

**MORPHOMETRIC CORRELATION ANALYSIS OF TESTICLE DRAINAGE SYSTEMS
IN THE PATHOGENESIS OF MALE INFERTILITY IN CHILDREN'S SURGICAL DISEASES
OF THE TESTICLE IN THE HISTORY****European Medical University (Dnipro, Ukraine)**

baybakov-vm@ukr.net

The formation of principles underlying the organization of the morphofunctional features of the testicular drainage system, as well as the structures of the male reproductive system, represents an important area for further clinical and morphological studies aimed at clarifying the pathogenesis of male infertility. In the present study, data obtained from puncture biopsy of the testes in infertile men who had undergone surgical intervention on this organ during childhood were analyzed. During the structural morphometric correlation analysis conducted to determine the main causes of this pathology, the diseases were conditionally divided into cluster groups, which had characteristic identification features depending on the degree of dysfunction of the testicular drainage systems. Morphometric analysis of correlation relationships confirmed a close association between indicators reflecting the state of the spermatogenic epithelium and the vessels of the microcirculatory bed of the testicular drainage systems. Knowledge of the long-term reproductive outcomes of the testis after childhood surgeries for cryptorchidism, varicocele, disorders of obliteration of the processus vaginalis of the peritoneum, and inflammatory diseases of the testis in these pathological conditions remains fragmented and insufficiently comprehensive. The study demonstrated that in children who underwent surgical interventions for testicular diseases, significant disturbances occur in the vascular system of the testis, leading to a gradual decline in fertile function and the development of infertility. Recent advances in the study of the arterial, venous, and lymphatic vascular beds, as well as the efferent pathways of the testis, have made it possible to expand current understanding of certain aspects of the pathogenesis of male infertility and to clarify specific issues related to the morphofunctional state of the testicular drainage systems.

Key words: testicular pathology in children, surgical interventions, male infertility, morphometry of testicular biopsies, structural correlation analysis.

Connection of the publication with planned research work.

This study is part of the research project of the Department of Surgical Diseases: "Development and improvement of methods for the diagnosis and surgical treatment of abdominal organs in acute surgical diseases and their complications," state registration number 0118U004202.

Introduction.

The clinical and morphological features of the structural organization of the testicular drainage systems, as components of the male reproductive system, require comprehensive investigation and further research [1, 2, 3, 4]. At present, it is known that changes in the testes of children after surgical intervention impair the full function of sperm production in adulthood and lead to infertility [5, 6, 7]. Data obtained from contemporary scientific literature indicate that morphofunctional and morphometric studies aimed at investigating the pathogenesis of male infertility correspond to general patterns associated with alterations in the testicular drainage systems that originate in childhood and are accompanied by surgical interventions [8, 9].

The aim of the study.

To investigate the main morphofunctional relationships and morphometric correlations between disorders of the testicular drainage systems in childhood resulting from surgical treatment and the development of male infertility.

Object and research methods.

In the conducted scientific study, data from puncture biopsy of the testes of 98 infertile men who had undergone surgical treatment for testicular diseases during childhood were analyzed. Prior to any procedures, all patients provided informed voluntary consent to participate in the study. Morphometric and morphofunctional studies were performed using a proposed mathematical model of correlation morphometric analysis of individual clusters and groups of infertile men who had undergone surgical interventions in childhood for cryptorchidism, varicocele, disorders of obliteration of the processus vaginalis of the peritoneum, and inflammatory diseases of the testis. Control data were obtained from literature sources describing the morphofunctional structure of the testicular drainage systems at different age periods [10, 11, 12].

Measurements were performed for the external diameters of arterioles, capillaries, and venules. In addition, the number of arterioles, capillaries, and venules per unit area of interstitial tissue was calculated. The structural state of the testicular drainage systems was studied using staining of paraffin sections with hematoxylin–eosin and the Mallory–Slinchenko method, followed by morphometric analysis. According to the mathematical model, Pearson's pairwise correlation coefficients (r) were calculated with assessment of their level of significance (p) and strength of association.

According to the Bioethics Commission of the European Medical University (protocol of the meeting of

Table 1 – Very strong correlations between morphometric parameters of testicular biopsy in infertile men ($0.9 < r(x, y) < 1.0$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Nuclear volume of spermatogonia	$r(1, 2)=0.98$; $r(1, 3)=0.92$; $r(1, 4)=0.92$; $r(1, 5)=0.92$
2	Nuclear volume of Sertoli cells	$r(2, 3)=0.98$; $r(2, 4)=0.95$; $r(2, 5)=0.94$
3	Nuclear volume of Leydig cells	$r(3, 5)=0.91$; $r(2, 3)=0.98$; $r(1, 3)=0.92$
4	Number of spermatogonia	$r(4, 5)=0.95$; $r(2, 4)=0.95$; $r(1, 4)=0.92$
5	Number of Sertoli cells	$r(1, 5)=0.92$; $r(2, 5)=0.94$; $r(3, 5)=0.91$; $r(4, 5)=0.95$
6	Number of Leydig cells	No strong correlation relationships; $0.9 < r(x, y) < 1.0$
7	Diameter of arterioles	No strong correlation relationships; $0.9 < r(x, y) < 1.0$
8	Diameter of capillaries	No strong correlation relationships; $0.9 < r(x, y) < 1.0$
9	Diameter of venules	No strong correlation relationships; $0.9 < r(x, y) < 1.0$

Notes: the sign “-” indicates a negative correlation, where an increase in one parameter is associated with a decrease in another.

the Committee on Biomedical Ethics No. 1, January 12, 2025), no violations of ethical standards were identified during the conduct of this research.

Research results and their discussion.

Very strong morphometric correlation relationships ($0.9 < r(x, y) < 1.0$) (**table 1**) were identified between the nuclear volume of spermatogonia and the nuclear volume of Sertoli cells ($r=0.98$); the nuclear volume of spermatogonia and the nuclear volume of Leydig cells ($r=0.92$); the nuclear volume of spermatogonia and the number of spermatogonia ($r=0.92$); the nuclear volume of spermatogonia and the number of Sertoli cells ($r=0.92$); the nuclear volume of Sertoli cells and the nuclear volume of Leydig cells ($r=0.98$); the nuclear volume of Sertoli cells and the number of spermatogonia ($r=0.95$); the nuclear volume of Sertoli cells and the number of Sertoli cells ($r=0.94$); the nuclear volume of Leydig cells and the number of Sertoli cells ($r=0.91$); and the number of spermatogonia and the number of Sertoli cells ($r=0.95$).

