

relief formed by villi and crypts. The villous surface is lined with a simple columnar epithelium containing goblet cells, columnar epithelial cells with a brush border, columnar epithelial cells without a brush border, and endocrine cells. The haemomicrocirculatory bed is represented by the capacitive (venules), resistive (arterioles) and exchange (capillaries) links, which are present in both the submucosa and mucosa. The results obtained indicate that the morphological organisation of the rat ileum largely corresponds to that of the human ileum, thereby providing a foundation for further experimental studies and the practical application of findings in the search for effective approaches to the prevention and treatment of small intestinal diseases in humans. Moreover, the results may serve as a basis for evaluating morphofunctional changes in the rat ileum under the influence of complex chemical food additives.

Key words: digestive tract, ileum, intestinal wall, goblet cells, columnar epithelial cells with brush border, venules, arterioles, capillaries, rats, experimental study.

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

Oliinichenko Ya. O.: <https://orcid.org/0000-0001-7724-7333>^{ABCD}

Bilash S. M.: <https://orcid.org/0000-0002-8351-6090>^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Oliinichenko Yaryna Oleksandrivna / Олійніченко Ярина Олександрівна

Poltava State Medical University / Полтавський державний медичний університет

Ukraine, 36011, Poltava, 23 Shevchenka str. / Адреса: Україна, 36011, м. Полтава, вул. Шевченка 23

Tel.: +380993768678 / Тел.: +380993768678

E-mail: ya.oliinichenko@pdmu.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 17.04.2025 / Стаття надійшла 17.04.2025 року
Accepted 13.08.2025 / Стаття прийнята до друку 13.08.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-410-419

UDC 616.37-002-036.11-085.032.13

Savka I. I., Pokotylo P. B.

ASSESSMENT OF MORPHOMETRIC CHANGES IN THE ANGIOARCHITECTONICS OF THE TESTIS UNDER EXPERIMENTAL DIABETES MELLITUS

Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Lviv, Ukraine)

irynasavka05@gmail.com

To diagnose complications of diabetes mellitus, it is essential to understand the structural features and blood supply of the organs affected by diabetes mellitus. The vessels of the haemomicrocirculatory bed play an important role in immune processes. The frequency of vascular damage (micro- and macroangiopathy) in diabetes mellitus ranges from 68% to 91%. Peripheral vascular damage in these patients is observed 30 times more often than in people of the same age without diabetes mellitus. Numerous studies have been devoted to this problem. Domestic and foreign scientists have studied the mechanism of development of diabetic angiopathies. There are many unresolved issues regarding morphological changes in organs and their haemomicrocirculatory bed in diabetes mellitus, qualitative and quantitative changes in the angioarchitectonics of rat organs in experimental diabetes mellitus, and the problems of successfully selecting the most effective methods of treating vascular disorders of organs in diabetes mellitus, which is undoubtedly due to insufficient study of the morphological features of the pathogenesis of micro-circulatory disorders at different stages of diabetic microangiopathy. The paper presents the results of a study of the blood vessels of the testicle of a white rat under normal conditions and the blood supply to the rat testicle under conditions of experimental diabetes mellitus. The testicle of a white rat is supplied with blood by the testicular artery, which branches off from the abdominal aorta, the seminal duct artery, and the artery of the testicular elevator muscle. Morphological and morphometric analysis of the angioarchitectonics of the testicle allowed us to assess the state of its vascularisation in normal conditions and under conditions of streptozotocin-induced diabetes mellitus. The depth of structural changes in the blood vessels of the testis of white rats with diabetes mellitus correlates with morphometric indicators.

Key words: testis, diabetes mellitus, circulatory bed.

Connection of the publication with planned research works.

The article is a part of the SRW “Structural organisation of human and experimental animal organs in ontogenesis under physiological conditions and the influence of external and internal environmental factors”, state registration number 01250000814.

Introduction.

For the early diagnosis of complications of diabetes mellitus, which is crucial for successful further treatment of the disease, it is essential to understand the peculiarities of the structure and blood supply of organs in diabetes mellitus. Damage to the walls of blood vessels in various organs plays a dominant role in disability in diabetes mellitus [1]. The vessels of the haemomicrocirculatory bed play a significant role in immune processes. The frequency of vascular damage (micro- and macroangiopathy) in diabetes mellitus ranges from 68% to 91%. Peripheral vascular damage is observed 30 times more often than in people of the same age without diabetes mellitus. Numerous studies have been devoted to this problem. Domestic and foreign scientists have studied the mechanism of development of diabetic angiopathies. There are many unresolved issues regarding morphological changes in organs and their haemomicrocirculatory bed in diabetes mellitus, qualitative and quantitative changes in the angioarchitectonics of rat organs in experimental diabetes mellitus, and the problems of successfully selecting the most effective methods of treating vascular disorders of organs in diabetes mellitus, which is undoubtedly due to insufficient study of the morphological features of the pathogenesis of microcirculatory disorders at different stages of diabetic microangiopathy. Quite often, changes occur in the organs of the reproductive system, in particular the male gonads. However, until recently, the issue of morphological changes in the blood vessels of the testicles in diabetes mellitus has remained insufficiently studied.

The aim of study.

To determine characteristics of circulatory bed of the testis in reproductive-age albino rats in norm, and the patterns of restructuring during the progression of experimental diabetes mellitus.

Object and research methods.

The study was conducted on 20 sexually mature male albino rats aged 4.5-7.5 months, with a body weight of 130-150 g. Experimental diabetes mellitus was induced by a single intraperitoneal injection of streptozotocin («Sigma», USA) prepared in a 0.1 M citrate buffer (pH=4.5) at a dose of 7 mg per 100 g of animal body weight. The development of diabetes was monitored by measuring blood glucose levels using the glucose oxidase method. The study was performed on animals with blood glucose levels exceeding 13.4 mmol/L in 2, 4, 6, and 8 weeks after the onset of the experiment.

For injection of vascular bed of the testis, an aqueous suspension of casein oil gas black «Tempera» was used. The morphometric analysis was conducted based on the following quantitative criteria: microvessel diameter, packing density of exchange vessels, and tissue trophic activity index (diffusion radius). The term «exchange vessels» referred to hemocapillaries.

For statistical analysis of the initial data, mathematical calculations, their graphical representation, and analysis results, Excel software from the Microsoft Office

application package was used. To evaluate the results of the study, the following indicators were determined: mean value (M); mean square deviation (σ sigma); and absolute error (m). Statistics is the criterion for verification.

The experiment was conducted in accordance with the provisions of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (Strasbourg, 1986), Council Directive 86/609/EEC (1986), and Ukrainian Law No. 3447-IV “On the Protection of Animals from Cruel Treatment.” The materials of the work were reviewed by members of the Bioethics Committee of the Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Protocol No. 8, dated 18 November 2013).

Research results and their discussion.

After two weeks of streptozotocin-induced diabetes, the first changes in the angioarchitecture of the testis become apparent. The arterioles of the testis exhibit an uneven lumen and a tortuous course [2]. Precapillary arterioles and capillaries are constricted (fig. 1).

The capillary network in the injected preparation of the rat testis at this stage of the experiment is barely visible, while the venules are slightly dilated (fig. 2).

