україна)

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (м. Чернівці, Україна)

³Лікарня швидкої медичної допомоги (м. Чернівці, Україна)

biryuk.igor@bsmu.edu.ua

У статті наведені результати дослідження вікових особливостей скостеніння кісток кисті у дітей як показника морфологічної диференціації та визначення «кісткового віку». На основі аналізу 124 рентгенограм, 43 комп'ютерних томограм і 12 тривимірних реконструкцій скелету кисті дітей віком від новонародженості до 12 років встановлено терміни, послідовність та симетричність появи точок осифікації у зап'ясткових і п'ясткових кістках та фалангах пальців. Виявлено закономірності динаміки

скостеніння, зокрема, початок процесу відмічається на 1-му році життя, коли з'являються ядра у головчастій і гачкуватій кістках. Пізніше послідовно осифікація відбувається у тригранній, півмісяцевій, човноподібній, трапецієподібній кістках, кістці-трапеції та, в останню чергу, горохоподібній кістці (9-12 років). Відстежено інтенсивність росту і збільшення розмірів кісткових ядер, а також незначну фізіологічну асиметрію скостеніння (1-3 місяці) між кістками правої та лівої кистями. Результати підкреслюють діагностичне та прогностичне значення оцінки кісткового віку як більш інформативного показника фізичного розвитку порівняно з хронологічним віком. Зазначено, що комплексна оцінка стану організму потребує поєднання морфологічних і функціональних методів дослідження.

Ключові слова: кістковий вік, кістки, осифікація, центри скостеніння, скелет кисті, фізичний розвиток.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження є фрагментом комплексної теми кафедри анатомії, клінічної анатомії та оперативної хірургії «Статеві-вікові закономірності онтогенетичних перетворень і морфометричні параметри органів та структур за умов норми і експерименту. Морфо-функціональні та антропометричні особливості опорно-рухового апарату спортсменів» (номер державної реєстрації 0125U001531).

Вступ.

Організм людини розвивається від запліднення і до його смерті, але кожний період пре- і постнатального онтогенезу має свої особливості [1]. Для дитинства найбільш характерними рисами є інтенсивний розвиток, ріст і дозрівання. Розвиток і зростання дитячого організму являють собою, як відомо, не тільки кількісне збільшення розмірів та маси тіла; це – досить складний біологічний процес, що супроводжується глибокими якісними змінами морфологічного, структурного диференціювання всіх органів, тканин і організму в цілому [2]. При цьому, слід підкреслити, що енергія розвитку організму як щодо зростання, так і стосовно диференціювання може бути на різних вікових етапах дуже різною. Певна частина дітей дає прискорену або сповільнену енергію розвитку організму, у зв'язку з чим закінчене нормальне диференціювання настає в більш ранньому, ніж у більшості дітей, або в пізнішому віковому періоді [3,4].

Конституційні особливості дитини в період її зростання (новонароджені, діти грудного, переддошкільного, дошкільного, молодшого і старшого шкільного віку) та диференціювання є рядом перехідних властивостей, які більш-менш встановлюються лише у певні вікові етапи розвитку [4].

У світлі сучасних даних вікової остеології про еволютивні особливості дитячого організму індивідуальна оцінка фізичного розвитку дитини на основі лише антропометричних стандартів є, перш за все, недостатньою [5, 6]. Ми не можемо дати характеристику фізіологічного віку дитини на основі лише відповідності розмірів та маси її тіла віковим нормам [7, 8]. На нашу думку, така характеристика є неповною, грубо орієнтовною та найчастіше помилковою. Необхідно зазначити, що дійсний рівень фізичного розвитку дитини може бути встановлений лише на основі даних про його вікове морфологічне та функціональне диференціювання [9]. Відомо, що паспортний вік є менш точним, ніж «кістковий», і при оцінці особливостей морфогенезу, вікових та інволютивних змін в тканинах опорно-рухового апарату мають важливе прикладне значення точні дані про терміни і послідовність появи первинних і вторинних центрів скостеніння у кістках скелету людини [10]. За станом розвитку кісткової сис-

теми, за термінами появи точок скостеніння, зокрема зап'ясткових кісток, можна судити про «кістковий вік», що відображає морфологічне диференціювання всього організму [11, 12].

