

### Реферат

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КАРБОНОВЫХ СОРБЕНТОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЦИКЛА ОКСИДА АЗОТА В СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКЕ ЖЕЛУДКА КРЫС ПРИ СОЧЕТАННОЙ НИТРАТНО-ФТОРИДНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ

Акимов О.Е., Костенко В.А.

Ключевые слова: нитрат натрия, фторид натрия, NO-синтаза, нитратредуктаза, нитритредуктаза.

В статье рассмотрено влияние суспензий сорбента «Карболайн» и лигнина гидролизного на функционирование цикла оксида азота в слизистой оболочке желудка крыс при сочетанной нитратно-фторидной интоксикации. опыты проведены на 53 половозрелых крысах линии «Вистар». Для моделирования нитратно-фторидной интоксикации внутривентрикулярно вводили растворы нитрата и фторида натрия в дозе 500 мг / кг и 10 мг / кг соответственно. Для оценки функционального состояния цикла оксида азота определяли общую активность NO-синтаз, аргиназ, нитрат-нитритредуктаз, содержание нитритов и пероксинитрита. Установлено, что суспензия сорбента «Карболайн» более эффективна для коррекции изменений в функционировании цикла оксида азота в слизистой оболочке желудка крыс, вызванных фторидным компонентом нитратно-фторидной интоксикации. Суспензия лигнина гидролизного более эффективна для коррекции изменений в функционировании цикла оксида азота в слизистой оболочке желудка крыс, вызванных нитратным компонентом нитратно-фторидной интоксикации. Суспензия сорбента «Карболайн» более эффективна для предупреждения накопления нитрит-ионов в организме в условиях нитратно-фторидной интоксикации.

### Summary

INFLUENCE OF DIFFERENT CARBON-BASED SORBENTS ON FUNCTIONING OF NITRIC OXIDE CYCLE IN RATS GASTRIC MUCOSA UNDER COMBINED NITRATE-FLUORIDE INTOXICATION

Akimov O.Ye., Kostenko V.O.

Key words: sodium nitrate, sodium fluoride, NO-synthase, nitrate reductase, nitrite reductase.

The article deals with the influence of the suspensions of the sorbent "Carboline" and hydrolytic lignin on the functioning of the cycle of nitric oxide in gastric mucosa of rats under combined nitrate-fluoride intoxication. Experiments were conducted on 53 adult rats of Wistar line. To simulate nitrate-fluoride intoxication solutions of sodium nitrate and sodium fluoride were intragastrically administered in dose 500 mg / kg and 10 mg / kg respectively. To evaluate the functional state of the nitric oxide cycle the overall activity of NO-synthases, arginases, nitrate-nitrite reductases, nitrite content and peroxynitrite were measured. It was found out that suspension of sorbent "Carboline" is more effective for correction of changes in the operation of nitric oxide cycle in rat gastric mucosa caused by fluoride component of nitrate-fluoride intoxication. Hydrolytic lignin suspension is more effective for the correction of changes in the of nitric oxide cycle in rat gastric mucosa caused by nitrate component nitrate-fluoride intoxication. Suspension of sorbent "Carboline" is more effective for preventing the accumulation of nitrite ions in the body under nitrate-fluoride intoxication.

.УДК 576.31:616-008.851-008.9:796.15

**Баскевич О.В., Попель С.Л., Газ Ю.Р., Собєтов Б.Г.**

## **ТИПОВІ ПОРУШЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕМБРАНИ ЕРИТРОЦИТІВ ПРИ ФІЗИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ В ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ ЗАГАЛЬНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ОРГАНІЗМУ**

Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, м. Івано-Франківськ

*У статті розглядаються загальні закономірності та особливості змін структури і функції мембрани еритроцитів при фізичному навантаженні різної інтенсивності. На підставі даних літератури і власних досліджень робляться висновки про існування типових молекулярних порушень мембрани еритроцитів при фізичних навантаженнях різної інтенсивності, які розвиваються при тренуванні загальної витривалості. Передбачається, що універсальність реагування циркулюючого еритроцитарного пулу на різноманітні фізичні навантаження є еволюційно закріпленою реакцією і виявляється адаптаційною перебудовою мікрорельєфу і мікроелементного складу клітин периферичної крові.*

Ключові слова: еритроцит, мембрана, фізичне навантаження, витривалість.

