

УДК 611.631:611.64:57.086.3:616-076-091.8

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3\(37\)-1270-1281](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3(37)-1270-1281)

Квятковська Тетяна Олександрівна доктор медичних наук, професор, кафедра анатомії людини, клінічної анатомії та оперативної хірургії, Дніпровський державний медичний університет, вул. В. Вернадського, 9, м. Дніпро, 49044, тел.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-8206-6203>

Квятковський Євген Аркадійович кандидат медичних наук, лікар-уролог, КНП «Міська клінічна лікарня № 6» ДМР, вул. Батумська, 13, м. Дніпро, 49000, тел.: (097) 692-63-32, <https://orcid.org/0000-0002-3973-6854>

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ БІЛКОВОЇ ОБОЛОНКИ ЯЄЧКА І КАВЕРНОЗНОГО ТІЛА СТАТЕВОГО ЧЛЕНА ЗА ДАНИМИ СКАНУЮЧОЇ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ

Анотація. Білкова оболонка яєчка важлива для підтримки тестикулярного інтерстиційного тиску. Білкова оболонка кавернозних тіл статевих членів відіграє значну роль в ерекtilній функції. Мета роботи: дослідження мікрорельєфу та особливостей просторової будови білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла фізично нормальних чоловіків та білкової оболонки яєчка при гострому орхоепідидиміті. Досліджували зразки білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла 12 трупів фізично нормальних чоловіків 21-70 років, які загинули внаслідок нещасних випадків, а також ділянки білкової оболонки яєчка, отримані при біопсії під час проведення 12 операцій з приводу гострого орхоепідидиміту з використанням скануючої електронної мікроскопії. Мікрорельєф білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла мав складчасту будову, яка є структурним пристосуванням еласто-колагенового каркасу до змінних внутрішніх навантажень. Білкова оболонка яєчка мала поздовжні складки першого порядку і розташовані на їх поверхні дрібні поперечно орієнтовані складки другого порядку. Біля переднього краю яєчка складки були майже вдвічі ширші. При гострому орхоепідидиміті відбувалося згладжування складок першого і в більший мірі другого порядку та зменшувалася впорядкованість їх орієнтації. Звивистість колагенових волокон зменшувалася, тонкі еластичні волокна, які «зшивали» колагенові волокна і їх пучки, майже не простежувалися. При гострому орхоепідидиміті для запобігання надмірних внутрішніх навантажень, що можуть призвести до ішемічного некрозу яєчка, у визначених випадках необхідним є своєчасне оперативне втручання. Парієтальна пластинка піхвової оболонки яєчка також мала складки, здатні розтягуватися при гідроцеле, що обумовлює морфологічну доцільність застосування її для пластики білкової оболонки

яєчка. Товщина білкової оболонки яєчка чоловіків 61-70 років збільшувалася більш ніж на 50% порівняно з чоловіками 31-60 років та майже на 90% порівняно з чоловіками 21-30 років. Складки на поверхні білкової оболонки кавернозного тіла в 2-4 рази за шириною перевищували складки білкової оболонки яєчка. Білкова оболонка кавернозного тіла містила зовнішній поздовжній шар і внутрішній циркулярний шар колагенових волокон, що переходив у трабекули. Товщина білкової оболонки кавернозного тіла незначно збільшувалася у чоловіків 31-60 років відносно чоловіків 21-30 років та на 12,3% у чоловіків 61-70 років переважно за рахунок внутрішнього циркулярного шару колагенових волокон, який потовщувався і ущільнювався. Внаслідок цього розтяжність білкової оболонки у літніх чоловіків повинна зменшуватися переважно в радіальному напрямку, що впливає на сексуальну функцію. Судини між поздовжнім і циркулярним шарами колагенових волокон з віком зменшувалися в діаметрі, що може призводити до порушення функції анастомозів між гілками тильних та глибоких артерій статевого члена.

Ключові слова: яєчко, кавернозне тіло статевого члена, білкова оболонка, гострий орхоепідидиміт, гідроцеле, скануюча електронна мікроскопія, морфометрія.

Kvyatkovska Tetyana Oleksandrivna Doctor of Medical Sciences, Professor, Department of Human Anatomy, Clinical Anatomy and Operative Surgery, Dnipro State Medical University, V. Vernadskyi St., 9, Dnipro, 49044, tel.: (056) 766-48-48, <https://orcid.org/0000-0001-8206-6203>

Kvyatkovskyi Evgeny Arkadiyovych Candidate of medical sciences, urologist, CNP "City Clinical Hospital No. 6" DMR, Batumska St., 13, Dnipro, 49000, tel.: (097) 692-63-32, <https://orcid.org/0000-0002-3973-6854>

FEATURES OF THE TUNICA ALBUGINEA TESTIS AND CORPUS CAVERNOSUM PENIS STRUCTURE ACCORDING TO THE DATA OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