За даними В. С. Пикалюка, А. Ю. Османова [13] термін появи кісткового ядра тригранної кістки відповідає числу її граней (3 роки), надалі досить до кожної сусідньої (по ходу годинникової стрілки) додавати по одному року, щоб отримати термін скостеніння. В результаті порядок скостеніння зап'ясткових кісток буде наступним: головчаста кістка (2 міс.), гачкувата кістка (3 міс.), тригранна кістка (3 роки), півмісяцева кістка (4 роки), човноподібна кістка (5 років), кістка-трапеція і трапецієподібна кістка (5 і 6 років). Термін появи ядра скостеніння горохоподібної кістки – 6,5-16,5 років.

За допомогою рентгенологічного методу можна виявити за цілим рядом показників особливості та порушення еволюції організму та аномалії розвитку [14]. Найбільш часто трапляються такі форми аномалій скостеніння як затримка або прискорення темпу скостеніння [15]. Ці аномалії зумовлені дією екзо- та ендогенних факторів, які впливають на розвиток дитини (умови харчування, побутові умови, перенесені хвороби тощо) [16].

Тому, встановлення особливостей скостеніння кісток скелету кисті, їхніх термінів і темпів на різних етапах постнатального періоду онтогенезу людини за умов норми є актуальним завданням сучасної вікової остеології [17, 18].

Мета дослідження.

З'ясувати терміни, послідовність і симетричність появи центрів скостеніння у зап'ясткових і п'ясткових кістках та фалангах пальців від періоду новонародженості до молодшого шкільного віку.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження термінів осифікації кісток кисті як показника морфологічного диференціювання «кісткового віку» проведено на підставі ретроспективного вивчення 124 рентгенограм, 43 комп'ютерних томограм і 12 тривимірних комп'ютерних реконструкційних моделей скелету правої і лівої кистей дітей обох статей віком від новонароджених до 8-11 років (дівчата) і 8-12 років (хлопчики) за умов норми на базі відділення дитячої травматології (зав. відділенням – Мартинов А.В.) лікарні швидкої медичної допомоги м. Чернівці.

Результати дослідження та їх обговорення.

У новонароджених людини зап'ясткові кістки знаходяться ще на хрящовій стадії розвитку (рис. 1); їхнє скостеніння розпочинається на 1-му році життя.

На рентгенограмах скелету правої і лівої кистей дітей 1-го року життя чітко виявляються тіні всіх п'ясткових кісток, фаланг пальців і дистальних епіфізів діафізів ліктьової і променевої кісток.

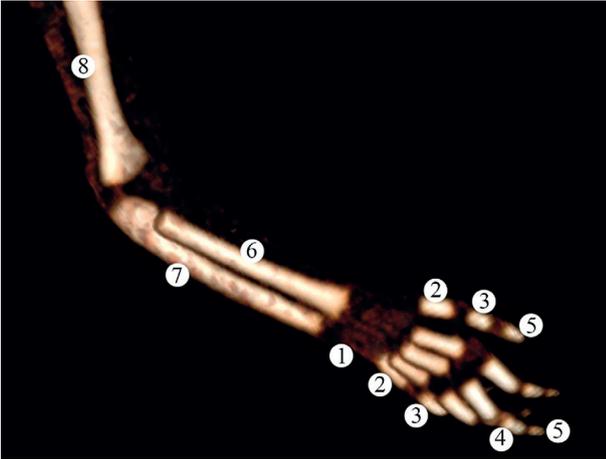


Рисунок 1 – Тривимірна комп'ютерна реконструкція кісток вільної частини правої верхньої кінцівки новонародженого людини. Задньо-бічна проекція. Зб.: 1,3^х. Позначення: 1 – зап'ясток; 2 – п'ясткові кістки; 3 – проксимальні фаланги пальців; 4 – середня фаланга пальця; 5 – кінцеві фаланги пальців; 6 – променева кістка; 7 – ліктьова кістка; 8 – плечова кістка.