Morphometric analysis demonstrates a statistically significant decrease ($p < 0.05$) in the diameter of the capillaries in the capillary network of the testis compared to the norm (tables 1, 2). Moreover, there is a significant increase ($p < 0.05$) in the trophic activity index (dif-

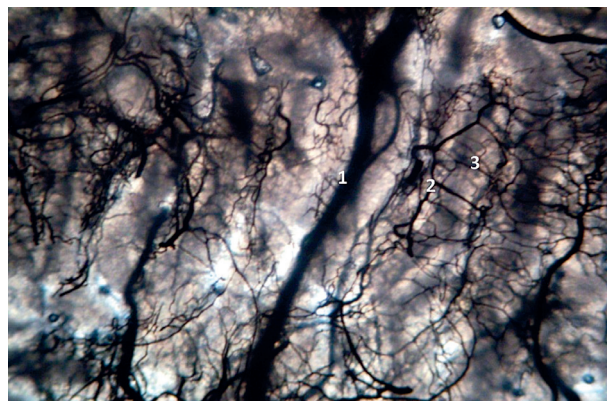


Figure 1 – Blood vessels of the testis of an albino rat after 2 weeks of streptozotocin-induced diabetes mellitus. Micrograph. Injection of vessels. Magnification: lens x20, eye-piece x8. Designations: 1 – arteriole, 2 – longitudinal capillary, 3 – transverse capillary.

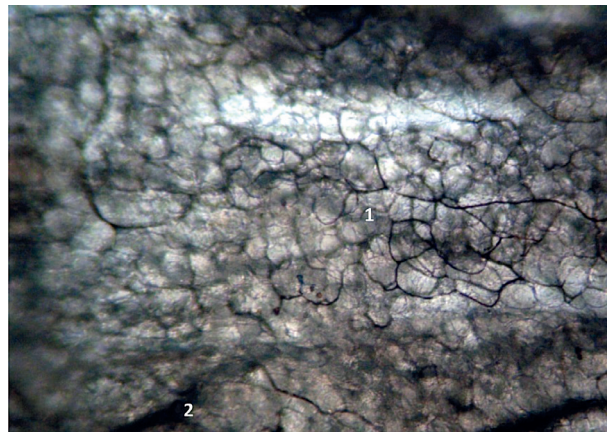


Figure 2 – Capillary network of the testis of albino rat after 2 weeks of experimental diabetes mellitus. Micrograph. Injection of vessels. Magnification: lens x10, eye-piece x8. Designations: 1 – capillary network, 2 – venule.

fusion radius) of the testis (table 3). Packing density of exchange vessels in the testis, and other morphometric indicators remain unchanged at this stage of the experiment ($p>0.05$).

Over the course of the experiment, the average difference in the diameter of the transverse capillaries

Table 1 – Diameter of transverse capillaries in the convoluted seminiferous tubules over the course of the experiment (μm)

	M \pm m	p
Norm	7.01 \pm 0.04*	
Control	7.01 \pm 0.04*	
After 2 weeks	6.29 \pm 0.04***	** $p<0.001$;
After 4 weeks	6.95 \pm 0.05**	* $p<0.001$;
After 6 weeks	7.40 \pm 0.03***	*** $p<0.001$;
After 8 weeks	7.47 \pm 0.06***	*** $p<0.001$;

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ** – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, *** – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment.

Table 2 – Diameter of longitudinal capillaries in the convoluted seminiferous tubules over the course of the experiment (μm)

	M \pm m	p
Norm	8.48 \pm 0.19*	
Control	8.07 \pm 0.37*	
After 2 weeks	7.07 \pm 0.12***	* $p<0.001$; * $p<0.05$
After 4 weeks	7.10 \pm 0.11*	* $p<0.001$; * $p<0.05$
After 6 weeks	9.34 \pm 0.04***	*** $p<0.001$; * $p<0.01$
After 8 weeks	9.93 \pm 0.03***	*** $p<0.001$;

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ** – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, *** – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment, □ – between the sixth and eighth weeks of the experiment.

Table 3 – Changes in the trophic activity index (diffusion radius) of the testis over the course of the experiment (μm)

	M \pm m	p
Norm	60.30 \pm 0.26*	
Control	60.40 \pm 0.19*	
After 2 weeks	80.54 \pm 0.13***	** $p<0.001$
After 4 weeks	72.06 \pm 0.63**	*** $p<0.001$;
After 6 weeks	75.96 \pm 0.64***	*** $p<0.001$;
After 8 weeks	84.40 \pm 1.50***	** $p<0.001$; * $p<0.05$

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ** – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, *** – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment, □ – between the sixth and eighth weeks of the experiment.

Table 4 – Changes in the diameter of venules of the testis of an albino rat over the course of the experiment (μm)

	M \pm m	p
Norm	30.28 \pm 0.14*	
Control	30.38 \pm 0.12*	
After 2 weeks	30.40 \pm 0.12***	$p<0.001$;
After 4 weeks	31.30 \pm 0.07*	** $p<0.001$; * $p<0.01$
After 6 weeks	31.84 \pm 0.08***	*** $p<0.001$;
After 8 weeks	31.92 \pm 0.04***	*** $p<0.001$;

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ** – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, *** – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment.

of the convoluted seminiferous tubules of the testis in norm, control, and after 2, 6, and 8 weeks of streptozotocin-induced diabetes mellitus is statistically significant ($p<0.001$). The difference in the mean diameters of the transverse capillaries of the convoluted seminiferous tubules of the testis after 6 and 8 weeks of the experiment is not statistically significant ($p>0.05$).

A statistically significant correlation was established between the control and changes in the diameters of transverse capillaries after 2 weeks, between changes in the diameters of transverse capillaries after 2 and 8 weeks, as well as after 4 and 6 weeks ($p<0.05$). The difference between the mean values of the diameter of longitudinal capillaries of the convoluted seminiferous tubules of the testis in albino rats in norm, control, and after 2, 4, 6, and 8 weeks of streptozotocin-induced diabetes was statistically significant ($p<0.001$). A correlation dependence ($p<0.05$) was observed between changes in the diameter of longitudinal capillaries after 2 and 6 weeks.

The difference in mean values of the trophic activity index of the testis of an albino rat between norm and control is not statistically significant ($p>0.05$). However, the difference in mean values of the trophic activity index (diffusion radius) of the testis of an albino rat in norm, control, and after 2, 4, 6, and 8 weeks of the experiment is significant ($p<0.001$). The correlation coefficient is significant only between the norm and changes in the trophic activity index of the testis after 6 weeks of diabetes progression ($p<0.05$). The difference between changes after 2 and 8 weeks is significant ($p<0.05$). The difference in mean values of the trophic activity index (diffusion radius) of the testis between 2 and 4 weeks, 4 and 6 weeks, 4 and 8 weeks, and 6 and 8 weeks is substantial ($p<0.001$). Correlation is observed only between changes after 4 and 8 weeks ($p<0.01$).

After 4 weeks of experimental streptozotocin-induced diabetes, the testicular specimens of a rat with injected vascular networks revealed signs of destructure of angiographic relief of the testis. Orderly arrangement of the hemomicrocirculatory bed components is disrupted [3].