Abstract. The tunica albuginea testis is important for maintaining testicular interstitial pressure. The tunica albuginea of the corpora cavernosa penis plays a significant role in erectile function. Purpose of the work: the study of microrelief and the features of the tunica albuginea testis and corpus cavernosum spatial structure of physically normal men and the tunica albuginea testis in acute orchepididymitis. Specimens of the tunica albuginea testis and corpus cavernosum of 12 cadavers of physically normal men aged 21-70 who died as a result of accidents were studied, as well as sections of the tunica albuginea testis obtained biopsy during 12 operations for acute orchepididymitis and 2 hydrocelectomy using scanning electron microscopy. The microrelief of the tunica albuginea testis and corpus

cavernosum had a folded pattern, which is a structural adaptation of the elastocollagen framework to variable internal loads. The tunica albuginea testis had longitudinal folds of the first order and small transversely oriented folds of the second order which located on their surface. Near the margo anterior testis, the folds were almost twice as wide. In acute orchepididymitis, there was smoothing of the first order folds, and a much greater of the second order, and the orderliness of their orientation decreased. The tortuosity of collagen fibers decreased, the thin elastic fibers that "stitched" collagen fibers and their bundles were almost invisible. In acute orchepididymitis, timely surgical intervention is necessary in certain cases to prevent excessive internal loads that can lead to ischemic necrosis of the testis. Parietal plate of the tunica vaginalis testis had also folds capable of stretching during hydrocele, which determines morphological expediency of its use for plasticity of the tunica albuginea testis. The thickness of the tunica albuginea testis of 61-70 men aged increased by more than 50% compared to 31-60 men aged and by almost 90% compared 21-30 men aged. The folds on the surface of the tunica albuginea of corpora cavernosa were 2-4 times wider than the folds of the tunica albuginea testis. The tunica albuginea of corpus cavernosum contained an outer longitudinal layer and an inner circular layer of collagen fibers which transitioned into trabeculae. The thickness of the tunica albuginea of corpus cavernosum slightly increased in 31-60 aged men compared to 21-30 aged men and by 12.3% in 61-70 aged men, mainly due to the inner circular layer of collagen fibers, which thickened and compacted. As a result, the tunica albuginea stretchability in elderly men decreases mainly in the radial direction, which affects sexual function. The vessels between the longitudinal and circular layer of collagen fibers decrease in diameter with age, which can lead to impaired function of the anastomoses between the branches of dorsal and deep arteries of penis.

Keywords: testis, corpus cavernosum penis, tunica albuginea, acute orchepididymitis, hydrocele, scanning electron microscopy, morphometry.

Постановка проблеми. За даними ВООЗ поширеність безпліддя у світі зростає, серед пар репродуктивного віку коливається між 12,6% і 17,5% [1]. Ще в довоєнні роки рівень безпліддя в Україні сягав 15%, набираючи державного значення [2]. Збільшується частка чоловічого безпліддя, що сягає 5%. Тому подальше вивчення чоловічих статевих органів є актуальним завданням. Вважають, що білкова оболонка яєчка, яка віддає в паренхіму органа сполучнотканинні перегородки, окрім формоутворюючої функції виконує функції підтримання міжтканинного тиску всередині яєчка, контролює кровоток через яєчко та сприяє транспортуванню сперматозоїдів в над'яєчко. Білкова оболонка кавернозного тіла забезпечує останнє міцним фіброзним каркасом і відіграє значну роль в еректильній функції. Морфологічні дослідження переважно присвячені внутрішньоорганним структурам і судинному руслу даних органів. Білковій оболонці яєчка і кавернозного тіла приділено недостатньо уваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Білкова оболонка яєчка являє собою щільну сполучнотканину пластинку, складається переважно з пучків колагенових волокон, що переплітаються між собою різним чином, вільну поверхню яких покриває мезотелій вісцеральної пластинки піхвової оболонки яєчка. Функція капсули яєчка і вплив її на фертильність до кінця не вивчена [3]. Дослідження стану сім'яників експериментальних тварин після поздовжньої капсулотомії з розсіченням вісцеральної пластинки піхвової оболонки та білкової оболонки показали затримку транспорту сперми і подальшу прогресивну дегенерацію звивистих сім'яних каналців [4]. З отриманих даних автори зробили висновок, що білкова оболонка яєчка бере участь у забезпеченні транспорту сперми зі звивистих каналців у мережу яєчка. Відомо, що при порівнянні в крайніх вікових групах товщина білкової оболонки збільшується з віком від 400–450 мкм до 900 мкм, а абсолютна маса білкової оболонки збільшується на 27,4% [5]. Внаслідок орхоепідидиміту, причинами якого є інфекції, травми, ускладнення після операцій, зі збільшенням об'єму яєчка може виникати спонтанний розрив яєчка з пошкодженням білкової оболонки [6]. Традиційні гістологічні дослідження дають обмежене уявлення про стереоморфологію білкової оболонки яєчка в нормі і при запальних процесах.