Strong correlation relationships ($0.7 < r(x, y) < 0.9$) (**table 2**) were identified between the nuclear volume of spermatogonia and the external diameter of arterioles ($r=0.70$); the nuclear volume of Sertoli cells and the external diameter of venules ($r=0.79$); the nuclear volume of Sertoli cells and the external diameter of veins ($r=0.74$); the nuclear volume of Leydig cells and the number of spermatogonia ($r=0.89$); the number of spermatogonia and the external diameter of venules

Table 2 – Strong correlations between morphometric parameters of testicular biopsy in infertile men ($0.7 < r(x, y) < 0.9$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Nuclear volume of spermatogonia	$r(1, 7)=0.70$; $r(1, 9)=-0.79$
2	Nuclear volume of Sertoli cells	$r(2, 9)=-0.74$
3	Nuclear volume of Leydig cells	$r(3, 4)=0.89$
4	Number of spermatogonia	$r(3, 4)=0.89$; $r(4, 9)=-0.85$
5	Number of Sertoli cells	$r(5, 9)=-0.79$
6	Number of Leydig cells	$r(6, 8)=-0.82$; $r(6, 9)=0.75$
7	Diameter of arterioles	$r(1, 7)=0.70$; $r(7, 8)=0.78$
8	Diameter of capillaries	$r(7, 8)=0.78$; $r(8, 6)=-0.82$
9	Diameter of venules	$r(1, 9)=-0.79$; $r(2, 9)=-0.74$

Notes: the sign “-” indicates a negative correlation, where an increase in one parameter is associated with a decrease in another.

($r=-0.85$); the external diameter of arterioles and the external diameter of capillaries ($r=0.78$); the number of Sertoli cells and the external diameter of venules ($r=-0.79$); the external diameter of capillaries and the number of Leydig cells ($r=0.82$); and the external diameter of capillaries and the external diameter of venules ($r=0.70$). The largest number of strong morphometric correlation relationships was observed with the external diameter of venules.

Significant correlation relationships ($0.5 < r(x, y) < 0.7$) (**table 3**) were identified between the nuclear volume of spermatogonia and the external diameter of capillaries ($r=0.65$); the nuclear volume of Sertoli cells and the external diameter of capillaries ($r=0.51$); the nuclear volume of Leydig cells and the external diameter of venules ($r=-0.58$); the external diameter of arterioles and the number of Leydig cells ($r=-0.55$); and the external diameter of arterioles and the number of Sertoli cells ($r=0.53$).

Moderate correlation relationships ($0.3 < r(x, y) < 0.5$) (**table 4**) were identified between the nuclear volume of spermatogonia and the nuclear volume of Leydig cells ($r=-0.33$); the nuclear volume of Leydig cells and the number of Sertoli cells ($r=-0.36$); the number of spermatogonia and the number of Leydig cells ($r=-0.47$); the number of Sertoli cells and the number of Leydig cells ($r=-0.41$); the number of Leydig cells and the external diameter of venules ($r=0.44$); and the number of Leydig cells and the number of arterioles ($r=-0.38$).

Weak correlation relationships ($0 < r(x, y) < 0.3$) (**table 5**) were identified between the nuclear volume of spermatogonia and the number of Leydig cells ($r=-0.27$); the nuclear volume of Leydig cells and the external diameter of capillaries ($r=0.26$); and the nuclear volume of Leydig cells and the number of Leydig cells ($r=0.21$). During the correlation analysis of morphometric parameters, very strong correlation relationships ($0.9 < r(x, y) < 1.0$) (**table 1**) were also identified between the nuclear volume of spermatogonia and the nuclear volume of Sertoli cells ($r=0.91$); the nuclear volume of Sertoli cells and the number of arterioles ($r=0.90$); the nuclear volume of Leydig cells and the number of venules ($r=0.90$); the number of spermatogonia and the number of Sertoli cells ($r=0.99$); the number of spermatogonia and the number of arterioles ($r=0.99$); the number of spermatogonia and the external diameter of arterioles ($r=0.93$); the number of spermatogonia and the number of capillaries ($r=0.94$); the external diameter of arterioles and the number of

Sertoli cells ($r=0.93$); the external diameter of arterioles and the number of arterioles ($r=0.91$); the external diameter of arterioles and the number of capillaries ($r=0.97$); the number of Sertoli cells and the number of arterioles ($r=0.98$); the number of Sertoli cells and the number of capillaries ($r=0.95$); the external diameter of venules and the number of venules ($r=0.95$); and the number of arterioles and the number of capillaries ($r=0.94$).

During the conducted clinical and morphological study, it was demonstrated that against the background of surgical diseases of the testis in childhood, which significantly increased the risk of the subsequent development of male infertility, more pronounced specific features of individual nosological forms were identified. Subsequently, general patterns began to develop to a greater extent. Surgical diseases of the testes in children that led to disturbances of the testicular drainage systems resulted in male infertility, and in this process two stages of development were clearly distinguished:

- 1) the stage of partially adaptive changes;
- 2) the stage of irreversible disorders.

During the clinical and morphological analysis of the main causes of surgical diseases of the testis in childhood, cluster groups were conditionally distinguished, which had characteristic identifying features:

- a) acute surgical diseases of the testis of both inflammatory and traumatic etiology;
- b) disorders of the patency of the processus vaginalis of the peritoneum;
- c) anomalies of the physiological stages of testicular descent into the scrotum during the intrauterine period;

d) acquired occlusions of venous outflow through the testicular vein system.

Analysis of the data obtained during the study made it possible to determine the probability and degree of risk of irreversible disorders in the affected testis. The identified diseases, united by a common pathogenesis, were divided into separate cluster groups according to the severity of

Table 3 – Significant correlations between morphometric parameters of testicular biopsy in infertile men ($0.5 < r(x, y) < 0.7$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Nuclear volume of spermatogonia	$r(1, 8)=0.65$
2	Nuclear volume of Sertoli cells	$r(2, 8)=0.51$
3	Nuclear volume of Leydig cells	$r(3, 9)=-0.58$
4	Number of spermatogonia	No significant correlation relationships; $0.5 < r(x, y) < 0.7$
5	Number of Sertoli cells	$r(7, 5)=0.53$
6	Number of Leydig cells	$r(6, 7)=-0.55$
7	Diameter of arterioles	$r(2, 7)=0.51$; $r(7, 6)=-0.55$; $r(7, 5)=0.53$
8	Diameter of capillaries	$r(1, 8)=0.65$; $r(2, 8)=0.51$
9	Diameter of venules	$r(3, 9)=-0.58$

Notes: the sign “-” indicates a negative correlation, where an increase in one parameter is associated with a decrease in another.