*Дослідження проведено згідно плану науково-дослідної роботи кафедри теорії і методики фізичної культури і спорту Прикарпатського національного університету імені В. Стефаника за темою «Структурний слід адаптації організму при гіпокнезії і фізичному навантаженні в онтогенезі», № держ. реєстрації 0111U000873.*

Витривалість організму – найважливіша фізична якість, що виявляється в спортивній діяльності та у повсякденному житті людей [12]. Вона відображає загальний рівень працездатності людини. Будучи багатofункціональною влас-

тивістю людського організму, витривалість інтегрує в собі велику кількість процесів, що відбуваються на різних рівнях: від клітинного і до цілісного організму [15]. Однак, як показують результати сучасних наукових досліджень, в переваж-

ній більшості випадків провідна роль в дослідженнях витривалості належить встановленню факторів, які сприяють активізації енергетичного обміну і вегетативних систем його забезпечення - серцево-судинної і дихальної, а також центральної нервової системи. При цьому залишаються поза увагою дослідження клітинних реакцій при фізичному навантаженні (ФН) в процесі тренувань пов'язаних з підвищенням загальної витривалості організму спортсмена [9]. Еритроцити (Er) в даному випадку є зручною моделлю для такого роду досліджень, оскільки вони приймають участь у процесах, пов'язаних з підтриманням гомеостазу на рівні цілого організму [1,7,10]. Ці клітини крім властивої для них специфічної газотранспортної функції мають здатність брати участь в регуляції кислотно-лужного стану, водно-електролітного балансу, мікрореологічного статусу крові, в імунних реакціях, зв'язуванні і перенесенні амінокислот і ліпідів, що представляє безпосередній інтерес при розвитку загальної витривалості організму [12,14].

**Мета дослідження**

Вивчити конформаційні і мікроелементні зміни в еритроцитах при фізичному навантаженні направленої на розвиток витривалості.

**Матеріал і методи дослідження**

Досліджували Ер периферичної крові у 10 спортсменів-лижників, які тренуються в умовах

середньогір'я (сmt. Микуличин, Івано-Франківської обл.) Забір крові (в кількості 0,1 мл) проводили на початку (КГ) і в кінці (ЕГ) тренувального збору загальною тривалістю 24 дні. Дослідження проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа "JEOL-25M-T220A" (Японія) по загальноприйнятій методиці. Кількісний аналіз мікроелементів ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ) здійснювали в приставці "ЕДАР" для електронного мікроскопа PEM-102E ("Selmi", Україна). Електронно-мікроскопічні зображення аналізували в редакторі Image J [3]. Індекс форми визначали як відношення максимального і мінімального діаметрів Ер за формулою:  $IF = D_{max}/D_{min}$ , ум. од. Вибірки значень одержані при всіх видах вимірювань мали нормальний розподіл. Це дозволило застосувати t-критерій Стьюдента при порівнянні міжгрупових відмінностей. Вірогідними вважалися відмінності при  $p < 0,05$ .

**Результати досліджень та їх обговорення**

Лінійні розміри Ер впродовж всього періоду тренувального збору характеризуються малими, але системними зрушеннями. Зокрема, максимальні розміри Ер розрізняються тільки у вигляді тенденцій до збільшення діаметрів. Однак по коротких осях спостерігаються більш значні і статистично вірогідні ( $p < 0,05$ ) відмінності (табл.).

Таблиця  
Морфометричні і біохімічні показники еритроцитів впродовж тренувального збору,  $M \pm t$

Параметр	Група	
	КГ	ЕГ
Діаметр дисків, мкм	7,0±0,02	6,6±0,02
Висота дисків, мкм	0,79±0,004	0,37±0,001*
Індекс форми, ум. од.	1,01±0,001	1,12±0,008*
Діаметр пір, нм	100,9±3,03	181,5±11,23*
Натрій, ммоль/л	14,4±0,05	22,7±0,05**
Калій, ммоль/л	86,5±4,01	70,8±3,12*
Трансмінералізація еритроцитів, усл.ед.	6,0±0,22	3,1±0,11*
Магній, ммоль/л	4,3±0,11	6,4±0,12*
Хлор, ммоль/л	1,4±0,01	2,2±0,02*
Кальцій, ммоль/л	3,2±0,02	5,6±0,28*

Примітка: \* –  $p < 0,05$ .