Білкова оболонка кавернозних тіл майже повністю складається з колагенових волокон і меншої кількості еластичних волокон, саме білкова оболонка є основним визначальним фактором розтяжності статевого члена [7]. Її товщина залежить від ступеню розтягнення і коливається від 0,25 мм до 2,4 мм. [8]. Коли тканина не розтягнута, колагенові волокна розташовуються хвилеподібно. Еластичні волокна з'єднують хвилеподібні пучки колагенових волокон. Вони мають функцію повертати пучки колагенових волокон у нерозтягнуте положення після розтягування. Коли білкова оболонка занадто розтягується, еластичні волокна руйнуються і хвилястість колагенових волокон зникає. Зменшення довжини статевого члена у чоловіків з імпотенцією автори пояснюють втратою еластичних волокон і відсутністю періодичного розтягування білкової оболонки. Циклічне навантаження на розтяг збільшує міцність «зшивання» колагену [9]. Разом з тим, позитивна суб'єктивна оцінка результату протезування статевого члена становить 72,4% [10], тому подальші дослідження білкової оболонки залишаються важливими. Геометрія статевого члена, а саме співвідношення ширини та довжини має відігравати значну роль у стійкості ерекції до сили статевого акту (пенетрації піхви), яка коливається від 1,5 кг до 2,5 кг, тому еректильна дисфункція може бути партнерозалежною [11]. Лінійність значень осьової втрати стійкості значною мірою пов'язана зі станом формоутворюючої функції білкової оболонки кавернозних тіл. В літературі представлені дані про дослідження децелюляризованого повного статевого члена людини за допомогою скануючої електронної мікроскопії (СЕМ), яке виконували з метою розробки

його каркаса за допомогою тканинної інженерії [12]. Дослідження білкової оболонки за допомогою СЕМ обмежені.

Мета статті – дослідження мікрорельєфу та особливостей просторової будови білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла фізично нормальних чоловіків та білкової оболонки яєчка при гострому орхоепідидиміті.

Виклад основного матеріалу.

Матеріали та методи. Для з'ясування мікрорельєфу досліджуваних органів за допомогою СЕМ використовували зразки білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла статевого члена розмірами 0,3-0,5 см² від 12 трупів фізично нормальних чоловіків 21-70 років, які загинули внаслідок нещасних випадків, а також ділянки білкової оболонки яєчка, отримані при біопсії під час проведення 12 операцій з приводу гострого орхоепідидиміту та 2 операцій гідроцелектомії з тривалістю захворювання близько 1 року в лікувальних закладах міста Дніпро без порушення норм біоетики. При дослідженні білкової оболонки яєчка і кавернозних тіл фізично нормальних чоловіків матеріал був поділений на 3 групи, рівнозначні за кількістю зразків, отримані від чоловіків 21-30 років (І група), 31-60 років (ІІ група) і 61-70 років (ІІІ група). Зразки білкової оболонки яєчка (разом з вісцеральною пластинкою піхвової оболонки яєчка), кавернозних тіл та гідроцільного мішка відмивали в збалансованому сольовому розчині, фіксували клеєм до монтажного столика і знову відмивали. Потім фіксували в 1% забуференому розчині глутарового альдегіду, 2% OsO₄, зневоднювали в спиртах зростаючої концентрації, висувували у вакуумі, напиляли золотом і досліджували за допомогою скануючих електронних мікроскопів BS-301 Tesla (ЧССР) та JSM-35 (Японія). На сканограмах визначали відстань між гребенями складок на поверхні органів (30 вимірів на одній сканограмі) та товщину білкової оболонки на її перерізі. Статистичну обробку результатів морфометрії виконували у програмі Excel, для порівняння статистичних даних використовували критерій Стюдента.

Результати дослідження та їх обговорення. За допомогою СЕМ було встановлено, що на поверхні білкової оболонки яєчка людини присутні складки, які мають упорядковану орієнтацію. Складки розташовувалися переважно поздовжніми рядами (рис. 1 а). Довжина їх в середньому складала $73,7 \pm 4,23$ мкм, відстань між гребенями складок на бічній та присередній поверхнях яєчок дорівнювала $6,89 \pm 0,87$ мкм. Біля переднього краю в середній частині яєчка складки були ширші, середня відстань між їх гребенями дорівнювала $12,57 \pm 0,87$ мкм. Поздовжні складки ми позначили як складки першого порядку. На їх поверхні визначалися дрібні складки другого порядку, орієнтовані переважно поперечно до складок першого порядку (див. рис. 1 а). Довжина цих складок відповідала ширині складок першого порядку, а відстань між їх гребенями становила $1,16 \pm 0,18$ мкм. Складки другого і першого порядку відповідали звивистому ходу окремих колагенових волокон і

комплектації їх у пучки (рис. 1 б). При підвищенні збільшення на сканограмах білкової оболонки яєчка виявлялися окремі колагенові волокна і їх пучки, які між собою були з'єднані тонкими еластичними волокнами, що переважно сполучали містками хвилясті підвищення, відповідні гребеням складок другого порядку (рис. 1 в).

На перерізі білкової оболонки яєчок товщина її коливалася від 275 мкм до 590 мкм, у I віковій групі 21-30 років в середньому складала $298 \pm 8,4$ мм, у II групі 31-60 років – $454 \pm 15,3$ мм, у III групі 61-70 років – $562 \pm 18,5$ мм. У II групі білкова оболонка була товщою порівняно з I групою на 52,3%, у III групі була товщою на 23,8% відносно II групи та на 88,6% відносно I групи ($p < 0,01$).