The capillary component of the hemomicrocirculatory bed is partially destroyed, while the arterioles and venules are dilated. Mean diameter of venules increases to 31.30 \pm 0.07 μm [4]. The dynamics of changes in the diameter of venules of the convoluted seminiferous tubules of the albino rat testis over 8 weeks of experimental diabetes are presented in table 4. The difference in the mean diameter of venules of the testis between the norm, control, and after 2 weeks of the experiment is not statistically significant ($p>0.05$). However, the difference became significant ($p<0.001$) after 4, 6, and 8 weeks of the experiment. A significant correlation ($p<0.05$) is observed between the norm and change in the diameter of venule after 2 weeks of the experiment. A significant difference in the mean diameter of venules is observed between the following time points: 2 and 4 weeks, 2 and 6 weeks, 2 and 8 weeks, 4 and 6 weeks, and 4 and 8 weeks. However, a significant correlation ($p<0.05$) is found between the control and changes after 2 weeks, as well as between the control and changes after 8 weeks. The difference in the mean diameter of venules between weeks 6 and 8 is not statistically significant, and no correlation is observed ($p>0.05$).

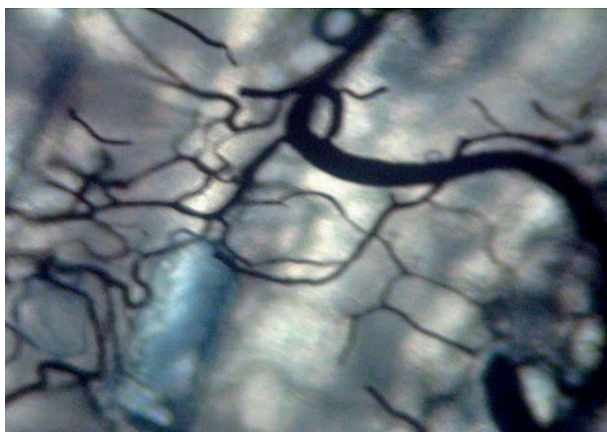


Figure 3 – Dilated and tortuous arterioles of the testis of an albino rat after 6 weeks of streptozotocin-induced diabetes mellitus. Micrograph. Injection of vessels. Magnification: lens x 20, eye-piece x8.

After 6 weeks of the experiment, further restructuring of all components of the hemomicrocirculatory bed occurs [5]. In the testis, arterioles and venules become dilated and tortuous (fig. 3).

Arteriolo-arteriolar and arteriolo-venular anastomoses also expand. The preserved capillaries are dilated [6]. At this stage of the experiment, the diameter of the arterioles is $30.02 \pm 0.09 \mu\text{m}$, longitudinal capillaries $9.34 \pm 0.04 \mu\text{m}$, transverse capillaries $7.40 \pm 0.03 \mu\text{m}$, and venules $31.84 \pm 0.08 \mu\text{m}$.

The difference in the mean diameters of arterioles in norm, control, and after 4, 6, and 8 weeks of the progression of streptozotocin-induced diabetes is significant (p<0.05).

Table 5 – Changes in the diameter of arterioles of the testis of an albino rat over the course of the experiment (μm)

	M±m	p
Norm	27.34±0.41*	
Control	27.76±0.44*	
After 2 weeks	26.28±0.08***	*p<0.05; *p<0.01
After 4 weeks	27.84±0.09**▲	■p<0.001;
After 6 weeks	30.02±0.09**▲□	***▲p<0.001;
After 8 weeks	30.56±0.13**▲□	***▲p<0.001; □p<0.01

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ■ – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, ▲ – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment, □ – between the sixth and eighth weeks of the experiment.

icant (p<0.001). The difference in the mean diameters of arterioles of the testis at comparison of the material under study after 6 and 8 weeks of the experiment is also significant [7]. Furthermore, there is a significant correlation between the changes observed after 6 and 8 weeks (p<0.05) (table 5).

After 8 weeks of progression of streptozotocin-induced diabetes mellitus, destructive changes are observed in all components of the hemomicrocirculatory bed of the testis (fig. 4).

The diameter of the preserved longitudinal capillaries is $9.93 \pm 0.03 \mu\text{m}$ and that of the transverse capillaries is $7.47 \pm 0.06 \mu\text{m}$. The arterioles are dilated, with a diameter of $30.56 \pm 0.13 \mu\text{m}$, and are tortuous. The venules are also dilated, with a diameter of $31.92 \pm 0.04 \mu\text{m}$. A significant decrease (p<0.05) in the packing density of the exchange vessels in the testis to 13.80 ± 0.97 , along

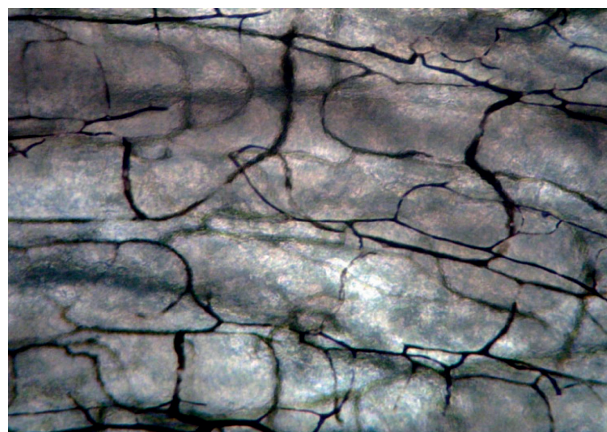


Figure 4 – Capillary network of the testis of an albino rat after 8 weeks of the experimental streptozotocin-induced diabetes mellitus. Micrograph. Injection of vessels. Magnification: lens x20, eye-piece x8.

with a significant increase (p<0.05) in the trophic activity of the testis to $84.40 \pm 1.50 \mu\text{m}$ compared to the norm, indicates a significant thinning of the capillary network of the testis under conditions of experimental diabetes mellitus, leading to a severe disturbance of its blood supply [9]. The dynamics of changes in the packing density of capillary of the testis are presented in table 6.

Assessing the packing density of capillary of the testis over time, we observe an insignificant difference (p>0.05) in the mean values of this parameter between the control and after 2 weeks of experimental diabetes progression. It was established that there is a significant (p<0.05) linear correlation between the norm and

Table 6 – Changes in the packing density of capillary of the testis of an albino rat over the course of the experiment (μm)

	M±m	p
Norm	20.20±1.86	
Control	21.80±1.28*	
After 2 weeks	20.80±0.50*	
After 4 weeks	17.00±0.71	p<0.05
After 6 weeks	15.00±1.48*	■p<0.05; p<0.01
After 8 weeks	13.80±0.97*	*p<0.05

Notes: * – between norm and weeks of the experiment, * – between control and weeks of the experiment, ■ – between the second week and 4th, 6th, 8th weeks of the experiment, ▲ – between the fourth and 6th, 8th weeks of the experiment, □ – between the sixth and eighth weeks of the experiment.

changes in the packing density of capillary after 4 weeks of the experiment [10]. There is a significant difference in the mean values of the packing density of capillary between control and the changes observed after 4 and 6 weeks of the experiment (p<0.01). Correlation between these parameters is not statistically significant. Change in mean values between 2 and 4 weeks, as well as between 2 and 6 weeks, is significant (p<0.05). A significant correlation is observed between changes after 4 and 8 weeks and after 6 and 8 weeks.