Центральні ямки дисків поглиблюються, але при цьому на 50-75 нм зменшується товщина дисків, що обумовлено зменшенням товщини білково-глобулярного шару мембрани Ер [1,5]. Це має адаптивне значення, оскільки розширює пластичні можливості Ер при проходженні через капілярний сегмент гемомікроциркуляторного русла. Дані таблиці вказують на досить малі відхилення кожного з параметрів (в межах 5-7%), але вони накопичуються і приймають системний

характер. Це робить дані зрушення функціонально значимими в кінці тренувального збору.

На відміну від КГ, де гістограма розподілу Ер має вигляд нормального розподілу (рис. 1), в ЕГ гістограма розподілу Ер за розміром асиметрична і мультиполярна за рахунок збільшення лівого крила гістограми, тобто внаслідок зростання числа варіюючих класів клітин малого розміру (рис. 2).

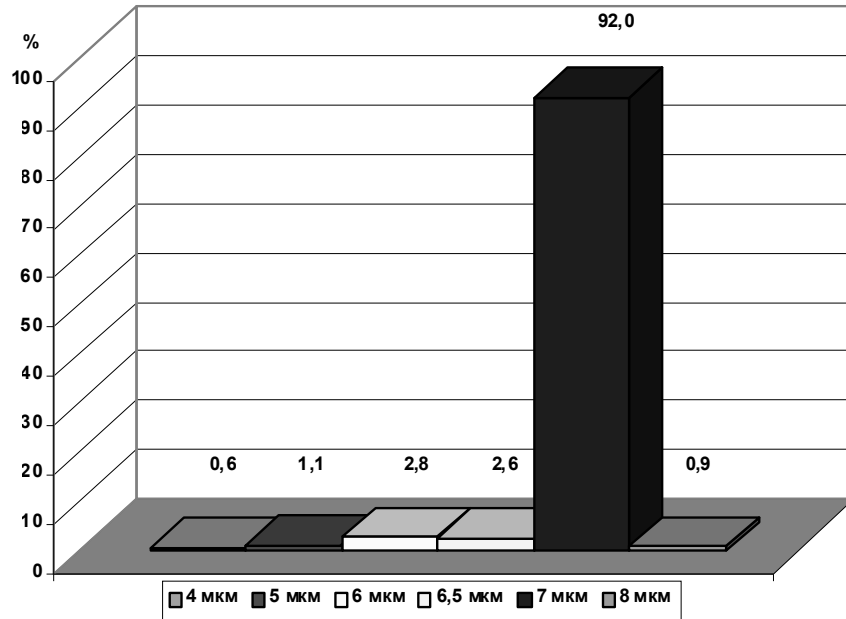


Рис. 1. Розподіл еритроцитів спортсменів контрольної групи за максимальними діаметрами. Параметри: медіана  $7,0 \pm 0,3$  мкм, мода  $6,8 \pm 0,3$  мкм, дисперсія 0,5, ексцес 2,2, інтервал 1,0 мкм.