Проведене порівняння рельєфу білкової оболонки яєчка фізично нормальних чоловіків з такою при гострому орхоепідидиміті, при якому відбувається збільшення об'єму яєчка, що веде до збільшення напруження білкової оболонки, показало згладжування складок (рис. 1 г). При гострому орхоепідидиміті звивистість колагенових волокон зменшувалася, тонкі еластичні волокна, які «зшивали» колагенові волокна і їх пучки, майже не простежувалися, що пояснювало згладжування майже до відсутності складок другого порядку. Орієнтація колагенових волокон була менш впорядкована (рис. 1 г) та іноді через їх різноспрямованість наближалася до сітчастої (рис. 1 д).

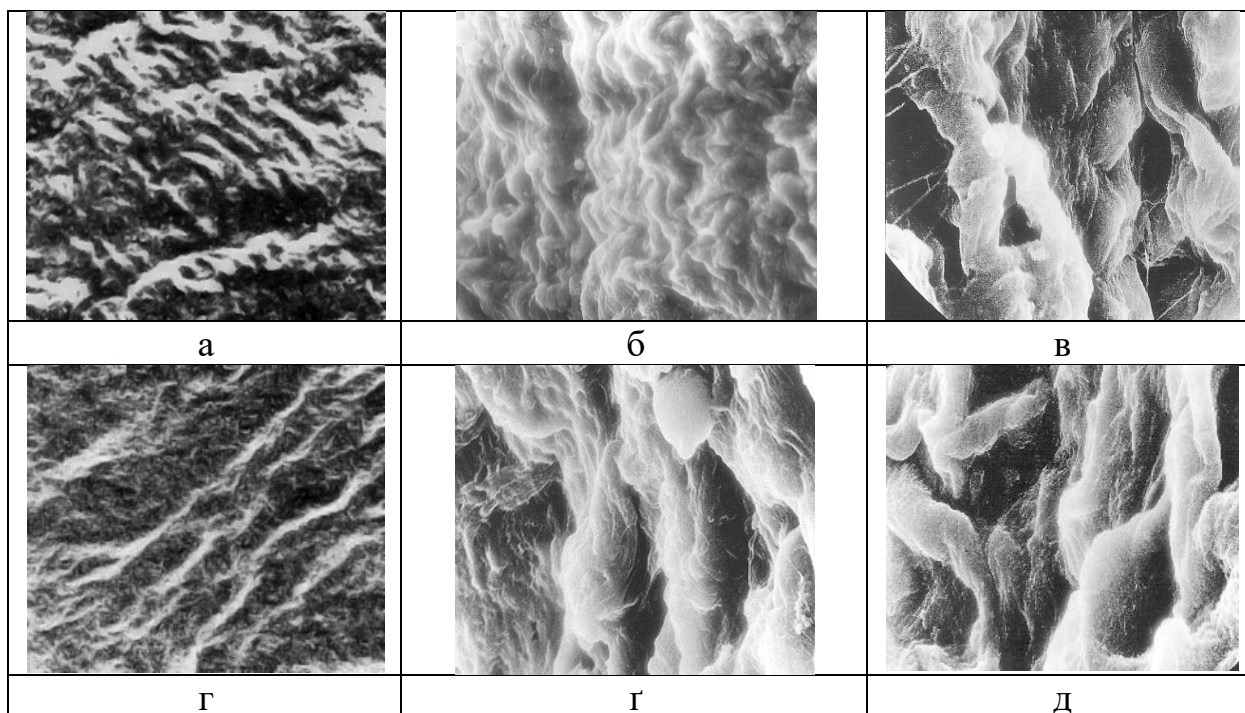


Рис. 1. СЕМ. Мікрорельєф білкової оболонки яєчка людини: а – поздовжні складки першого і другого порядку білкової оболонки у нормі (зб. $\times 100$); б – звивистий хід окремих колагенових волокон (зб. $\times 200$); в – колагенові волокна білкової оболонки, з'єднані між собою тонкими еластичними волокнами у нормі (зб. $\times 600$); г – згладжування складок першого і другого порядку білкової оболонки яєчка при гострому орхоепідидиміті

(зб. $\times 100$); г – зменшення звивистості колагенових волокон білкової оболонки яєчка і майже відсутність тонких еластичних волокон, що «зшивають» колагенові волокна і їх пучки, при гострому орхоепідидиміті (зб. $\times 600$); д – зменшення впорядкованості орієнтації колагенових волокон і їх пучків при гострому орхоепідидиміті (зб. $\times 600$).

На нашу думку виявлена складчастість білкової оболонки яєчка є її структурним пристосуванням, адаптованим до механічних навантажень, що змінюються у зв'язку з фізіологічними змінами об'єму органу. Початкове збільшення внутрішнього напруження в яєчку супроводжується згладжуванням дрібних складок другого порядку, що відповідає зменшенню звивистості колагенових волокон.

При гідроцеле складки білкової оболонки яєчка ставали дещо менш регулярними, розміри їх трохи зменшувалися, в середньому у 1,15 разів. Дослідження пристінкової пластинки піхвової оболонки яєчка також виявило виражені складки на її внутрішній (люмінальній) поверхні (рис. 2 а), які при її розтягненні в разі захворювання на гідроцеле і утворення гідроцільного мішка, згладжувалися і втрачали чітку впорядкованість (рис. 2 б), в їх основі розташовувалися звивисті колагенові волокна, які мали різноспрямовану орієнтацію (рис. 2.в). Складчастість пристінкової пластинки піхвової оболонки яєчка, схожої на складчастість білкової оболонки яєчка, може обумовлювати доцільність застосування останнім часом клаптя піхвової оболонки для реконструкції при розриві яєчка, коли первинне закриття неможливе [13].