Table 4 – Moderate correlations between morphometric parameters of testicular biopsy in infertile men ($0.3 < r(x, y) < 0.5$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Nuclear volume of spermatogonia	No moderate correlation relationships; $0.3 < r(x, y) < 0.5$
2	Nuclear volume of Sertoli cells	$r(2, 8)=0.42$
3	Nuclear volume of Leydig cells	$r(3, 7)=0.34$
4	Number of spermatogonia	$r(4, 7)=0.45$; $r(4, 8)=0.34$
5	Number of Sertoli cells	$r(5, 8)=0.34$
6	Number of Leydig cells	No moderate correlation relationships; $0.3 < r(x, y) < 0.5$
7	Diameter of arterioles	$r(3, 7)=0.34$; $r(4, 7)=0.55$; $r(7, 9)=-0.44$
8	Diameter of capillaries	$r(2, 8)=0.42$; $r(4, 8)=0.34$
9	Diameter of venules	$r(7, 9)=-0.44$

Notes: the sign “-” indicates a negative correlation, where an increase in one parameter is associated with a decrease in another.

disorders and the rate of infertility development. Taking into account the degree of impairment of the testicular drainage systems, these diseases can be ranked according to the degree of risk as follows:

- 1) cryptorchidism;
- 2) disorders of obliteration of the processus vaginalis of the peritoneum;
- 3) varicocele;
- 4) orchiepididymitis.

Against the background of venous stasis associated with disorders of the testicular drainage systems, a large number of vacuoles appear in the cytoplasm of cells of

Table 5 – Weak correlations between morphometric parameters of testicular biopsy in infertile men ($0 < r(x, y) < 0.3$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Nuclear volume of spermatogonia	$r(1, 6)=-0.27$
2	Nuclear volume of Sertoli cells	$r(2, 6)=-0.06$
3	Nuclear volume of Leydig cells	$r(3, 8)=0.26$; $r(3, 8)=0.21$; $r(3, 6)=0.21$
4	Number of spermatogonia	$r(4, 6)=-0.25$
5	Number of Sertoli cells	$r(5, 6)=-0.11$
6	Number of Leydig cells	$r(1, 6)=-0.27$; $r(2, 6)=-0.06$; $r(3, 6)=0.21$
7	Diameter of arterioles	No weak correlation relationships; $0 < r(x, y) < 0.3$
8	Diameter of capillaries	$r(3, 8)=0.26$
9	Diameter of venules	No weak correlation relationships; $0 < r(x, y) < 0.3$

Notes: the sign “-” indicates a negative correlation, where an increase in one parameter is associated with a decrease in another.

the spermatogenic epithelium. Lipid inclusions accumulate in the cytoplasm of Sertoli cells. Vacuolated regions of cytoplasm and separately located groups of dilated tubules of the endoplasmic reticulum are also observed. The basement membrane becomes tortuous, forming projections into the lumen of the seminiferous tubules, between spermatogonia, or directly into the cytoplasm of Sertoli cells.

Thus, the summarized results of the conducted clinical and morphological study reliably demonstrated that disturbances of the testicular drainage systems caused by surgical diseases of the testis in childhood lead to irreversible structural changes in the affected testis in cases of cryptorchidism, disorders of obliteration of the processus vaginalis of the peritoneum, varicocele, and orchepididymitis. Male infertility begins to form gradually in childhood, which eventually results in infertility in adulthood, since the contralateral testis temporarily assumes a compensatory function.

The study demonstrated that the pathogenesis of male infertility caused by surgical diseases of the testis in childhood is a highly complex process and should be considered taking into account all aspects of its development, adapting the analysis to each individual case. In this context, it is important to consider not only the

condition of individual cells and systems but also the interrelationship of systems during the process of their changes, which most significantly influences the transition from compensatory-adaptive cellular and tissue changes to irreversible disorders.

Conclusions.

1. A significant finding of the study was the establishment of morphometric correlation relationships between changes in the external diameters of vessels of the hemomicrocirculatory bed (strong correlations $0.7 < r(x, y) < 0.9$).

2. Disturbances of the testicular drainage systems in the pathogenesis of male infertility cause very strong morphometric correlation relationships ($0.9 < r(x, y) < 1.0$), which exist only between the number of cells and the nuclear volume of the spermatogenic and endocrine epithelium.

Prospects for further research.

Based on the obtained data, one of the priority directions for further research is the development of pathogenetically justified minimally invasive surgical methods for the treatment of testicular diseases in childhood, which represents an important step in the fight against male infertility.

DOI 29254/2077-4214-2026-1-180-409-417

УДК 616.697-092:576.31

Байбаков В. М., Островська С. С., Мунтян С. О., Хоботова Н. В.,
Ейсмунд П. А., Алексєнко В. В., Срібник П. Л.

**МОРФОМЕТРИЧНИЙ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ
ЯЄЧКА У ПАТОГЕНЕЗІ ЧОЛОВІЧОГО БЕЗПЛІДДА ПРИ ДИТЯЧИХ ХІРУРГІЧНИХ
ЗАХВОРЮВАННЯХ ЯЄЧКА В АНАМНЕЗІ**

Європейський медичний університет (м. Дніпро, Україна)

baybakov-vm@ukr.net

Формування принципів організації морфофункціональних особливостей дренажної системи яєчка, а також структур чоловічої репродуктивної системи є актуальними напрямками для подальших клінічних та морфологічних досліджень патогенезу чоловічого безпліддя. У проведеному науковому дослідженні вивчалися дані пункційної біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків, які в дитячому віці перенесли хірургічне втручання цього органу. Під час проведення структурного морфометричного кореляційного аналізу для визначення основних причин даної патології, захворювання були умовно розділені на кластерні групи, які мали характерні ідентифікаційні ознаки в залежності від ступеню порушення функції дренажних систем яєчка. Морфометричний аналіз кореляційних залежностей підтвердив тісний взаємозв'язок між показниками стану сперматогенного епітелію та судинами мікроциркуляторного русла дренажних систем яєчка. Знання віддалених результатів в області репродуктивної функції яєчка після операцій у дітей з приводу крипторхізму, варикоцеле, порушень облітерації вагінального відростка очеревини, запальних захворювань яєчка при названій патології залишаються фрагментарними і недостатньо глибокими. Дослідження показало, що у дітей, які в дитячому віці перенесли хірургічне втручання при захворюванні яєчок, відбуваються суттєві порушення у судинній системі цього органу з поступовим зниженням фертильної функції і розвитком безпліддя. Досягнуті останнім часом успіхи у вивченні артеріального, венозного, лімфатичного русла та сім'я виносних шляхів яєчка дозволили розширити уявлення стосовно деяких аспектів патогенезу чоловічого безпліддя, зрозуміти окремі питання морфофункціонального стану дренажних систем яєчка.