Conclusions.

1. The first changes in the blood vessels of the rat testis were detected after 2 weeks of streptozotocin-induced diabetes mellitus. The testicular arterioles exhibited an uneven lumen and are tortuous. A significant decrease (p<0.05) in the diameter of the capillary of testicular capillary network was observed compared to

the norm, while the trophic activity index of the testis significantly increased ($p < 0.05$).

2. After 4 weeks of progression of the experimental diabetes mellitus, the specimens of testis of a rat with injected vascular bed showed signs of destructuring of the angiographic relief of the testis. Clear arrangement of the microcirculatory bed components is lost.

3. After 6 weeks of the experiment, further restructuring of all components of the microcirculatory bed occurs. The testicular blood vessels are dilated, and the arterioles become tortuous. The arteriolo-arteriolar and arteriolo-venular anastomoses also expand. The preserved capillaries are dilated.

4. A significant decrease ($p < 0.05$) in the packing density of the exchange vessels in the testis to 13.80 ± 0.97 , along with a significant increase ($p < 0.05$) in the diffusion radius (trophic activity index) of the testis to 84.40 ± 1.50

μm compared to the norm after 8 weeks of the experiment, indicates a significant thinning of the capillary network of the testis under conditions of streptozotocin-induced diabetes mellitus, leading to a severe disturbance of its blood supply.

5. A correlation between the depth of structural transformations in the components of the testicular hemomicrocirculatory bed of a rat in diabetes mellitus and their morphometric parameters has been established.

Prospects for further research.

The results of morphometric analysis of testicular angiomorphology in experimental diabetes mellitus will contribute to a deeper understanding of the pathogenesis of diabetic angiopathies in the reproductive system and the search for new approaches to the prevention and treatment of complications of diabetes mellitus.

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-410-419

УДК 616.37-002-036.11-085.032.13

Савка І. І., Покотило П. Б.

ОЦІНКА МОРФОМЕТРИЧНИХ ЗМІН АНГІОАРХІТЕКТОНІКИ ЯЄЧКА ЗА УМОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (м. Львів, Україна)

irynasavka05@gmail.com

Для діагностики ускладнень цукрового діабету, важливо розуміти особливості будови і кровопостачання органів при цукровому діабеті. Судини гемомікроциркуляторного русла відіграють важливу роль в імунних процесах. Частота уражень судин (мікро-, макроангіопатій) при цукровому діабеті складає 68-91%. Ураження периферійних судин у даних хворих спостерігається у 30 разів частіше, ніж у осіб аналогічного віку без цукрового діабету. Численні праці присвячені вивченню даної проблеми. Механізм розвитку діабетичних ангіопатій досліджували вітчизняні та зарубіжні науковці. Існує багато невирішених питань щодо морфологічних змін органів та їхнього гемомікроциркуляторного русла за умов цукрового діабету, якісно-кількісних змін ангіоархітектоніки органів щура при експериментальній формі цукрового діабету, проблем успішного вибору найефективніших методів лікування судинних порушень органів при цукровому діабеті, що безперечно зумовлено недостатнім вивченням морфологічних особливостей патогенезу мікроциркуляторних порушень на різних стадіях діабетичної мікроангіопатії. У роботі наведені результати дослідження ланок кровоносного русла яєчка білого щура в нормі та шляхи кровопостачання яєчка щура за умов експериментального цукрового діабету. Яєчко білого щура кровопостачається яєчковою артерією, яка відгалужується від черевної частини аорти, артерією сім'явиносної протоки та артерією м'яза підйімача яєчка. Морфологічний та морфометричний аналіз ангіоархітектоніки яєчка дозволив оцінити стан його васкуляризації в нормі та за умов стрептозотозиніндукованого цукрового діабету. Глибина структурних змін ланок кровоносного русла яєчка білого щура при цукровому діабеті корелює з морфометричними показниками.

Ключові слова: яєчко, цукровий діабет, кровоносне русло.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Стаття є фрагментом науково-дослідної роботи «Структурна організація органів людини та експериментальних тварин в онтогенезі за умов фізіологічної норми та впливу чинників зовнішнього та внутрішнього середовища», номер державної реєстрації 01250000814.

Вступ.

Для ранньої діагностики ускладнень цукрового діабету, що є запорукою успіху для подальшого лікування захворювання, важливо розуміти особливості будови і кровопостачання органів при цукровому діабеті. Домінуючу роль в інвалідизації при цукровому діабеті відіграє ураження стінки судин різних органів [1]. Судини гемомікроциркуляторного русла відігра-

ють значну роль в імунних процесах. Частота уражень судин (мікро-, макроангіопатій) при цукровому діабеті складає 68-91%. Ураження периферійних судин спостерігається у 30 разів частіше, ніж у осіб аналогічного віку без цукрового діабету. Численні праці присвячені вивченню даної проблеми. Механізм розвитку діабетичних ангіопатій досліджували вітчизняні та зарубіжні науковці. Існує багато невирішених питань щодо морфологічних змін органів та їхнього гемомікроциркуляторного русла за умов цукрового діабету, якісно-кількісних змін ангіоархітектоніки органів щура при експериментальній формі цукрового діабету, проблем успішного вибору найефективніших методів лікування судинних порушень органів при цукровому діабеті, що безперечно зумовлено недостатнім вивченням морфологічних особливос-

тей патогенезу мікроциркуляторних порушень на різних стадіях діабетичної мікроангіопатії. Досить часто зміни виникають у органах статеві системи, зокрема чоловічих статевих залозах. Проте, до останнього часу недостатньо вивченим залишається питання морфологічних змін кровоносних судин яєчка при цукровому діабеті.

Мета дослідження.

Встановити особливості кровоносного руслу яєчка білого щура репродуктивного віку в нормі та закономірності перебудови в динаміці перебігу експериментального цукрового діабету.

Об'єкт і методи дослідження.

Дослідження проведено на 20 статевозрілих білих щурах-самцях, віком 4,5-7,5 місяців і масою тіла 130-150 г. Експериментальний цукровий діабет моделювали одноразовим внутрішньоочеревинним введенням стрептозотоцину («Sigma» США), приготованому на 0,1 М цитратному буфері, рН =4,5, із розрахунку 7 мг на 100 г. маси тіла тварини. Розвиток цукрового діабету контролювали за збільшенням рівня глюкози в крові, який вимірювали глюкозооксидазним методом. Дослідження проводили на тваринах з рівнем глюкози понад 13,4 ммоль/л через 2, 4, 6, 8 тижнів після початку експерименту.

Для ін'єкції судинного руслу яєчка використовували водну суспензію казеїнової олійної газової сажі «Темпера». Для проведення морфометричного аналізу використовували наступні кількісні критерії: діаметр мікросудин, густина (щільність) пакування обмінних судин, показник трофічної активності тканини (радіус дифузії). Терміном «обмінні судини» позначали гемокапіляри.

Для статистичного аналізу вихідних даних, математичних розрахунків, їх графічного представлення та результатів аналізу використано програмне забезпечення Excel з пакету прикладних програм Microsoft Office. Для оцінки результатів досліджень визначали наступні показники: середнє значення (M); середньоквадратичне відхилення (σ sigma); абсолютну похибку (m). Критерієм перевірки є статистика.