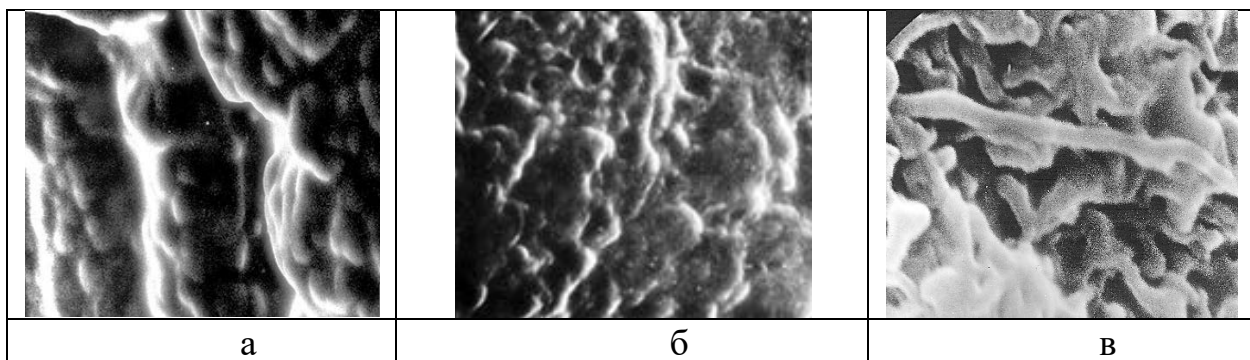


Рис. 2. СЕМ. Мікрорельєф внутрішньої (люмінальної) поверхні пристінкової пластинки піхвової оболонки яєчка людини: а – складки внутрішньої поверхні пристінкової пластинки піхвової оболонки яєчка людини у нормі (зб. $\times 400$); б – згладжені складки внутрішньої поверхні гідроцільного мішка (зб. $\times 400$); в – звивисті колагенові волокна основи внутрішньої поверхні гідроцільного мішка (зб. $\times 400$).

Більш вираженою складчастістю відрізнялася поверхня білкової оболонки кавернозного тіла статевих членів (рис. 3 а). Білкова оболонка кавернозного тіла в основному складалася з запакованих у пучки колагенових

волокон, що мали хвилястий хід. Складки були глибокі, відстань між гребенями складок білкової оболонки кавернозного тіла складала $24,99 \pm 0,94$ мкм, значно більше, ніж у білковій оболонці яєчка. При вивченні орієнтації пучків колагенових волокон було з'ясовано, що в ній простежується два шари, зовнішній і внутрішній (рис. 3 б-г). Зовнішній шар складався з переважно поздовжньо орієнтованих пучків колагенових волокон, внутрішній – з переважно циркулярних пучків колагенових волокон, які були розташованими більш компактно, ніж у зовнішньому шарі.