Ключові слова: патологія яєчок у дітей, хірургічні втручання, чоловіче безпліддя, морфометрія біоптатів яєчок, структурний кореляційний аналіз.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Дослідження є фрагментом НДР кафедри хірургічних хвороб: «Розробка та удосконалення методів діагностики і хірургічного лікування органів черевної порожнини при гострих хірургічних захворюваннях

та їх ускладненнях», номер державної реєстрації 0118U004202.

Вступ.

Клініко-морфологічні особливості структурної організації дренажних систем яєчка, як компонентів чоловічої статевий системи, потребують всебічного

вивчення та проведення подальших досліджень [1, 2, 3, 4]. На сучасному етапі відомо, що зміни в яєчках у дітей після хірургічного втручання, порушують повноцінну функцію утворення сперматозоїдів в дорослому віці і призводять до безпліддя [5, 6, 7]. Отримані дані із сучасних наукових літературних джерел свідчать про те, що морфо-функціональні та морфометричні дослідження, при вивченні патогенезу безпліддя у чоловіків, відповідають загальним закономірностям, пов'язаних зі змінами в дренажних системах яєчка ще у дитячому віці, які супроводжувались хірургічним втручанням [8, 9].

Мета дослідження.

Дослідити основні морфофункціональні паралелі та морфометричні кореляції між порушеннями дренажних систем яєчка в дитячому віці в результаті хірургічного лікування та розвитком чоловічого безпліддя

Об'єкт і методи дослідження.

В проведеному науковому дослідженні були отримані дані пункційної біопсії яєчок 98 хворих на безпліддя чоловіків, які перенесли в дитячому віці хірургічні захворювання яєчка. До початку будь-яких процедур усі пацієнти надали інформовану добровільну згоду на участь. Проводили морфометричні та морфофункціональні дослідження з використанням запропонованої математичної моделі кореляційного морфометричного аналізу окремих кластерів та

Комісією з питань біоетики з протоколу засідання комітету з біомедичної етики Європейського медичного університету (№ 1 від 12 січня 2025 р.) порушень морально-етичних норм при проведенні науково-дослідної роботи не виявлено.

Результати дослідження та їх обговорення.

Виявлені дуже сильні морфометричні кореляційні зв'язки $0,9 < r(x, y) < 1,0$ (табл. 1) між обсягом ядер сперматогоній і обсягом ядер клітин Сертолі – $r=0,98$; обсягом ядер сперматогоній і обсягом ядер клітин Лейдига – $r=0,92$; обсягом ядер сперматогоній і кількістю сперматогоній – $r=0,92$; обсягом ядер сперматогоній і кількістю клітин Сертолі – $r=0,92$; обсягом ядер клітин Сертолі і обсягом ядер клітин Лейдига – $r=0,98$; обсягом ядер клітин Сертолі і кількістю сперматогоній – $r=0,95$; обсягом ядер клітин Сертолі і кількістю клітин Сертолі – $r=0,94$; обсягом ядер клітин Лейдига і кількістю клітин Сертолі – $r=0,91$; кількістю сперматогоній і кількістю клітин Сертолі – $r=0,95$.

Сильні кореляційні зв'язки $0,7 < r(x, y) < 0,9$ (табл. 2) виявлені між обсягом ядер сперматогоній і зовнішнім діаметром артеріол – $r=0,70$; обсягом ядер клітин Сертолі і зовнішнім діаметром вену – $r=0,79$; обсягом м ядер клітин Сертолі і зовнішнім діаметром вену – $r=0,74$; обсягом ядер клітин Лейдига і кількістю сперматогоній – $r=0,89$; кількістю сперматогоній і зовнішнім діаметром венул – $r= -0,85$; зовнішнім діаметром артеріол і зовнішнім діаметром

Таблиця 1 – Дуже сильні кореляційні зв'язки морфометричних параметрів біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків ($0,9 < r(x, y) < 1,0$)

N	Морфометричні параметри	Коефіцієнти кореляції, $r(x, y)$
1	Обсяг ядер сперматогоній	$r(1, 2)=0,98$; $r(1, 3)=0,92$; $r(1, 4)=0,92$; $r(1, 5)=0,92$
2	Обсяг ядер клітин Сертолі	$r(2, 3)=0,98$; $r(2, 4)=0,95$; $r(2, 5)=0,94$
3	Обсяг ядер клітин Лейдига	$r(3, 5)=0,91$; $r(2, 3)=0,98$; $r(1, 3)=0,92$
4	Кількість сперматогоній	$r(4, 5)=0,95$; $r(2, 4)=0,95$; $r(1, 4)=0,92$
5	Кількість клітин Сертолі	$r(1, 5)=0,92$; $r(2, 5)=0,94$; $r(3, 5)=0,91$; $r(4, 5)=0,95$
6	Кількість клітин Лейдига	Сильних кореляційних зв'язків немає; $0,9 < r(x, y) < 1,0$
7	Діаметр артеріол	Сильних кореляційних зв'язків немає; $0,9 < r(x, y) < 1,0$
8	Діаметр капілярів	Сильних кореляційних зв'язків немає; $0,9 < r(x, y) < 1,0$
9	Діаметр венул	Сильних кореляційних зв'язків немає; $0,9 < r(x, y) < 1,0$

Примітки: знак “-” вказує на негативний кореляційний зв'язок, коли із збільшенням одного параметра зменшується інший.