Експеримент проведений у відповідності з положенням Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, яких використовують в експериментальних та інших наукових цілях (Страсбург, 1986), Директиви Ради Європи 86/609/ЕЕС (1986), Закону України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження». Матеріали роботи розглянуті членами комісії з питань біоетики Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького (протокол № 8, від 18 листопада 2013 року).

Результати дослідження та їх обговорення.

Через 2 тижні перебігу стрептозотоциніндукованого цукрового діабету проявляються перші зміни ангіоархітектоніки яєчка. Артеріоли яєчка мають нерівномірний просвіт, звивисті [2]. Прекапілярні артеріоли і капіляри спазмовані (рис. 1).

Капілярна сітка на ін'єкованому препараті яєчка щура цього періоду експерименту ледь помітна, венули дещо розширені (рис. 2).

При морфометричному дослідженні спостерігається статистично вірогідне зменшення ($p < 0,05$) у порівнянні з нормою, діаметра капілярів капілярної сітки яєчка (табл. 1, 2), вірогідно збільшується ($p < 0,05$) показник трофічної активності (радіус ди-

фузії) яєчка (табл. 3), щільність пакування обмінних судин яєчка та інших морфометричних показників в цей термін експерименту не змінена ($p > 0,05$).

У динаміці перебігу експерименту середня різниця діаметра поперечних капілярів звивистих сім'яних трубочок яєчка в нормі, контролі та через 2, 6 і 8 тижнів перебігу стрептозотоциніндукованого цукрового діабету є вірогідною ($p < 0,001$). Різниця середніх показників діаметра поперечних капілярів звивистих сім'яних трубочок яєчка через 6 і 8 тижнів експерименту є не вірогідною ($p > 0,05$).

Встановлено вірогідну кореляцію між контролем і змінами діаметрів поперечних капілярів через 2 тижні, між змінами діаметрів поперечних капілярів через 2 і 8 тижнів, а також через 4 і 6 тижнів ($p < 0,05$). Різниця між середніми показниками діаметра поздовжніх капілярів звивистих сім'яних трубочок яєчка білого щура в нормі, контролі та через 2, 4, 6 і 8 тижнів перебігу стрептозотоциніндукованого цукрового діабету є вірогідною ($p < 0,001$). Кореляційна залежність ($p < 0,05$) спостерігається між змінами показників діаметрів поздовжніх капілярів через 2 та 6 тижнів.

Різниця середніх значень показника трофічної активності яєчка білого щура в нормі та контролі не вірогідна ($p > 0,05$). Різниця середніх значень показників трофічної активності (радіусу дифузії) яєчка білого щура в нормі, контролі та через 2, 4, 6 і 8 тижнів перебігу експерименту є суттєвою ($p < 0,001$). Коефіцієнт кореляції є вірогідним лише між нормою та змінами

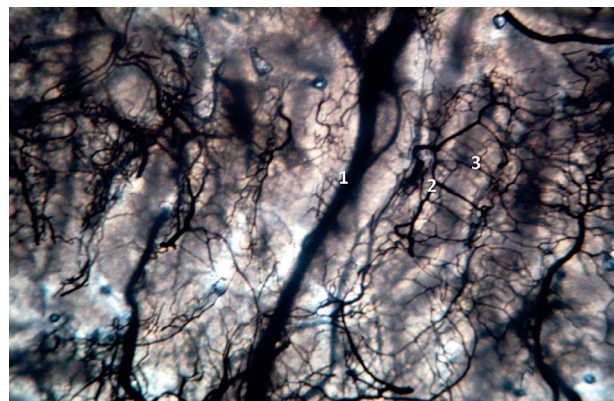


Рисунок 1 – Кровоносні судини яєчка білого щура через 2 тижні перебігу стрептозотоциніндукованого цукрового діабету. Мікрофото. Ін'єкція судин. Збільшення: об. x20, ок. x8. Позначення: 1 – артеріола, 2 – поздовжній капіляр, 3 – поперечний капіляр.

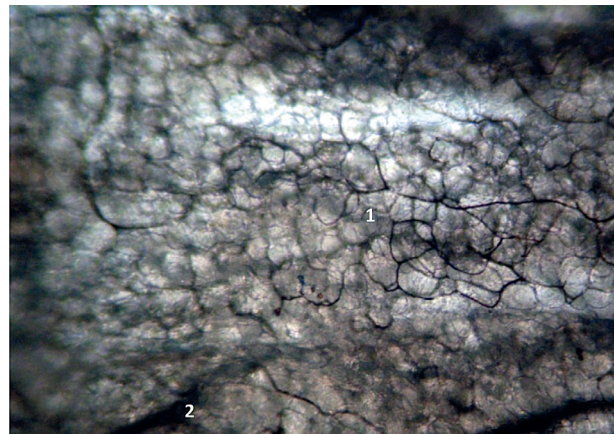


Рисунок 2 – Капілярна сітка яєчка білого щура через 2 тижні перебігу експериментального цукрового діабету. Мікрофото. Ін'єкція судин. Збільшення: об. x10, ок. x8. Позначення: 1 – капілярна сітка, 2 – венула.

Таблиця 1 – Діаметр поперечних капілярів звивистих сім'яних трубочок в динаміці перебігу експерименту (мкм)

	M±m	p
Норма	7.01±0.04*	
Контроль	7.01±0.04*	
Через 2 тижні	6.29±0.04***	**p<0.001;
Через 4 тижні	6.95±0.05**▲	*p<0.001;
Через 6 тижнів	7.40±0.03***▲	***▲p<0.001;
Через 8 тижнів	7.47±0.06***▲	***▲p<0.001;

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, * – між контролем і тижнями експерименту, ** – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту.

Таблиця 2 – Діаметр поздовжніх капілярів звивистих сім'яних трубочок в динаміці перебігу експерименту (мкм)

	M±m	p
Норма	8.48±0.19*	
Контроль	8.07±0.37*	
Через 2 тижні	7.07±0.12***	*p<0.001; *p<0.05
Через 4 тижні	7.10±0.11▲	*p<0.001; *p<0.05
Через 6 тижнів	9.34±0.04***▲□	***▲p<0.001; *p<0.01
Через 8 тижнів	9.93±0.03***▲	***▲p<0.001;

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, * – між контролем і тижнями експерименту, ** – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту, □ – між шостим і восьмим тижнями експерименту.

Таблиця 3 – Зміни показника трофічної активності (радіуса дифузії) яєчка в динаміці перебігу експерименту (мкм)

	M±m	p
Норма	60.30±0.26*	
Контроль	60.40±0.19*	
Через 2 тижні	80.54±0.13***	*p<0.001
Через 4 тижні	72.06±0.63**▲	***p<0.001;
Через 6 тижнів	75.96±0.64***▲□	***▲p<0.001;
Через 8 тижнів	84.40±1.50***▲	***▲p<0.001; *p<0.05

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, * – між контролем і тижнями експерименту, ** – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту, □ – між шостим і восьмим тижнями експерименту.