У дітей в період від 2 до 6 місяців з'являються точки скостеніння у головчастій і гачкуватій кістках (рис. 2). Проте, в одиничних новонароджених на рентгенограмах, комп'ютерних томограмах і тривимірних комп'ютерних реконструкційних моделях виявлені кісткові ядра головчастої (рис. 3) або (та) гачкуватої кісток, що, на нашу думку, разом із іншими симптомами може служити ознакою доношеності.

Упродовж 2-го року життя спостерігається поява точки скостеніння у дистальному епіфізі променевої кістки, а також відмічається збільшення розмірів головчастої і гачкуватої кісток.

Протягом 3-го року життя з'являється точка скостеніння у тригранній кістці, а також в епіфізах усіх п'ясткових кісток і фаланг пальців (рис. 4).

У дітей даного віку виявляється збільшення розмірів головчастої і гачкуватої кісток, а також дистального епіфіза променевої кістки. Зокрема, на рентгенограмі кісток правої кисті хлопчика 2 років 8 місяців чітко виявляються точки скостеніння головчастої і гачкуватої



Рисунок 2 – Кістки скелету лівої кисті дівчинки 6 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.

кісток, епіфізів п'ясткових кісток і фаланг пальців, а також намічається точка скостеніння тригранної кістки (рис. 5).

На рентгенограмах скелету правої і лівої кистей дітей 4-х років відзначається поява точки скостеніння у півмісяцевій кістці переважно, наприкінці 4-го року життя. В одиничних (4) випадках ми спостерігали появу точки скостеніння у півмісяцевій кістці у дітей більш раннього віку, зокрема у дівчинки 2 років 11 місяців (рис. 6), або дещо пізніше – на початку 5-го року життя дитини.

У дівчинки 3 років 10 місяців на рентгенограмі скелету правої кисті життя візуалізуються точки скостеніння головчастої, гачкуватої, тригранної півмісяцевої кісток, а також в епіфізах усіх коротких трубчастих кісток і ліктьової кістки, дещо більші за розмірами порівняно з дітьми 2-3 років. На представленій рентгенограмі намічаються точки скостеніння трапецієподібної кістки та кістки-трапеції (рис. 7).

Упродовж 5-го року життя дитини, як правило наприкінці 5-го року, відмічається поява точок скостеніння у човноподібній і трапецієподібній кістках та кістці-трапеції. Однак, слід зазначити, що на рентгенограмах дітей 5-ти років, як правило, ми спостерігали слабо намічені точки скостеніння у двох, а не в усіх трьох вищезазначених зап'ясткових кістках (рис. 8).

На рентгенограмах кистей дівчинки віком 4 років 7 місяців (рис. 9) чітко виявляються точки скостеніння головчастої, гачкуватої, тригранної, півмісяцевої і човноподібної кісток, кістки-трапеції і трапецієподібної кістки, а також епіфізів променевої і п'ясткових кісток і фаланг пальців.

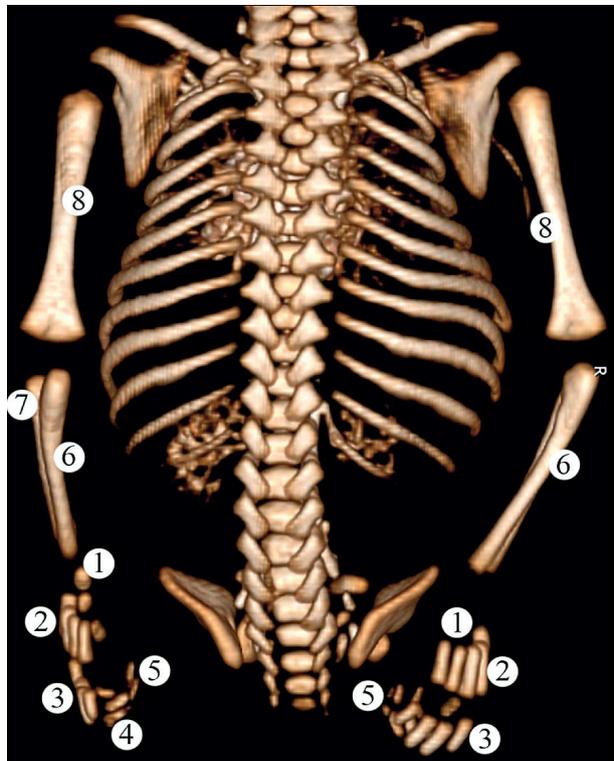


Рисунок 3 – Тривимірна комп'ютерна реконструкція кісток скелету новонародженого. Вигляд ззаду. Зб.: 1,9^х.