груп хворих на безпліддя чоловіків, в анамнезі яких були перенесені в дитинстві оперативні втручання з приводу крипторхізму, варикоцеле, порушень облітерації піхвового відростка очеревини та запальних захворюваннях яєчка. Контролем були дані літератури по морфофункціональній структурі дренажних систем яєчка в різні вікові періоди [10, 11, 12].

Проводили заміри зовнішніх діаметрів артеріол, капілярів, венул. Крім того, вираховувалось знаходження в одиниці площі інтерстиційної тканини артеріол, капілярів і венул. Структурний стан дренажних систем яєчка вивчали методами забарвлення парафінових зрізів гематоксиліном-еозіном, методом Малорі-Слінченко з подальшою морфометрією. Відповідно математичної моделі розраховували коефіцієнти парної кореляції Пірсона (r) з оцінкою його рівня значимості (p) і сили зв'язку.

Таблиця 2 – Сильні кореляційні зв'язки морфометричних параметрів біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків ($0,7 < r(x, y) < 0,9$)

N	Morphometric parameter	Correlation coefficients, $r(x, y)$
1	Обсяг ядер сперматогоній	$r(1, 7)=0,70$; $r(1, 9)= -0,79$
2	Обсяг ядер клітин Сертолі.	$r(2, 9)=-0,74$
3	Обсяг ядер клітин Лейдига	$r(3, 4)=0,89$
4	Кількість сперматогоній	$r(3, 4)=0,89$; $r(4, 9)=-0,85$
5	Кількість клітин Сертолі	$r(5, 9)=-0,79$
6	Кількість клітин Лейдига	$r(6, 8)=-0,82$; $r(6, 9)=0,75$
7	Діаметр артеріол	$r(1, 7)=0,70$; $r(7, 8)=0,78$
8	Діаметр капілярів	$r(7, 8)=0,78$; $r(8, 6)=-0,82$
9	Діаметр венул	$r(1, 9)=-0,79$; $r(2, 9)=-0,74$

Примітки: знак “-” вказує на негативний кореляційний зв'язок, коли із збільшенням одного параметра зменшується інший.

Таблиця 3 – Суттєві кореляційні зв'язки морфометричних параметрів біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків ($0,5 < r(x, y) < 0,7$)

N	Морфометричні параметри	Коефіцієнти кореляції, $r(x, y)$
1	Обсяг ядер сперматогоній	$r(1, 8)=0,65$
2	Обсяг ядер клітин Сертолі	$r(2, 8)=0,51$
3	Обсяг ядер клітин Лейдіга	$r(3, 9)=-0,58$
4	Кількість сперматогоній	Суттєвих кореляційних зв'язків немає; $0,5 < r(x, y) < 0,7$
5	Кількість клітин Сертолі	$r(7, 5)=0,53$
6	Кількість клітин Лейдіга	$r(6, 7)=-0,55$
7	Діаметр артеріол	$r(2, 7)=0,51$; $r(7, 6)=-0,55$; $r(7, 5)=0,53$
8	Діаметр капілярів	$r(1, 8)=0,65$; $r(2, 8)=0,51$
9	Діаметр венул	$r(3, 9)=-0,58$

Примітки: знак “-” вказує на негативний кореляційний зв'язок, коли із збільшенням одного параметра зменшується інший.

Таблиця 4 – Помірні кореляційні зв'язки морфометричних параметрів біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків ($0,3 < r(x, y) < 0,5$)

N	Морфометричні параметри	Коефіцієнти кореляції, $r(x, y)$
1	Обсяг ядер сперматогоній	Помірних кореляційних зв'язків немає; $0,3 < r(x, y) < 0,5$
2	Обсяг ядер клітин Сертолі	$r(2, 8)=0,42$
3	Обсяг ядер клітин Лейдіга	$r(3, 7)=0,34$
4	Кількість сперматогоній	$r(4, 7)=0,45$; $r(4, 8)=0,34$
5	Кількість клітин Сертолі	$r(5, 8)=0,34$
6	Кількість клітин Лейдіга	Помірних кореляційних зв'язків немає; $0,3 < r(x, y) < 0,5$
7	Діаметр артеріол	$r(3, 7)=0,34$; $r(4, 7)=0,55$; $r(7, 9)=-0,44$
8	Діаметр капілярів	$r(2, 8)=0,42$; $r(4, 8)=0,34$
9	Діаметр венул	$r(7, 9)=-0,44$

Примітка: знак “-” вказує на негативний кореляційний зв'язок, коли із збільшенням одного параметра зменшується інший.

капілярів – $r=0,78$; кількістю клітин Сертолі і зовнішнім діаметром венул – $r=-0,79$; зовнішнім діаметром капілярів і кількістю клітин Лейдіга – $r=0,82$; зовнішнім діаметром капілярів і зовнішнім діаметром венул – $r=0,70$. Найбільшу кількість сильних морфометричних кореляційних зв'язків фіксовано утворення з зовнішнім діаметром венул.

Суттєві кореляційні зв'язки $0,5 < r(x, y) < 0,7$ (табл. 3) виявлені між обсягом ядер сперматогоній і зовнішнім діаметром капілярів – $r=0,65$; обсягом ядер клітин Сертолі і зовнішнім діаметром

Таблиця 5 – Слабі кореляційні зв'язки морфометричних параметрів біопсії яєчок хворих на безпліддя чоловіків ($0 < r(x, y) < 0,3$)

N	Морфометричні параметри	Коефіцієнти кореляції, $r(x, y)$
1	Обсяг ядер сперматогоній	$r(1, 6)=-0,27$
2	Обсяг ядер клітин Сертолі	$r(2, 6)=-0,06$
3	Обсяг ядер клітин Лейдіга	$r(3, 8)=0,26$; $r(3, 8)=0,21$; $r(3, 6)=0,21$
4	Кількість сперматогоній	$r(4, 6)=-0,25$
5	Кількість клітин Сертолі	$r(5, 6)=-0,11$
6	Кількість клітин Лейдіга	$r(1, 6)=-0,27$; $r(2, 6)=-0,06$; $r(3, 6)=0,21$
7	Діаметр артеріол	Слабих кореляційних зв'язків немає; $0 < r(x, y) < 0,3$
8	Діаметр капілярів	$r(3, 8)=0,26$
9	Діаметр венул	Слабих кореляційних зв'язків немає; $0 < r(x, y) < 0,3$

Примітки: знак “-” вказує на негативний кореляційний зв'язок, коли із збільшенням одного параметра зменшується інший.