Таблиця 4 – Зміни діаметра венул яєчка білого щура в динаміці перебігу експерименту (мкм)

	M±m	p
Норма	30.28±0.14*	
Контроль	30.38±0.12*	
Через 2 тижні	30.40±0.12***	p<0.001;
Через 4 тижні	31.30±0.07▲	**p<0.001; *p<0.01
Через 6 тижнів	31.84±0.08***▲	***▲p<0.001;
Через 8 тижнів	31.92±0.04***▲	***▲p<0.001;

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, * – між контролем і тижнями експерименту, ** – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту.

показника трофічної активності яєчка через 6 тижнів перебігу цукрового діабету (p<0,05). Між змінами через 2 і 8 тижнів різниця є істотною (p<0,05). Між показниками 2 і 4, 4 і 6, 4 і 8, 6 і 8 тижнів різниця між середніми значеннями показника трофічної активності (радіуса дифузії) яєчка є значною (p<0,001). Кореляція спостерігається лише між змінами через 4 і 8 тижнів (p<0,01).

Через 4 тижні перебігу експериментального цукрового діабету на препаратах яєчка щура з ін'єктованим судинним руслом виявлено явища деструктуризації ангиографічного рельєфу яєчка. Порушується впорядкованість розташування ланок гемомікроциркуляторного русла [3].

Капілярна ланка гемомікроциркуляторного русла частково зруйнована. Артеріоли і венули розширені. Середній діаметр венул збільшується до 31,30±0,07 мкм [4]. Динаміка змін діаметра венул звивистих сім'яних трубочок яєчка білого щура впродовж 8 тижнів перебігу експериментального цукрового діабету наведена в таблиці 4. Різниця середніх показників діаметра венул яєчка в нормі, контролі та через 2 тижні експерименту є недостовірною (p>0,05). Різниця середніх показників діаметра венул яєчка в нормі, контролі та через 4, 6 і 8 тижнів експерименту є вірогідною (p<0,001). Між нормою та зміною діаметра венул через 2 тижні експерименту є вірогідна кореляція (p<0,05). Між показниками через 2 та 4, через 2 та 6, через 2 та 8, через 4 та 6, через 4 та 8 різниця середніх показників діаметрів венул є суттєвою. Однак вірогідна кореляція (p<0,05) спостерігається між контролем і змінами через 2 тижні, та контролем і змінами через 8 тижнів. Між показниками 6 і 8 тижнів різниця середніх значень діаметра венул яєчка є недостовірною і кореляція як така відсутня (p>0,05).

Через 6 тижнів перебігу експерименту відбувається подальша перебудова усіх ланок гемомікроциркуляторного русла [5]. В яєчку артеріоли і венули розширені, звивисті (рис. 3).

Розширюються також артеріоло-артеріолярні та артеріоло-венулярні анастомози. Збережені капіляри розширені [6]. Діаметр артеріол в цей термін експерименту становить 30,02±0,09 мкм, поздовжніх капілярів 9,34±0,04 мкм, поперечних капілярів 7,40±0,03 мкм, венул – 31,84±0,08 мкм.

Різниця середніх показників діаметра артеріол у нормі, контролі та через 4, 6 і 8 тижнів перебігу стрептозотиніндукованого цукрового діабету є вірогідною (p<0,001). Вірогідною є різниця середніх показників діаметра артеріол яєчка при порівнянні досліджуваного матеріалу через 6 і 8 тижнів експерименту [7]. Також між змінами через 6 і 8 тижнів є суттєва кореляція (p<0,05) (таблиця 5).

Через 8 тижнів перебігу стрептозотиніндукованого цукрового діабету спостерігаються деструктивні зміни усіх ланок гемомікроциркуляторного русла яєчка (рис. 4).

Діаметр збережених поздовжніх капілярів становить 9,93±0,03 мкм і 7,47±0,06 мкм поперечних. Артеріоли розширені, діаметр їх становить 30,56±0,13 мкм, звивисті, венули розширені діаметр їх 31,92±0,04 мкм [8]. Вірогідне зменшення (p<0,05), в порівнянні з нормою, щільності пакування обмінних судин яєчка до 13,80±0,97 та вірогідне збільшення (p<0,05) в порівнянні з нормою, показника трофічної активності яєчка до 84,40±1,50 мкм свідчать про значне розрідження капілярної сітки яєчка за умов експериментального цукрового діабету, що призводить до різкого порушення його кровопостачання [9]. Динаміка змін щільності пакування капілярів яєчка наведена в таблиці 6.

Оцінюючи щільність пакування капілярів яєчка в динаміці спостерігаємо недостовірну різницю

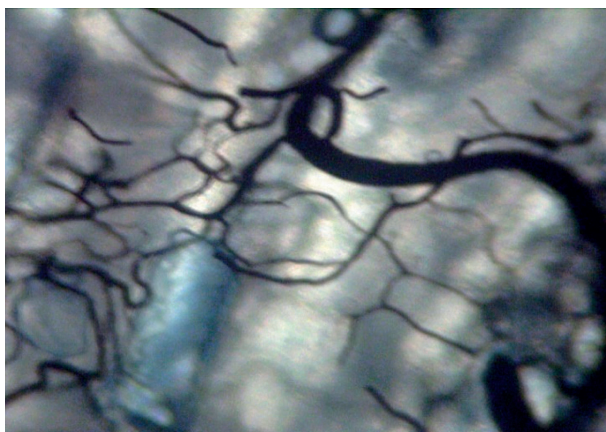


Рисунок 3 – Розширені і звивисті артеріоли яєчка білого щура через 6 тижнів перебігу стрептозотозиніндукованого цукрового діабету. Мікрофото. Ін'єкція судин. Збільшення: об. х20, ок. х8.

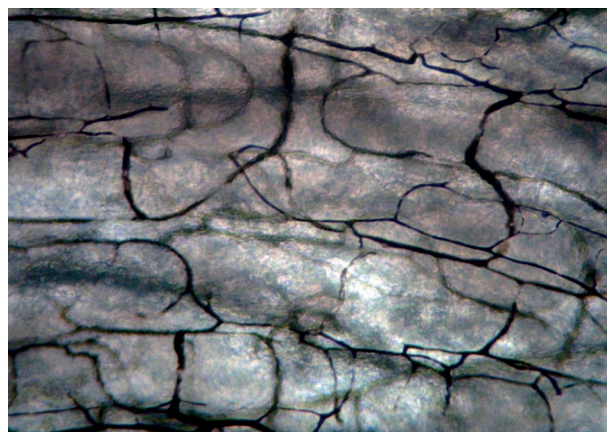


Рисунок 4 – Капілярна сітка яєчка білого щура через 8 тижнів перебігу експериментального цукрового діабету. Мікрофото. Ін'єкція судин. Збільшення: об. х20, ок. х8.

Таблиця 5 – Зміни діаметра артеріол яєчка білого щура в динаміці перебігу експерименту (мкм)

	M±m	p
Норма	27.34±0.41*	
Контроль	27.76±0.44*	
Через 2 тижні	26.28±0.08***	*p<0.05; *p<0.01
Через 4 тижні	27.84±0.09**▲	■p<0.001;
Через 6 тижнів	30.02±0.09**▲□	***▲p<0.001;
Через 8 тижнів	30.56±0.13**▲□	***▲p<0.001; □p<0.01

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, ° – між контролем і тижнями експерименту, ■ – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту, □ – між шостим і восьмим тижнями експерименту.