Позначення: 1 – головчасті кістки; 2 – п'ясткові кістки; 3 – проксимальні фаланги пальців; 4 – середня фаланга пальця; 5 – кінцеві фаланги пальців; 6 – ліктьові кістки; 7 – ліва променева кістка; 8 – плечові кістки.

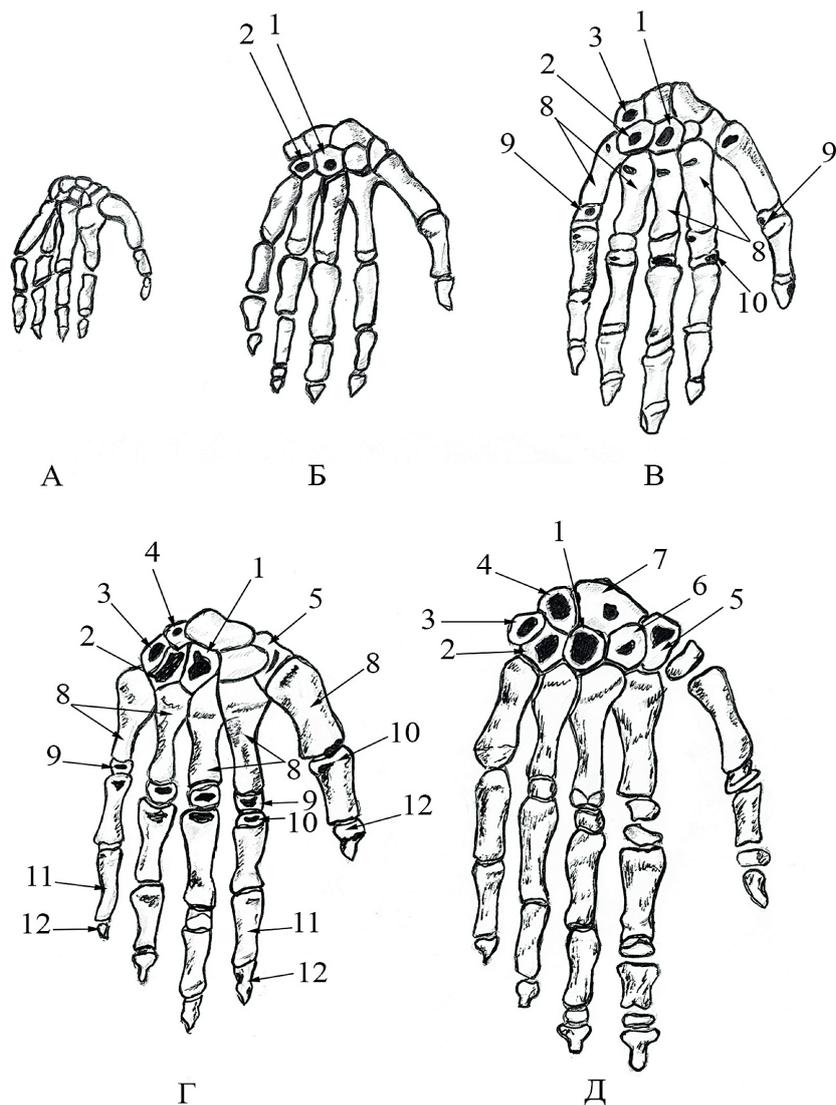


Рисунок 4 – Схематичне зображення центрів скостеніння кісток кисті у новонародженого (А), наприкінці 1-го року (Б), на 3-му році (В), на 5-му році (Г), на 9-му році життя (Д). Позначення: 1 – головчаста кістка; 2 – гачкувата кістка; 3 – тригранна кістка; 4 – півмісяцева кістка; 5 – кістка-трапеція; 6 – трапецієподібна кістка; 7 – човноподібна кістка; 8 – тіла п'ясткових кісток; 9 – епіфізи п'ясткових кісток; 10 – епіфізи проксимальних фаланг пальців; 11 – середні фаланги пальців; 12 – кінцеві фаланги пальців.