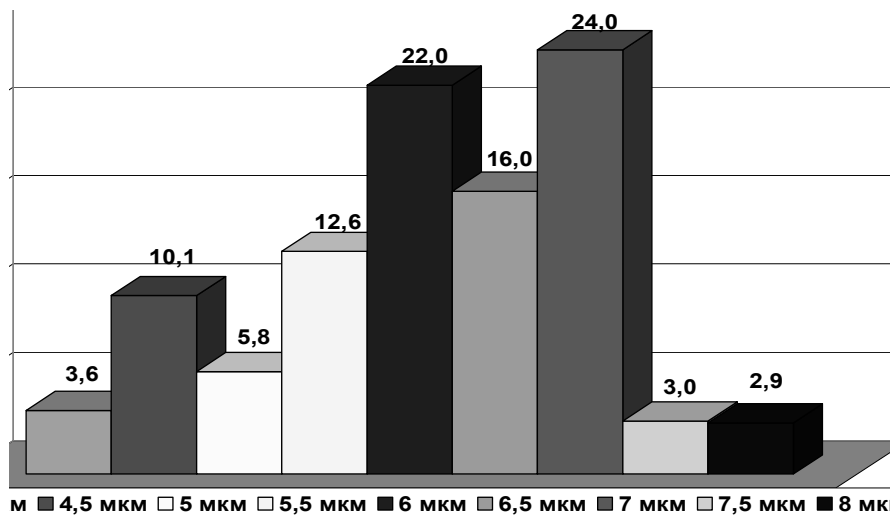


Рис. 2. Розподіл еритроцитів спортсменів експериментальної групи за максимальними діаметрами. Параметри: медіана  $6,2 \pm 0,2$  мкм, мода  $5,8 \pm 0,2$  мкм, дисперсія 0,5, ексцес 2,2, інтервал 0,5 мкм.

Порівняльний аналіз показує, що в КГ об'єм розмірних класів в лівому крилі складає тільки 20,0 %, тоді як в ЕГ – близько 70,0%. Збільшення кількості Ер лівого крила гістограми супроводжується вірогідним ( $p < 0,05$ ) зменшенням значень медіани і моди.

Вказані особливості гістограми означають, що у відповідь на дію ФН реагують перш за все Ер малих розмірів, що характерне для короткотривалих, швидкоплинних реакцій, які, очевидно, відбуваються внаслідок викиду клітин “першого ешелону стрес-реакції” з резервного пулу загального кровотоку [3,8].

Розподіл Ер у спортсменів ЕГ стає більш экс-

тремальним: збільшується кількість інтервалів, об'єми окремих класів варіюють внаслідок різких “стрибків”, а досягнення значень центральних параметрів відбувається хвилеподібно (у контролі по монотонно висхідному тренду). Хвилеподібна форма гістограми, мабуть, відображає нестабільно-коливальний стан Ер в періоді активного тренування організму в умовах середньогіря [12,15].

Це підтверджується зміною електролітного складу Ер, перш за все натрію і калію (табл.). Відомо [7,12], що їх співвідношення дозволяє опосередковано оцінити стан клітинного метаболізму в цілому організмі. Тому знання загальних за-

кономірностей розподілу електролітів в організмі, зокрема калію і натрію, а також взаємостосунків цього розподілу з концентрацією і пересуванням іонів інших металів дозволяє скласти загальне уявлення про те, що відбувається усередині кожної клітини в організмі [1,8,9].

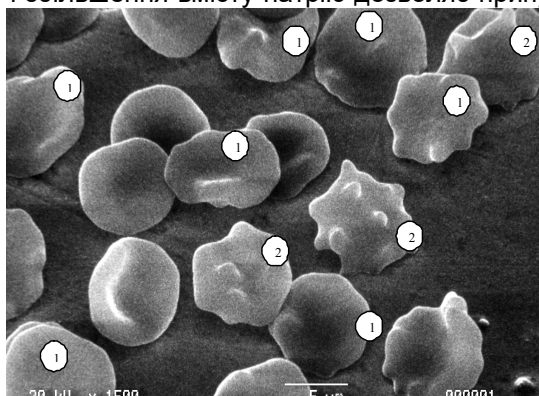
Безпосередня небезпека загальної і головним чином клітинної гіпокаліємії полягає у тому, що при ній, перш за все, виникає гіпорексія і страждає скоротлива функція м'язів, зокрема міокард і гладка мускулатура кишечника. При внутрішньоклітинній гіпокаліємії можливий розвиток паралічів скелетної мускулатури, паралітичної кишкової непрохідності, серцевих аритмій [9,10,11], а також підвищеної чутливості до допінг-препаратів, які так часто присутні в різних тренувальних схемах [14].

Оцінка більш інформативного показника, так званої трансмінералізації еритроцитів (К<sub>ер</sub>/Na<sub>ер</sub> (норма 5-6) і трансмембранного потенціалу по калію (К<sub>ер</sub>/К<sub>пл</sub> (норма 20-22) дає можливість судити про втрату клітинної маси Ер. Зниження трансмембранного потенціалу по калію нижче 20 говорить про загальний дефіцит калію в організмі спортсменів, а зменшення трансмінералізації внаслідок зниження показників концентрації калію і збільшення вмісту натрію дозволяє припус-