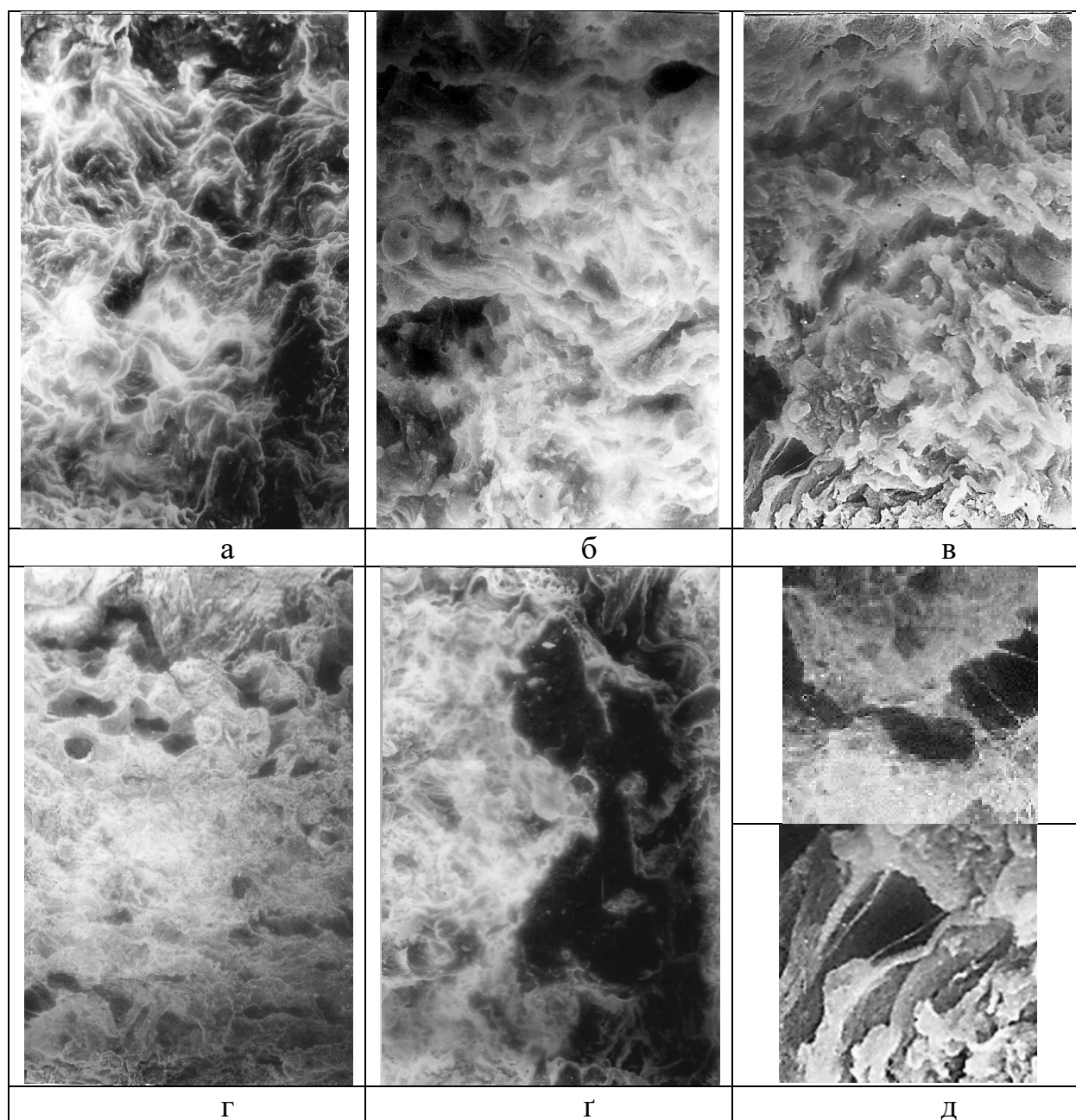


Рис. 3. СЕМ. Мікрорельєф білкової оболонки кавернозного тіла статевого члена людини: а – виражені складки поверхні білкової оболонки (зб. $\times 200$); б – на перерізі білкової оболонки у чоловіка молодого віку на

сканограмі вище розташований зовнішній поздовжній, нижче – внутрішній циркулярний шар колагенових волокон, візуалізуються просвіти судин між шарами (зб. $\times 200$); в – на перерізі білкової оболонки у чоловіка зрілого віку на сканограмі вище розташований зовнішній поздовжній, нижче – внутрішній циркулярний шар (зб. $\times 200$); г – на перерізі білкової оболонки у літнього чоловіка на сканограмі зверху глибока частина зовнішнього поздовжнього шару з потовщеними колагеновими волокнами, нижче більш товстий і щільний внутрішній циркулярний шар колагенових волокон, зменшені просвіти судин між шарами (зб. $\times 200$); г – на перерізі білкової оболонки глибока частина внутрішнього циркулярного шару колагенових волокон, що переходить у трабекули біля каверн (зб. $\times 200$); д – тонкі еластичні волокна, що з'єднують колагенові волокна (зб. $\times 800$).

Межа між зовнішнім і внутрішнім шарами відзначалася розташуванням судин, що відповідали анастомозам між судинними гілками тильних і глибоких артерій статевого члена, просвіти перерізів яких спостерігалися на сканограмах (див. рис. 3 б-г). Біля каверн внутрішній шар колагенових волокон переходив у трабекули печеристих тіл (рис. 3 г). Колагенові волокна, що підтримують кавернозні тіла, були орієнтовані циркулярно, але розташовані менш щільно, ніж у зовнішній частині цього шару. Еластичні волокна з'єднували хвилясті підвищення колагенових волокон (рис. 3 д).

Внутрішній циркулярний шар у III досліджуваній групі був товщий і більш щільний (див. рис. 3 г), ніж у I і II групах (див. рис. 3 б, в). Судини між зовнішнім і внутрішнім шарами білкової оболонки яєчка у III групі були меншого діаметра.

На перерізі білкової оболонки кавернозних тіл товщина її коливалася від 1,3 мм до 2,5 мм, у I групі в середньому склала $1,78 \pm 0,07$ мм, у II групі – $1,80 \pm 0,06$ мм, у III групі – $2,03 \pm 0,03$ мм. У II групі білкова оболонка була несуттєво товщою порівняно з I групою, у III групі була товщою на 12,8% відносно I і II груп ($p < 0,01$). Якщо в I і II групах зовнішній шар був трохи тонший за внутрішній, то у III групі товщина внутрішнього шару могла досягати $2/3$ товщини усієї оболонки. Товщина пучків колагенових волокон у I віковій групі була вірогідно меншою, ніж у II групі, відповідно $42,0 \pm 3,3$ мкм і $60,2 \pm 3,8$ мкм ($p < 0,05$), у III групі зменшувалася в середньому до $48,3 \pm 4,7$ мкм, однак різниця між III і I, між III і II групами не була статистично підтвердженою ($p > 0,05$).