Рисунок 5 – Кістки скелету правої кисті хлопчика 2 років 8 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 6 – Кістки скелету лівої кисті дівчинки 2 років 11 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 7 – Кістки скелету правої кисті дівчинки 3 років 10 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.

У дітей 6-7 років чітко виражені точки скостеніння човноподібної кістки, кістки-трапеції і трапецієподібної кістки. У цей віковий період відбувається інтенсивний ріст усіх зап'ясткових кісток.

На початку 7-го року життя дитини на рентгенограмах правої і лівої кистей, чітко візуалізуються точки скостеніння всіх зап'ясткових кісток, за винятком горохоподібної кістки, при цьому збільшуються за розмірами точки скостеніння епіфізів п'ясткових кісток, променевої кістки і фаланг пальців порівняно з дітьми 5 років.

Упродовж 7-го року життя з'являється точка скостеніння у дистальному епіфізі ліктьової кістки, при чому спочатку відзначається невеликих розмірів звапніла ділянка у вигляді трикутника або клина (рис. 10), а до кінця 7-го року життя точка скостеніння має переважно форму невеликого овалу або, в одиничних спосте-



Рисунок 8 – Кістки скелету правої кисті хлопчика 5 років 1 місяця. Фоторентгенограма. Пряма проекція.

реженнях, – диска, що займає лише частину епіфіза ліктьової кістки.

На початку препубертатного періоду (протягом 8-го року життя) відбувається інтенсивний ріст і збільшення розмірів дистального епіфіза ліктьової кістки. Останній має вигляд диску, овальної форми, який візуалізується на всій протяжності (рис. 11). Виявляються залишки псевдоепіфізів других п'ясткових кісток.

Формування шилоподібного відростку ліктьової кістки відбувається за рахунок точки скостеніння дистального епіфіза цієї кістки і виявляється на рентгенограмах правої і лівої кистей 9-річних дітей (рис. 12).

Наприкінці періоду другого дитинства, з статевою різницею 9-12 місяців – у дівчаток 10 років 5 місяців – 11 років і хлопчиків 11 років 4 місяці – 12 років з'являється точка скостеніння горохоподібної кістки. У дітей зазначеного віку спостерігається зміна форми середньої фаланги II-V пальців – значне виступання заокруг-



Рисунок 9 – Кістки скелету лівої кисті дівчинки 4 років 7 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 10 – Кістки скелету правої кисті дівчинки 7 років 3 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 11 – Кістки скелету лівої кисті дівчинки 8 років 2 місяці. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 12 – Кістки скелету правої кисті хлопчика 9 років 3 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 13 – Кістки скелету лівої кисті дівчинки 10 років 9 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.



Рисунок 14 – Кістки скелету правої кисті хлопчика 11 років 11 місяців. Фоторентгенограма. Пряма проекція.

леного верхньо-променевого кута та більш виражена «талія» з променевої сторони (рис. 13-14).

У поодиноких випадках нами відмічені незначні коливання (1-3 місяці) в термінах появи точок скостеніння однойменних зап'ясткових і п'ясткових кісток правої і лівої кистей у новонароджених, дітей грудного, дошкільного та молодшого шкільного віку при нормальному морфогенезі.

Висновки.

Наведена послідовність появи точок скостеніння у зап'ясткових і п'ясткових кістках і фалангах пальців від періоду новонародженості до молодшого шкільного віку дає картину вікової динаміки скостеніння скелету кистей при нормальному їхньому розвитку.

Визначені за допомогою рентгенологічних методів дослідження терміни скостеніння зап'ясткових кісток є показником морфологічного диференціювання організму та «кісткового віку» дитини.

Встановлена незначна асиметрія скостеніння зап'ясткових і п'ясткових кісток правої і лівої кистей – неодночасна поява (з різницею 1-3 місяці) і розвитку осифікації цих кісток у дітей досліджених вікових груп, на нашу думку, є варіантом нормального розвитку скелету кистей.