капілярів – $r=0,51$; обсягом ядер клітин Лейдіга і зовнішнім діаметром венул – $r=-0,58$; зовнішнім діаметром артеріол і кількістю клітин Лейдіга – $r=-0,55$; зовнішнім діаметром артеріол і кількістю клітин Сертолі – $r=0,53$.

Помірні кореляційні зв'язки $0,3 < r(x, y) < 0,5$ (табл. 4) виявлені між обсягом ядер сперматогоній і обсягом ядер клітин Лейдіга – $r=-0,33$; обсягом ядер клітин Лейдіга і кількістю клітин Сертолі – $r=-0,36$; кількістю сперматогоній і кількістю клітин Лейдіга – $r=-0,47$; кількістю клітин Сертолі і кількістю клітин Лейдіга – $r=-0,41$; кількістю клітин Лейдіга і зовнішнім діаметром венул – $r=0,44$; кількістю клітин Лейдіга і кількістю артеріол – $r=-0,38$.

Слабі кореляційні зв'язки $0 < r(x, y) < 0,3$ (табл. 5) виявлені між обсягом ядер сперматогоній і кількістю клітин Лейдіга – $r=-0,27$; обсягом ядер клітин Лейдіга і зовнішнім діаметром проведених капілярів – $r=0,26$; обсягом ядер клітин Лейдіга і кількістю клітин Лейдіга – $r=0,21$. При вивченні кореляційного аналізу морфометричних параметрів дуже сильні кореляційні зв'язки $0,9 < r(x, y) < 1,0$ (табл. 1) виявлені між обсягом ядер сперматогоній і обсягом ядер клітин Сертолі – $r=0,91$; обсягом ядер клітин Сертолі і кількістю артеріол – $r=0,90$; обсягом ядер клітин Лейдіга і кількістю венул – $r=0,90$; кількістю сперматогоній і кількістю клітин Сертолі – $r=0,99$; кількістю сперматогоній і кількістю артеріол – $r=0,99$; кількістю сперматогоній і зовнішнім діаметром артеріол – $r=0,93$; кількістю сперматогоній і кількістю капілярів – $r=0,94$; зовнішнім діаметром артеріол і кількістю клітин Сертолі – $r=0,93$; зовнішнім діаметром артеріол і кількістю капілярів – $r=0,97$; кількістю клітин Сертолі і кількістю артеріол – $r=0,98$; кількістю клітин Сертолі і кількістю капілярів – $r=0,95$; зовнішнім діаметром венул і кількістю венул – $r=0,95$; кількістю артеріол і кількістю капілярів – $r=0,94$.

Під час проведення клініко-морфологічного дослідження нами доведено,

що на фоні хірургічних захворювань яєчка у дітей, які істотно підвищували ризик ймовірного розвитку чоловічого безпліддя в подальшому, були визначені більш виражені окремі особливості нозологічних форм. А в наступному, в більшій мірі, починали розвиватися загальні закономірності. Хірургічні захворювання яєчок у дітей, які призводили до порушення дренажних систем яєчка, вели до безпліддя у чоловіків та на цьому фоні чітко простежувались 2 етапи розвитку:

- 1) етап частково-адаптаційних змін;
- 2) етап безпосередньо незворотних порушень.

Під час проведення клініко-морфологічного аналізу основних причин хірургічних захворювань яєчка в дитячому віці, були умовно відокремлені кластерні групи, які мали характерні ідентифікаційні ознаки:

- а) гострі хірургічні захворювання яєчка, як запальної, так і травматичної етіології;
- б) вади прохідності піхвового відростка черевини;
- в) аномалії фізіологічної етапності опущення яєчок в калитку у внутрішньоутробному періоді;
- г) набуті оклюзії венозного відтоку по системі яєчкових вен.

Аналіз отриманих під час дослідження даних дозволив визначити ймовірність та ступень ризику незворотних порушень в ураженому яєчку. Виділені захворювання, які були пов'язані єдиним патогенезом та розподілені на окремі кластерні групи за ступенем важкості порушень і швидкості розвитку безпліддя. Враховуючи ступень порушення дренажних систем яєчка, ці захворювання можна розподілити за ступенем ризику в наступному порядку:

- 1) крипторхізм;
- 2) порушення облітерації піхвового відростка очеревини;
- 3) варикоцеле;
- 4) орхоепідидиміти.

На фоні веностазу, при порушеннях дренажних систем яєчка, у цитоплазмі клітин сперматогенного епітелію з'являється велика кількість вакуолей. У цитоплазмі клітин Сертолі накопичуються ліпідні включення. Зустрічаються вакуолізовані ділянки цитоплазми і розташовані окремо групи розширених

каналців ендоплазматичної сітки. Базальна мембрана звивиста, утворює вирости в просвіт сім'яних трубочок, між сперматогоніями або безпосередньо в цитоплазму клітин Сертолі.

Таким чином, узагальнюючі результати проведеного клініко-морфологічного дослідження, достовірно довели, що порушення дренажних систем яєчка внаслідок його хірургічних захворювань в дитячому віці призводять до незворотних структурних порушень в ураженому яєчку при крипторхізмі, порушенні облітерації піхвового відростка очеревини, варикоцеле, орхоепідидиміти. Чоловіче безпліддя формується ще в дитячому віці поступово і це призводять до безпліддя у чоловіків, оскільки контралатеральне яєчко деякий час бере на себе компенсаторну функцію.

В дослідженні доведено, що патогенез чоловічого безпліддя внаслідок перенесених хірургічних захворювань яєчка в дитячому віці є дуже складним процесом і розглядати його треба з урахуванням всіх сторін розвитку, пристосовуючи до кожного індивідуального випадку. При цьому важливо звертати увагу на стан не тільки окремих клітин і систем, а й на взаємозв'язок систем в процесі їх змін, котрі найбільш впливають на перехід компенсаторно-адаптаційних змін клітин і тканин у стан незворотних порушень.

Висновки.

1. Суттєвим фактом дослідження є встановлення морфометричних кореляційних зв'язків між змінами зовнішніх діаметрів судин гемомікроциркуляторного русла (сильні кореляційні зв'язки $0,7 < r(x, y) < 0,9$).