За опублікованими науковими даними, які були отримані в результаті дослідження молодих чоловіків середнім віком 20,6 років, відомо, що під час ерекції у зв'язку зі збільшенням кавернозних тіл статевий член подовжувався в 1,77 рази (з 9,47 см до 16,78 см), а за окружністю збільшувався лише в 1,25 рази (з 9,59 см до 12,03 см) [14]. За іншими даними у чоловіків 18-60 років довжина збільшувалася в 1,58 разів (з 8,21 см до 13,01 см), окружність – в 1,25 разів (з 9,14 см до 11,46 см) [15]. Ці свідчення корелюють з отриманими нами

даними відносно того, що зовнішній шар поздовжніх волокон, відповідальний за подовження статевого члена, більш пухкий і тонший, а внутрішній шар колових колагенових волокон, відповідальний за збільшення його в діаметрі, щільніший і товщий та відносно потовщується у віковій групі, старшій 60 років. Це може бути одним з факторів погіршення еректильної функції з віком, особливо враховуючи, що саме розмір окружності статевого члена має більше сексуальне значення, ніж довжина [16]. Разом з тим, 72% чоловіків, що перенесли встановлення надувного протезу статевого члена, повідомляли про суб'єктивну втрату його довжини [17], що може бути пов'язано зі зміною складчастості білкової оболонки кавернозних тіл, частковою згладжуваністю звивистості колагенових волокон при розтягненні протезом у спокійному стані, внаслідок чого – меншою амплітудою розтягнення в ерегтованому стані.

Висновки.

1. Мікрорельєф білкової оболонки яєчка і кавернозного тіла людини має складчасту будову, яка є структурним пристосуванням, адаптованим до змінних внутрішніх навантажень і залежить від можливостей розтягування еласто-колагенового каркасу.

2. Білкова оболонка яєчка має поздовжні складки першого порядку і розташовані на їх поверхні дрібні поперечно до них орієнтовані складки другого порядку. Парієтальна пластинка піхвової оболонки яєчка також має складчасту будову, складки якої можуть розтягуватися, згладжуючись при гідроцеле, що обумовлює морфологічну доцільність застосування її для пластики білкової оболонки яєчка.

3. При гострому орхоепідидиміті відбувається згладжування складок першого і в більшій мірі другого порядку та зменшується впорядкованість їх орієнтації. Для запобігання надмірних внутрішніх навантажень, що можуть призвести до ішемічного некрозу яєчка при гострому орхоепідидиміті, у визначених випадках необхідним є своєчасне оперативне втручання.

4. Товщина білкової оболонки яєчка чоловіків 61-70 років збільшується більше ніж на 50% порівняно з чоловіками 31-60 років та майже на 90% порівняно з чоловіками 21-30 років.

5. Складки на поверхні білкової оболонки кавернозного тіла статевого члена за шириною в 2-4 рази перевищують складки білкової оболонки яєчка і орієнтовані поздовжньо. Білкова оболонка кавернозного тіла має зовнішній поздовжній шар і внутрішній циркулярний шар колагенових волокон, що переходить у трабекули.

6. Товщина білкової оболонки кавернозного тіла незначно збільшується у чоловіків 31-60 років відносно чоловіків 21-30 років та на 12,3% у чоловіків 61-70 років переважно за рахунок внутрішнього циркулярного шару колагенових волокон. Останній потовщується і ущільнюється, внаслідок чого розтяжність білкової оболонки зменшується переважно в радіальному напрямку, що впливає на її еластичність і опосередковано – на сексуальну функцію.

7. Судини між поздовжнім і циркулярним шарами колагенових волокон білкової оболонки кавернозного тіла з віком зменшуються в діаметрі, що може призводити до порушення функції анастомозів між гілками тильних та глибоких артерій статевого члена.

Література:

1. Njagi P., Groot W., Arsenijevic J., Dyer S., Mburu G., Kiarie J. Financial costs of assisted reproductive technology for patients in low- and middle-income countries: a systematic review. *Human Reproduction Open*. 2023. 2, hoad007, 17 p.
2. Поворознюк М.В. Причини порушень дітородної здатності у чоловіків із безпліддям у шлюбі: інфекційно-запальні захворювання сечостатевої системи. *Медичні аспекти здоров'я чоловіка*. 2019. 2-3 (33-34): 38-47.
3. Jurkiewicz N.H., Jurkiewicz A., Dantas E., da S. Júnior. Physiopharmacological properties of the testicular capsule: A concise review. *Eur. J. Pharm.* 2020. 883 (15):173345.
4. Qin D.N., Lung M.A. Studies on relationship between testicular capsule and sperm transport in rat testis. *Asian J. Androl.* 2000. 2(3):191-198.
5. Nistal M., Paniagua R. 2008. Ch. 12. Non-neoplastic diseases of the testis. In D.G. Bostwick & L. Cheng (Eds.), *Urologic Surgical Pathology (Second Edition)*, pp. 614-755.
6. Brown C.T., Wan J.C., DaJustaa D.G. Non-traumatic testicular rupture following episode of epididymo-orchitis. *Urol. Case Rep.* 2018. 17:48-49.
7. Awwad Z., Abu-Hijleh M., Basri S., Shegam N., Murshidi M., Ajlouni K. Penile measurements in normal adult Jordanians and in patients with erectile dysfunction. *Int. J. Impot. Res.* 2005. 17(2):191-195.
8. Ranjan Sahoo M., Kumar Nayak A., Kumar Nayak T., Anand S. Fracture penis: a case more heard about than seen in general surgical practice. *BMJ Case Rep.* 2013: bcr2013009442.
9. Chen M.L., Ruberti J.W., Nguyen T.D. Increased stiffness of collagen fibrils following cyclic tensile loading. *J. Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2018. 82: 345-354.
10. Wang V.M., De Vita R., S.L. Arena. Masters of Science in Engineering Mechanics. 2019. Blacksburg, Virginia. 43 p.
11. Udelson D. Biomechanics of male erectile function. *J. R. Soc. Interface*. 2007. 4(17): 1031-1048.
12. Yu Tan, Landford W.N., Garza M., Suarez A. Complete human penile scaffold for composite tissue engineering: Organ decellularization and characterization. *Scientific Reports*. 2019. 9(1):16368.
13. Yokokawa S, Tabei T, Kobayashi K. Testicular rupture successfully treated with a tunica vaginalis flap. *IJU Case Rep.* 2021; 4: 82–85.
14. Di Mauro M., Russo G.I., Cocci A. Penile length and circumference dimensions: A large study in young Italian men. *Andrologia*. 2021. 53(9): e14161.
15. Promodu K., Shanmughadas K.V., Bhat S., Nair K.R. Penile length and circumference: an Indian study. *Int. J. Impot. Res.* 2007. 19(6):558-63.
16. Prause N., Park J., Leung S., Miller G. Women's preferences for penis size: A new research method using selection among 3D models. *PLoS One*. 2015; 10(9): e0133079.
17. Kim J., So B., Heo Y., So H., Jo J.K. Penile erection morphometry: The need for a novel approach. *World J. Mens Health*. 2024. 42: e2.