Стан будь-якої однієї системи, зокрема кісткової, не дає вичерпної характеристики розвитку всього організму, оскільки можливі явища дисоціації в темпах розвитку органів та систем – онтогенетична дисхронія. Для більш повної та точної оцінки розвитку необхідне застосування комплексу методів морфологічних і функціональних досліджень.

Перспективи подальших досліджень.

Встановити особливості скостеніння кісток кисті у дітей старшого шкільного віку.

References / Література

1. Cameron N, Schell L, editors. Human growth and development. Academic Press; 2021. 592 p.
2. Balasundaram P, Avulakunta ID. Human Growth and Development. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
3. Falkner F, Tanner JM. Human Growth: Developmental Biology Prenatal Growth. Springer Science & Business Media; 2012. 518 p.
4. Falkner F, Tanner JM. Human Growth: Postnatal Growth. Springer Science & Business Media; 2013. 634 p.
5. Cavallo F, Mohn A, Chiarelli F, Giannini C. Evaluation of bone age in children: a mini-review. *Frontiers in Pediatrics*. 2021;9:580314.
6. Prokop-Piotrkowska M, Marszałek-Dziuba K, Moszczyńska E, Szalecki M, Jurkiewicz E. Traditional and new methods of bone age assessment-an overview. *Journal of clinical research in pediatric endocrinology*; 2021;13(3):251-262. DOI: [10.4274/jcrpe.galenos.2020.2020.0091](https://doi.org/10.4274/jcrpe.galenos.2020.2020.0091).
7. Creo AL, Schwenk WF 2nd. Bone Age: A Handy Tool for Pediatric Providers. *Pediatrics*. 2017;140(6):e20171486.
8. Cauley JA, Shoback DM. Bone age is not just for kids. *Elife*. 2021;2(10):e66916. DOI: [10.7554/eLife.66916](https://doi.org/10.7554/eLife.66916).
9. Sotnikova-Meleshkina Z, Zinchuk O, Mikhalchuk O. Modern approaches to assessing physical development of children and adolescents. *Child's health*. 2021;16(1):33-39.
10. Wittschieber D, Hahnemann ML, Mentzel HJ. Forensic Diagnostics of the skeletal age in the living – backgrounds and methodology. In *RöFo-Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2024;196(03):254-261.
11. Bhramdat HD, Daegling DJ. Mechanobiology of human pisiform formation as a model for endochondral ossification. *The Anatomical Record*. 2025;308(7):1851-1866. DOI: [10.1002/ar.25274](https://doi.org/10.1002/ar.25274).
12. Chen S, Liu J, Xiong Y, Li W, Tang S, Zhang H, et al. Ultrasound assessment of pediatric bone age based on wrist and knee joint ossification ratios: An observational cohort study. *Research Square*. 2024. DOI: [10.21203/rs.3.rs-5018680/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5018680/v1).
13. Pykaliuk VS, Osmanov Alu. Filo-, ontogeneza orhaniv i system liudyny. Simferopol. 2011. 312 s. [in Ukrainian].
14. Aparisi Gómez MP, Watkin S, Perry D, Simoni P, Trisolino G, Bazzocchi A. Anatomical considerations of embryology and development of the musculoskeletal system: basic notions for musculoskeletal radiologists. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2021;25(1):3-21. DOI: [10.1055/s-0040-1716786](https://doi.org/10.1055/s-0040-1716786).
15. Moza B, Verma M, Kumar S, Sharma P, Beniwal A, Dhiman M. Advancements in the imaging techniques for detection of skeletal pathologies: a comprehensive review. *Tuijin Jishu/J Propuls Technol*. 2024;45(1):645-663.
16. Thurstans S, Sessions N, Dolan C, Sadler K, Cichon B, Isanaka S, et al. The relationship between wasting and stunting in young children: A systematic review. *Maternal & Child Nutrition*. 2022;18(1):e13246. DOI: [10.1111/mcn.13246](https://doi.org/10.1111/mcn.13246).
17. Khmara TV, Koval OA, Tsyhykalo OV, Pankiv TV, Zamorskyi II. Osoblyvosti poiavy pervynykh tsentriv skosteninnya u liudyny. *Pernatolohiia ta Pediatriia*. 2024;3(99):115-23. DOI: [10.15574/PP.2024.3\(99\).115123](https://doi.org/10.15574/PP.2024.3(99).115123). [in Ukrainian].
18. Khmara TV, Biriuk IH, Koval OA, Komar TV, Zamorskyi II. Osoblyvosti rannoho morfohenezu kistok verkhnoi kintsivky liudyny. *Materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii Biomorfologhiia sohodennia*; 2024 Ver 26-27; Kyiv. Kyiv: NT AHET; 2024. s. 104-5. [in Ukrainian].