(p>0,05) середніх значень цього показника між контролем та через 2 тижні перебігу експериментального цукрового діабету. Встановлено, що між нормою та змінами щільності пакування капілярів через 4 тижні перебігу експерименту, між нормою та через 8 тижнів існує вірогідний (p<0,05) лінійний кореляційний зв'язок [10]. Між контролем і змінами через 4 та 6 тижнів експерименту є вірогідна різниця середніх показників щільності пакування капілярів (p<0,01). Кореляційна залежність між цими показниками є недостовірною. Зміна середніх показників через 2 і 4, та через 2 і 6 тижнів є суттєвою (p<0,05). Спостерігаємо вірогідну кореляцію між змінами через 4 і 8 тижнів та через 6 і 8 тижнів.

Висновки.

1. Перші зміни кровоносних судин яєчка щура виявлено через 2 тижні перебігу стрептозотозиніндукованого цукрового діабету. Артеріоли яєчка мають нерівномірний просвіт, звивисті. Вірогідно зменшується (p<0,05) у порівнянні з нормою, діаметр капілярів капілярної сітки яєчка і вірогідно збільшується (p<0,05) показник трофічної активності яєчка.

2. Через 4 тижні перебігу експериментального цукрового діабету на препаратах яєчка щура з ін'єктивним судинним руслом виявлено явища деструктуризації агіографічного рельєфу яєчка. Втрачається чітка впорядкованість розташування ланок гемомікроциркуляторного русла.

Таблиця 6 – Зміна щільності пакування капілярів яєчка білого щура в динаміці розвитку експериментального цукрового діабету (мкм)

	M±m	p
Норма	20.20±1.86	
Контроль	21.80±1.28*	
Через 2 тижні	20.80±0.50*	
Через 4 тижні	17.00±0.71	p<0.05
Через 6 тижнів	15.00±1.48*	■p<0.05; p<0.01
Через 8 тижнів	13.80±0.97*	*p<0.05

Примітки: * – між нормою і тижнями експерименту, ° – між контролем і тижнями експерименту, ■ – між другим тижнем і 4, 6, 8-м тижнями експерименту, ▲ – між четвертим і 6, 8-м тижнями експерименту, □ – між шостим і восьмим тижнями експерименту.

3. Через 6 тижнів перебігу експерименту відбувається подальша перебудова усіх ланок гемомікроциркуляторного русла. Судини яєчка розширені, артеріоли звивисті. Розширеними є також і артеріоло-артеріолярні та артеріоло-венулярні анастомози. Збережені капіляри розширені.

4. Вірогідне зменшення (p<0,05), в порівнянні з нормою, щільності пакування обмінних судин яєчка до 13,80±0,97 та вірогідне збільшення (p<0,05) в порівнянні з нормою, радіуса дифузії (показника трофічної активності) яєчка до 84,40±1,50 мкм через 8 тижнів перебігу експерименту свідчать про значне розрідження капілярної сітки яєчка за умов стрептозотозиніндукованого цукрового діабету, що призводить до різкого порушення його кровопостачання.

5. Встановлено корелятивний зв'язок між глибиною структурних перетворень ланок гемомікроциркуляторного русла яєчка щура при цукровому діабеті та їхніми морфометричними показниками.

Перспективи подальших досліджень.

Результати морфометричного аналізу ангіоархitekтоніки яєчка при експериментальному цукровому діабеті сприятимуть глибшому розумінню патогенезу діабетичних ангіопатій у репродуктивній системі та пошуку нових підходів до профілактики й лікування ускладнень цукрового діабету.

References / Література

1. Borovkova SO, Iftodiy AH. Pytannya patohenezu diabetychnykh anhiopatiy. Bukovynskyy medychnyy visnyk. 2006;2:132-5. [in Ukrainian].
2. Borys RYA. Elektronno-mikroskopichne doslidzhennya hemomikrotsyrkulyatornoho rusla riznykh shariv shkiry biloho shchura pry eksperymentalnomu tsukrovomu diabeti. Visnyk morfolohiyi. 2010;16:63-66. [in Ukrainian].
3. Hotyur OL. Strukturno-funktsionalni osoblyvosti yayechna ta nadyayechna u cholovikiv reproduktyvnoho viku (22-35 rokiv) v normi. Halytskyy likarskyy visnyk. 2012;2:24-6. [in Ukrainian].
4. Lychkovskyy LM, Mateshchuk-Vatseba LR, Masna ZZ. Metodyka morfometrychnoho analizu anhoarkhitektoniky orhaniv ta inyekovanykh preparativ. Materialy II Vseukrayinskyi naukovy-praktychnoyi konferentsiyi Rol fizychnoyi kultury v zdorovomu sposobi zhyttya; 1994; Lviv; 1994. s. 119-20. [in Ukrainian].
5. Luchyskyyy YEV, Bezverka TP. Rol sudynnoho chynnyka u porushenni statevoyi funktsiyi u cholovikiv, khvorykh na tsukrovyy diabet (ohlyad literatury). Endokrynolohiya. 2006;1:55-62. [in Ukrainian].
6. Martovytska YUV. Diabetychna mikroanhiopatiya: morfohenez ta rol u rozvytku uskladnen tsukrovoho diabetu. Patolohiya. 2008;3:6-10. [in Ukrainian].
7. Mateshuk-Vatseba LR, Kyryk KHA. Pro ratsionalnu metodyku inyektsiyi sudynnoho rusla. Klinichna anatomiya ta operatyvna khirurgiya. 2004;3(3):53. [in Ukrainian].
8. Petriv RB. Ultrastrukturni ta funktsionalni zminy hemomikrotsyrkulyatornoho rusla yayechna statevozrylykh bilykh shchuriv v umovakh eksperymentalnoho streptozototsyn-indukovanoho tsukrovoho diabetu. Halytskyy likarskyy visnyk. 2010;2:79-81. [in Ukrainian].
9. Sverdan PL. Vyshcha matematika. Matematychnyy analiz i teoriya umovirnostey. K.: Znannya; 2008. 450 s. [in Ukrainian].
10. Cherkasov VH. Patohenetychni mekhanizmy streptozototsynindukovanoi neyropatiyi ta efekt zastosuvannya nikotynamidu. Naukovyy visnyk Natsionalnoho medychnoho universytetu imeni O. O. Bohomoltsya. 2009;3:17-22. [in Ukrainian].

ОЦІНКА МОРФОМЕТРИЧНИХ ЗМІН АНГІОАРХІТЕКТОНІКИ ЯЄЧКА ЗА УМОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ

Савка І. І., Покотило П. Б.

Резюме. У дослідженнях останніх десятиліть зростає інтерес до вивчення структурних і функціональних змін судин яєчка при різноманітних патологічних станах, зокрема при цукровому діабеті – метаболічному захворюванні, що супроводжується порушенням вуглеводного обміну, хронічною гіперглікемією і ураженням дрібних судин різних органів. Метою цієї роботи стало визначення морфологічних і морфометричних змін ангіоархітектоніки яєчка білого щура в нормі та за умов експериментального цукрового діабету. У дослідженні було використано модель стрептозототсиніндукованого діабету, яка широко застосовується для імітації цукрового діабету I типу у лабораторних тварин.