References:

1. Njagi P., Groot W., Arsenijevic J., Dyer S., Mburu G., Kiarie J. Financial costs of assisted reproductive technology for patients in low- and middle-income countries: a systematic review. *Human Reproduction Open*. 2023. 2, hoad007, 17 p.

2. Povoroznyuk M.V. Prychyny porushen' ditorodnoyi zdatnosti u cholovikiv iz bezpliddyam u shlyubi: infektsiyno-zapal'ni zakhvoryuvannya sechostatevoyi systemy. Medychni aspekty zdorov'ya cholovika. 2019. 2-3 (33-34): 38-47. [in Ukrainian]
3. Jurkiewicz N.H., Jurkiewicz A., Dantas E., da S. Júnior. Physiopharmacological properties of the testicular capsule: A concise review. *Eur. J. Pharm.* 2020. 883 (15):173345.
4. Qin D.N., Lung M.A. Studies on relationship between testicular capsule and sperm transport in rat testis. *Asian J. Androl.* 2000. 2(3):191-198.
5. Nistal M., Paniagua R. 2008. Ch. 12. Non-neoplastic diseases of the testis. In D.G. Bostwick & L. Cheng (Eds.), *Urologic Surgical Pathology (Second Edition)*, pp. 614-755.
6. Brown C.T., Wan J.C., DaJustaa D.G. Non-traumatic testicular rupture following episode of epididymo-orchitis. *Urol. Case Rep.* 2018. 17:48-49.
7. Awwad Z., Abu-Hijleh M., Basri S., Shegam N., Murshidi M., Ajlouni K. Penile measurements in normal adult Jordanians and in patients with erectile dysfunction. *Int. J. Impot. Res.* 2005. 17(2):191-195.
8. Ranjan Sahoo M., Kumar Nayak A., Kumar Nayak T., Anand S. Fracture penis: a case more heard about than seen in general surgical practice. *BMJ Case Rep.* 2013: bcr2013009442.
9. Chen M.L., Ruberti J.W., Nguyen T.D. Increased stiffness of collagen fibrils following cyclic tensile loading. *J. Mechanical Behavior of Biomedical Materials.* 2018. 82: 345-354.
10. Wang V.M., De Vita R., S.L. Arena. *Masters of Science in Engineering Mechanics.* 2019. Blacksburg, Virginia. 43 p.
11. Udelson D. Biomechanics of male erectile function. *J. R. Soc. Interface.* 2007. 4(17): 1031-1048.
12. Yu Tan, Landford W.N., Garza M., Suarez A. Complete human penile scaffold for composite tissue engineering: Organ decellularization and characterization. *Scientific Reports.* 2019. 9(1):16368.
13. Yokokawa S, Tabei T, Kobayashi K. Testicular rupture successfully treated with a tunica vaginalis flap. *IJU Case Rep.* 2021; 4: 82–85.
14. Di Mauro M., Russo G.I., Cocci A. Penile length and circumference dimensions: A large study in young Italian men. *Andrologia.* 2021. 53(9): e14161.
15. Promodu K., Shanmughadas K.V., Bhat S., Nair K.R. Penile length and circumference: an Indian study. *Int. J. Impot. Res.* 2007. 19(6):558-63.
16. Prause N., Park J., Leung S., Miller G. Women's preferences for penis size: A new research method using selection among 3D models. *PLoS One.* 2015; 10(9): e0133079.
17. Kim J., So B., Heo Y., So H., Jo J.K. Penile erection morphometry: The need for a novel approach. *World J. Mens Health.* 2024. 42: e2.