2. Порушення дренажних систем яєчка в патогенезі чоловічого безпліддя викликає дуже сильні морфометричні кореляційні зв'язки $0,9 < r(x, y) < 1,0$, які існують тільки між кількістю клітин і обсягом ядер сперматогенного та ендокринотворчого епітелію.

Перспективи подальших досліджень.

На підставі отриманих даних визначено, що одним із пріоритетних напрямків подальших досліджень є розробка патогенетично обґрунтованих малоінвазивних методів оперативного лікування хірургічних захворювань яєчка в дитячому віці, що є важливим кроком в боротьбі з чоловічим безпліддям.

References / Література

1. Anjamrooz SH, Azari H, Abedinzadeh M. Abnormal patterns of the renal veins. *Anat. Cell Biol.* 2022;45(1):57-61.
2. Choi WS, Kim SW. Current Issues in Varicocele Management: a Review. *World. J. Mens. Health.* 2023;31(1):12-20.
3. Luo DY, Yang G, Liu JJ. Effects of varicocele on testosterone, apoptosis and expression of StAR mRNA in rat Leydig cells. *Asian. J. Androl.* 2021;13(2):287-291.
4. Liu G, Yu F, Dai DZ. Endoplasmic reticulum stress mediating down regulated StAR and 3-beta-HSD and low plasma testosterone caused by hypoxia is attenuated by CPU86017-RS and nifedipine. *J. Biomed. Sci.* 2022;19(1):4.
5. Goldstein M, Schlegel PN. Surgical and medical management of male infertility. Cambridge: Cambridge University Press; 2023. 351 p.
6. Mehta A, Goldstein M. Microsurgical varicocelectomy: a review. *Asian Journal of Andrology.* 2023;15:56-60.
7. Farias JG, Puebla M, Acevedo A. Oxidative stress in rat testis and epididymis under intermittent hypobaric hypoxia: protective role of ascorbate supplementation. *Journal of Andrology.* 2020;31(3):314-321.
8. Shiraishi K, Matsuyama H, Takihara H. Pathophysiology of varicocele in the male infertility in the era of assisted reproductive technology. *International Journal of Urology.* 2022;19:538-550.
9. Ho CH, Yang SS, Tsai YC. Minilaparoscopic high-ligation with the processus vaginalis undissected and left in situ is a safe, effective, and durable treatment for pediatric hydrocele. *Urology.* 2022;76:134-137.
10. Sozubir S, Ekingen G, Senel UA. Continuous debate on contralateral processus vaginalis: evaluation technique and approach to patency. *Hernia.* 2023;10(1):74-78.
11. Wang JH, Zhang W, Tou JF. Incidence of Pediatric Metachronous Contralateral Inguinal Hernia in Children Aged Year ≥ 1 year. *World Journal of Pediatrics.* 2022;8:256-259.
12. Zavras N, Christou A, Misiakos E. Current Trends in the Management of Inguinal Hernia in Children. *International Journal of Clinical Medicine.* 2023;5:770-777.

МОРФОМЕТРИЧНИЙ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ ЯЄЧКА У ПАТОГЕНЕЗІ ЧОЛОВІЧОГО БЕЗПЛІДДЯ ПРИ ДИТЯЧИХ ХІРУРГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ЯЄЧКА В АНАМНЕЗІ

Байбаков В. М., Островська С. С., Мунтян С. О., Хоботова Н. В., Ейсмунд П. А., Алексєнко В. В., Срібник П. Л.

Резюме. Патологічні зміни у статевій системі чоловіків, що призводять до зниження фертильної функції, пов'язані із захворюваннями яєчка у дитячому віці. Це супроводжується порушеннями сперматогенезу і, як наслідок, призводить до розвитку чоловічого безпліддя. Метою дослідження було дослідження основних морфометричних аналогій у патогенезі чоловічого безпліддя при дитячих хірургічних захворювань яєчка в анамнезі. Матеріалом дослідження були зразки біопсії яєчок чоловіків з безпліддям, які в дитинстві перенесли хірургічні втручання при захворюванні яєчок. Морфометричним вимірам підлягали ядра сперматогоній, клітин Сертолі і Лейдіга, зовнішні діаметри артеріол, капілярів і венул. Розраховували коефіцієнти стандартної кореляції за Пірсоном, оцінювали їх силу та рівень значущості. При аналізі клінічних та морфометричних даних були показані загальні механізми патогенезу чоловічого безпліддя. В їх основі лежать чисельні порушення дренажної системи яєчка під час хірургічних захворювань у дитячому віці. Істотним фактором є встановлення сильної морфометричної кореляції між змінами зовнішніх діаметрів судин гемомікроциркуляторного русла. Виявлена зворотня, статистично значуща кореляція між кількістю венул та артеріол. Результати морфометричного кореляційного аналізу підтверджують наявність прямих позитивних кореляцій між змінами в сперматогенному та ендокринотворчому епітелії. Показано, що у патогенезі чоловічого безпліддя суттєвим фактором є встановлення сильних морфометричних кореляційних зв'язків між змінами зовнішніх діаметрів судин, які підлягали морфометрії. Зменшення об'єму ядра та кількості статевих клітин в епітелії переважно пов'язане зі збільшенням зовнішнього діаметра венул, на що вказує негативна кореляція, тоді як збільшення об'єму ядерних клітин Лейдіга пов'язане зі збільшенням зовнішнього діаметра артеріол. Висвітлена наукова проблема потребує подальших досліджень і систематизації отриманих результатів стосовно змін, які виникають у кровоносних та лімфатичних судинах, звивистих сім'яних трубочках, гемато-тестикулярному бар'єрі, інтерстиції яєчка з порушеннями дренажних систем яєчка внаслідок його хірургічних захворювань в дитячому віці.

Ключові слова: патологія яєчок у дітей, хірургічні втручання, чоловіче безпліддя, морфометрія біоптатів яєчок, структурний кореляційний аналіз.

MORPHOMETRIC CORRELATION ANALYSIS OF TESTICULAR DRAINAGE SYSTEMS IN THE PATHOGENESIS OF MALE INFERTILITY IN CHILDREN'S SURGICAL DISEASES OF THE TESTICLE IN THE HISTORY

Baibakov V. M., Ostrovska S. S., Muntyan S. O., Khabotova N. V., Eismund P. A., Alekseenko V. V., Sribnyk P. L.