Отримані дані свідчать про істотні відмінності між структурою судинного русла яєчка у щурів контрольної групи та тварин з індукованим цукровим діабетом. У нормі артеріоли мають чіткий м'язовий шар, регулярний просвіт і рівномірну товщину стінки. Капіляри рівномірно розподілені по часточках, добре виражені й щільно контактують із навколишніми клітинами. Венули мають характерну тонку стінку й широкий просвіт. При цукровому діабеті спостерігається звуження просвіту артеріол, потовщення їх стінки за рахунок гіперплазії ендотеліоцитів і відкладення базальної мембрани. У капілярах виявлено порушення цілісності стінки, нерівномірність розташування, зниження загальної кількості на одиницю площі. Венули мають деструктивні зміни, зокрема ділянки розриву, набряки периваскулярної тканини.

Морфометричні показники також демонструють достовірні зміни. Середній діаметр артеріол зменшився на 15-25%, а товщина їх стінки зросла на 20–30%. Щільність капілярної сітки в зоні звивистих сім'яних каналців знизилася на 40%, що свідчить про значну гіпоксію цієї зони.

У межах дослідження проведено також порівняння результатів між різними термінами перебігу діабету. Було встановлено, що вже на 14-й день після введення стрептозототсинину з'являються перші ознаки васкулярних змін. На 28-й день зміни набувають більш вираженого характеру й супроводжуються зменшенням загальної маси яєчка, зниженням кількості звивистих каналців, дегенерацією клітин сперматогенного епітелію. Це дозволяє стверджувати, що цукровий діабет навіть на ранніх стадіях спричиняє істотні зміни у кровоносному руслі яєчка, які можуть мати незворотній характер.

Морфологічні спостереження доповнюються морфометричними розрахунками, які підтверджують статистично достовірну різницю між групами. Було застосовано методи варіаційної статистики, включаючи визначення середніх значень, стандартних відхилень та рівня значущості ($p < 0,05$). Такий підхід дозволив об'єктивно оцінити ступінь ураження мікроциркуляторного русла при діабеті.

Результати дослідження мають важливе практичне значення. Вони можуть бути використані для розробки нових підходів до профілактики та лікування порушень репродуктивної функції у чоловіків з цукровим діабетом.

Ключові слова: яєчко, цукровий діабет, кровоносне русло.

ASSESSMENT OF MORPHOMETRIC CHANGES IN THE ANGIOARCHITECTONICS OF THE TESTIS UNDER EXPERIMENTAL DIABETES MELLITUS

Savka I. I., Pokotylo P. B.

Abstract. In recent decades, there has been growing interest in studying structural and functional changes in testicular vessels under various pathological conditions, especially diabetes mellitus – a metabolic disease characterized by impaired carbohydrate metabolism, chronic hyperglycemia, and damage to small vessels in various organs. The aim of this study was to investigate the morphological and morphometric changes in the angioarchitectonics of the rat testis under normal conditions and in experimental diabetes mellitus. A model of streptozotocin-induced diabetes was used, which is widely employed to simulate type 1 diabetes in laboratory animals.

The results revealed significant differences between the vascular structures of the testis in control rats and those with induced diabetes. In the control group, arterioles had a well-defined muscular layer, regular lumens, and uniform wall thickness. Capillaries were evenly distributed across lobules and closely associated with surrounding cells. Venules had thin walls and wide lumens. In diabetic rats, arterioles showed luminal narrowing, wall thickening due to endothelial cell hyperplasia, and basement membrane deposition. Capillaries exhibited wall damage, irregular distribution, and a reduced number per unit area. Venules displayed destructive changes, including rupture areas and perivascular tissue edema.

Morphometric indicators also showed statistically significant changes. The average arteriolar diameter decreased by 15-25%, and wall thickness increased by 20-30%. Capillary density in the region of seminiferous tubules decreased by 40%, indicating marked hypoxia in this area.

The study also examined differences depending on the duration of diabetes. It was found that as early as 14 days after streptozotocin injection, the first signs of vascular changes appeared. By day 28, the changes became more pronounced, accompanied by a decrease in testicular weight, a reduced number of seminiferous tubules, degeneration of spermatogenic epithelium, and impaired tissue organization. These findings demonstrate that diabetes induces significant and potentially irreversible changes in the testicular vasculature even at early stages.

Morphological findings were supported by morphometric calculations, confirming statistically significant differences between the groups. Variational statistical methods were used, including the calculation of mean values, standard deviations, and significance levels ($p < 0.05$). This approach enabled an objective assessment of the severity of microvascular damage in diabetes.

The findings of this study are of practical importance. They can be used to develop new approaches for the prevention and treatment of reproductive dysfunctions in men with diabetes mellitus.

Key words: testis, diabetes mellitus, circulatory bed.

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

Savka I. I.: <https://orcid.org/0000-0002-2061-032X>^{ABCDE}

Pokotylo P. B.: <https://orcid.org/0000-0003-2104-0100>^{ABEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

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

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Savka Iryna Ihorivna / Савка Ірина Ігорівна

Danylo Halatsky Lviv National Medical University / Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

Ukraine, 79014, Lviv, 12a Koshova str. / Адреса: Україна, 79014, м. Львів, вул. Кошова 12а

Tel.: +380952759644 / Тел.: +380952759644

E-mail: irynasavka05@gmail.com

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 08.04.2025 / Стаття надійшла 08.04.2025 року

Accepted 13.08.2025 / Стаття прийнята до друку 13.08.2025 року

DOI 10.29254/2077-4214-2025-3-178-419-432

UDC 612.17 576.3 616-092.9 591.3.036.8

Tverdokhlib I. V., Kobeza P. A.

THE INFLUENCE OF CHRONIC HYPOXIA ON THE PRENATAL DEVELOPMENT OF THE CONTRACTILE APPARATUS OF RAT CARDIOMYOCYTES

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

kobeza.pavel@gmail.com

There is a wide range of publications that analyze various aspects of the influence of prenatal hypoxia on ontogenetic transformations of the myocardium, however, the topological features of changes in the contractile apparatus of a cardiomyocyte that is formed and develops under conditions of chronic prenatal hypoxia require detailed study. The aim is establish the ultrastructural features of changes in the contractile apparatus of typical cardiomyocytes of different parts of the embryonic myocardium of rats under conditions of chronic hypoxia. The object of the study were the hearts of rat embryos obtained after the administration of sodium nitrite to pregnant females at a dose of 50 mg/kg daily from the 10th to the 20th day of gestation. The material was analyzed by transmission electron microscopy in 12 topographical localizations of the myocardium. Results. It has been established that hypoxia inhibits the formation of sarcomeres, leads to disorganization of myofibrils and mitochondrial damage. Starting from the 17th day of development, progressive destruction of contractile structures is observed: fragmentation of myofibrils, disruption of intercalated discs and disintegration of filaments. The greatest changes were recorded in the intramural and subendocardial zones of the ventricles. In the atria, hypoxia caused a restriction of the spatial organization