СТАТЕВО-ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ПОСТНАТАЛЬНОГО МОРФОГЕНЕЗУ ТА ОСИФІКАЦІЇ КІСТОК КИСТІ ЛЮДИНИ

Бірюк І. Г., Хмара Т. В., Марценяк І. В., Куковська І. Л., Марчук О. Ф.

Резюме. Вивчення процесів скостеніння загалом, і кісток кисті зокрема, важливе для розробки морфологічних критеріїв фізичного розвитку дитини та може слугувати одним із показників морфологічної диференціації організму.

Мета роботи полягає у визначенні основних статевих-вікових особливостей постнатального морфогенезу та термінів осифікації кісток кисті людини, що може слугувати уточнюючими даними для удосконалення критеріїв визначення кісткового віку.

Дослідження проведено на основі аналізу рентгенограм (124), комп'ютерних томограм (43) і тривимірних реконструкцій скелету (12) правої і лівої кистей дітей обох статей віком від новонародженості до 12 років, за умов норми, без зовнішніх ознак анатомічних відхилень або природжених вад розвитку верхніх кінцівок.

Проведене дослідження засвідчило, що процес скостеніння кісток кисті має певну послідовність, яка характеризується появою перших точок осифікації у головчастих та гачкуватих кістках. У подальшому вони з'являються у тригранній, півмісяцевій, човноподібній, трапецієподібній кістках, кістці-трапеції. В останню чергу спостерігається процес скостеніння горохоподібної кістки у віці 9–12 років. Простежується незначна фізіологічна асиметрія процесів скостеніння між правою та лівою кистями, що становить 1-3 місяці при закономірному збільшенні розмірів та інтенсивності росту кісткових ядер.

Отримані результати уточнюють показники кісткового віку і можуть використовуватися як достатньо інформативна складова оцінки фізичного розвитку дитини. Удосконалення морфологічних критеріїв, поєднання морфологічних та функціональних методів дослідження сприяє розширенню можливостей комплексної оцінки стану організму.

Ключові слова: кістковий вік, кістки, осифікація, центри скостеніння, скелет кисті, фізичний розвиток.

SEX- AND AGE-RELATED FEATURES OF POSTNATAL MORPHOGENESIS AND OSSIFICATION OF THE HUMAN HAND BONES

Biriuk I. G., Khmara T. V., Marceniak I. V., Kukov's'ka I. L., Marchuk O. F.

Abstract. The study of ossification processes in general, and of the hand bones in particular, is important for the development of morphological criteria for assessing a child's physical development and may serve as one of the indicators of morphological differentiation of the organism.

This study aimed to determine the main sex- and age-related features of postnatal morphogenesis and the timing of ossification of the human hand bones, which may provide clarifying data for improving criteria for determining bone age.

The study was conducted based on the analysis of radiographs (124), computed tomography scans (43), and three-dimensional skeletal reconstructions (12) of the right and left hands of children of both sexes aged from the neonatal period to 12 years. All cases represented normal conditions, with no external signs of anatomical abnormalities or congenital malformations of the upper limbs.

The study demonstrated that the ossification of the hand bones follows a specific sequence, characterised by the appearance of the first ossification centres in the capitate and hamate bones. Subsequently, ossification centres appear in the triquetral, lunate, scaphoid, trapezoid, and trapezium bones. Ossification of the pisiform bone is observed last, at the age of 9–12 years. A slight physiological asymmetry in ossification processes between the right

and left hands was noted, amounting to 1-3 months, alongside a regular increase in the size and growth intensity of the bone nuclei.