Abstract. Pathological changes in the male reproductive system, leading to a decrease in fertile function, are associated with testicular diseases in childhood. This is accompanied by disorders of spermatogenesis and, as a result, leads to the development of male infertility. The aim of the study was to investigate the main morphometric analogies in the pathogenesis of male infertility in children's surgical diseases of the testicle in the anamnesis. The study material was testicular biopsy samples from infertile men who had undergone surgical interventions for testicular disease in childhood. Morphometric measurements were performed on the nuclei of spermatogonia, Sertoli and Leydig cells, and the outer diameters of arterioles, capillaries, and venules. Pearson's standard correlation coefficients were calculated, and their strength and significance level were assessed. The analysis of clinical and morphometric data revealed general mechanisms of male infertility pathogenesis. They are based on numerical disorders of the testicular drainage system during surgical diseases in childhood. A significant factor is the establishment of a strong morphometric correlation between changes in the outer diameters of the hemomicrocirculatory vessels. An inverse, statistically significant correlation between the number of venules and arterioles was found. The results of morphometric correlation analysis confirm the presence of direct positive correlations between changes in spermatogenic and endocrine epithelium. It is shown that in the pathogenesis of male infertility, a significant factor is the establishment of strong morphometric correlations between changes in the external diameters of the vessels that were subjected to morphometry. A decrease in the volume of the nucleus and the number of germ cells in the epithelium is mainly associated with an increase in the external diameter of venules, as indicated by a negative correlation, while an increase in the volume of nuclear Leydig cells is associated with an increase in the external diameter of arterioles. The highlighted scientific problem requires further research and systematization of the results obtained regarding changes that occur in blood and lymphatic vessels, convoluted seminiferous tubules, the hematotesticular barrier, the testicular interstitium with disorders of the testicular drainage systems as a result of its surgical diseases in childhood.

Key words: testicular pathology in children, surgical interventions, male infertility, morphometry of testicular biopsies, structural correlation analysis.

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

Baibakov V. M.: <https://orcid.org/0000-0001-8632-103X>^{ABD}

Ostrovska S. S.: <https://orcid.org/0000-0002-0373-3491>^{EF}

Muntyan S. O.: <https://orcid.org/0009-0004-6817-9761>^A

Khabotova N. V.: <https://orcid.org/0000-0003-3945-423X>^{BC}

Eismund P. A.: <https://orcid.org/0009-0006-4251-7499>^C

Alekseenko V. V.: <https://orcid.org/0000-0002-7944-4602>^{BC}

Sribnyk P. L.: <https://orcid.org/0000-0001-8533-6301>^B

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Vaibakov Volodymyr Mykhailovych / Байбаков Володимир Михайлович

European Medical University / Європейський медичний університет

Ukraine, 49005, Dnipro, 3 Academician Georgy Dzyak str. / 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.

This article is distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution (CC-BY) License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited © All authors, 2026 / Ця стаття розповсюджується на умовах ліцензії **Creative Commons Attribution (CC-BY)**, яка дозволяє необмежене використання, поширення та відтворення в будь-якому форматі за умови належного цитування оригінальної роботи © Всі автори, 2026

Received 01.11.2025 / Стаття надійшла 01.11.2025 року

Accepted 03.03.2026 / Стаття прийнята до друку 03.03.2026 року

Published 27.03.2026 / Опубліковано 27.03.2026 року

DOI 29254/2077-4214-2026-1-180-417-425

UDC 611.717.4/.5-053.6:612.65

Biryuk I. G.

SEX AND AGE-RELATED PATTERNS OF METACARPAL BONE GROWTH IN PUBERTAL CHILDREN

Buchovinian State Medical University (Chernivtsi, Ukraine)

biryuk.igor@bsmu.edu.ua

The study of the patterns of postnatal growth of the hand skeleton is a fundamental task of anthropology and pediatrics, since the condition of the skeletal system serves as an objective indicator of a child's biological age. The aim of the present study was to determine the sex- and age-related characteristics of metacarpal bone growth in children aged 12-16 years. The study was based on a retrospective morphometric analysis of 182 radiographs obtained from patients without skeletal system pathology (97 boys and 85 girls). The results confirmed that the pubertal period is characterized by intensive remodeling, specific rates of osteogenesis, and pronounced sexual dimorphism. In girls, the peak of growth activity occurs at 12-13 years, after which a gradual slowdown is observed, and after 15 years a physiological stabilization of hand size takes place. In contrast, in boys active longitudinal growth begins at 13 years, with the highest intensity recorded at 14-15 years. By the age of 16 years, boys demonstrate clear morphometric predominance, exceeding girls in the length of all metacarpal bones. The analysis of bilateral asymmetry revealed minimal differences between the right and left hands (within 0.3-1.2%), indicating the predominance of genetic determination over functional load. The obtained data correlate with international observations and confirm the concept of the "pubertal crossover." Special attention was paid to the 14-15-year age period in boys, when rapid bone elongation may outpace their mineralization, thereby increasing the risk of trauma. These findings support the use of morphometric parameters of the metacarpal bones as reliable markers of biological age in clinical practice and in the planning of physical activity for adolescents.

Key words: ontogenesis, pubertal period, metacarpal bones, hand skeleton, sexual dimorphism.

Connection of the publication with planned research work.

The study is part of a comprehensive research project by the Department of Anatomy, Clinical Anatomy, and Operative Surgery titled "Sex- and age-related patterns of ontogenetic changes and morphometric parameters of organs and structures under normal and experimental conditions. Morpho-functional and anthropometric features of the musculoskeletal system in athletes" (state registration number 0125U001531).

Introduction.

One of the pressing issues of modern age-related morphology is the clarification of factors determining the uneven growth of body parts, particularly the hand skeleton, during the pre- and postnatal stages of human ontogenesis. A systemic approach to genesis makes

it possible not only to reveal the direction of embryogenetic changes but also to clarify the phylogenesis of functions and the transformation of organs in relation to changing environmental conditions [1, 2].

The hand of an adult has a narrower shape than that of a newborn. During the period of postnatal growth, the longitudinal dimension of the hand increases more intensively than the transverse dimension. In the final phase of growth, the rates of increase along the transverse and longitudinal axes almost equalize; however, this does not lead to a substantial change in the configuration of the palm, which is largely determined by the age of 10 years [3, 4]. Changes in the linear dimensions of the hand are primarily determined by longitudinal growth, which maintains positive heterodynamic development throughout most of the growth period. The