The obtained results refine indicators of bone age and may be used as a sufficiently informative component in the assessment of a child's physical development. Improvement of morphological criteria and the integration of morphological and functional research methods contribute to expanding the possibilities for a comprehensive evaluation of the organism's condition.

Key words: bone age, bones, ossification, ossification centers, hand skeleton, physical development.

ORCID and contributionship / ORCID автора та його внесок до статті:

Biriuk I. G.: <https://orcid.org/0000-0001-8171-2808>^{ABD}

Khmara T. V.: <https://orcid.org/0000-0003-4699-6600>^F

Marceniak I. V.: <https://orcid.org/0009-0002-2753-6772>^{BE}

Kukovs'ka I. L.: <https://orcid.org/0000-0002-2838-0135>^B

Marchuk O. F.: <https://orcid.org/0000-0001-7690-934X>^{BC}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Biriuk Ihor Hryhorovych / Бірюк Ігор Григорович

Bukovinian State Medical University / Буковинський державний медичний університет

Ukraine, 58000, Chernivtsi, 2 O. Huzar str / Адреса: Україна, 58000, м. Чернівці, вул. О. Гузар 2

Tel.: +380979698393 / Тел.: +380979698393

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

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article / A – концепція роботи та дизайн, B – збір та аналіз даних, C – відповідальність за статичний аналіз, D – написання статті, E – критичний огляд, F – остаточне затвердження статті.

Received 29.07.2025 / Стаття надійшла 29.07.2025 року

Accepted 12.11.2025 / Стаття прийнята до друку 12.11.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-4-179-305-312

UDC 616.36-089.87-06.616-91]-092.9

Hnatyuk M. S., Chernetsky A. A., Tatarchuk L. V., Stets N. Ja.

MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE THYROID ARTERIAL BED AT LONG-TERM POSTRESECTION PORTAL HYPERTENSION AND MULTIORGAN FAILURE

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine
(Ternopil, Ukraine)

hnatjuk@tdmu.edu.ua

It is well known that hypertension in the portal vein system often leads to pronounced changes in systemic hemodynamics and is complicated by variceal dilatation and bleeding from gastroesophageal and rectal veins, hepatorenal and hepatopulmonary syndromes, enteropathy, encephalopathy, and multiple organ failure. Resection of large liver volumes is also complicated by post-resection portal hypertension. The structures and vascular bed of the thyroid gland, an important organ of the endocrine system, are altered not only under the influence of adverse endogenous and exogenous factors but also in various hemodynamic disorders. The morphology of the arterial vasculature of the thyroid gland under conditions of portal hypertension has not been fully elucidated. Therefore, a comprehensive study of the thyroid arteries in portal vein hypertension is warranted.

Morphologically and morphometrically, the thyroid arteries were studied in 15 intact male Wistar rats, 30 animals with postoperative portal hypertension, and 17 animals with a combination of postoperative portal hypertension and multiple organ failure. On histological sections of the thyroid gland, the area of the arteries, their lumen, intima, adventitia, Wogenworth and Kernogan indices, endothelial cell area, nuclear area, nuclear-to-cytoplasmic ratios, and the volume of damaged endothelial cells were determined. Quantitative data were processed statistically.

It was established that post-resection portal hypertension leads to pronounced structural remodeling of the thyroid arteries, characterized by an increase in the area of the studied vessels, media, and adventitia, as well as the Wogenworth index, while the lumen, intima, and endothelial cell areas decrease, the Kernogan index declines, and the arterial permeability is reduced. Endothelial cells are damaged, accompanied by endothelial dysfunction, impaired organ perfusion, hypoxia, dystrophy, apoptosis, necrosis of endothelial cells, thymocytes, and stromal structures, foci of cellular infiltrates, and sclerosis. The observed morphological changes in the thyroid arteries are most pronounced in the development of multiple organ failure.

Key words: thyroid gland, arteries, postoperative portal hypertension, multiple organ failure.