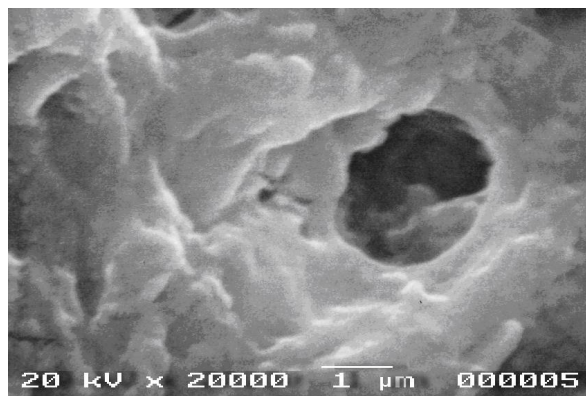
кати наявність подібних порушень і в інших клітинних структурах.

Відомо, що при дії екстремальних чинників система переходить в детермінований стан, хаотичність флюктуацій зменшується і коливання приймають регулярний, впорядкований характер [4,5,10]. Статистично цей ефект виявляється у вигляді зменшення показників дисперсії та ексцесу. Ер немовби "стискається" і переходить до більш мономорфного унімодального стану. Зменшуються чисельні значення ширини інтервалів, що вказує на вкорочення сумарної довжини хвилі флюктуючих коливань. Якщо інтерполювати ці співвідношення на індивідуальні клітини, то можна припустити, що під впливом ФН збуджуються фліккерні (шумові) коливання Ер [4,5,10].

При цьому самі Ер піддаються пружній деформації, а коливання, виходячи з форми розмірних гістограм, по амплітуді і частоті стають вище початкових. Збільшення частоти осцилюючих коливань неминуче веде до розбалансування стабільного стану клітинної мембрани, а це, в свою чергу підсилить плавлення ліпідів і підвищить текучість мембран. Морфологічно це виявляється активною конформацією Ер (рис. 3 а) і розширенням мембранних пор (рис. 3, б)



А



Б

*Рис. 3. Поверхневий мікрорельєф еритроцитів після фізичного навантаження в умовах середньогір'я: а – фізіологічно зворотні (1) і дегенеративні незворотні (2) трансформовані еритроцити, б – розширення мембранної пори на фоні дрібногранулярної поверхні клітинної мембрани. Скануюча електронна мікроскопія. Зб.: а – 1500, б – 20000.*

Вони стискаються або витягуються, що відповідає вищим значенням коефіцієнта варіації показників ІФ. Зміни фізичного стану мембранних ліпідів супроводжуються зменшенням показників шорсткості і питомої площі поверхні мембран. Це означає, що в мембранах Ер збільшується поверхневий натяг і, відповідно, зменшується поверхнева енергія. Збільшенню поверхневого натягу сприяє також ущільнення Ер, що спостерігається у вигляді збільшення вагових індексів натрію, кальцію, магнію і хлору, але знижується концентрація калію, схильного покинути клітини при дії найрізноманітніших механічних або біохімічних перетвореннях [9,13,15]. Внаслідок дії сил поверхневого натягу мембрани розправляються, кількість вогнищ, що концентрують напругу, зменшується, і мембрани стають міцнішими

на розрив. Одночасно з цим в поверхневих шарах стінки Ер з'являються вогнища ущільнень. Морфологічно ці вогнища мають вид дегранулованих ділянок, які виступають на 50-80 нм над поверхнею. За даними вимірювань, знятих з цих ділянок, показники шорсткості і адгезивності істотно зменшуються щодо решти поверхні дискцитів. Це означає, що дані ділянки більш гідрофобні, тобто мають меншу здатність до змочування. В нормі питома площа таких ділянок не перевищує 5,0 %, і їх поява, мабуть, обумовлена підсиханням зразків. Проте в ЕГ площа вогнищ ущільнення збільшується практично в два рази і коливається в межах 10,0 %. Механізми формування подібних ділянок невідомі, але одним з них може бути стресс-обумовлене посилення золь-гель переходів в ліпопротеїнових комплек-

сах цитоплазматичних мембран. На фоні посилення коливальних рухів Ер і збільшення сил поверхневого натягу, безумовно, посиляться також процеси утворення капілярних хвиль в трансмембранній рідині. Швидкість руху хвиль по мірі зростання поверхневого натягу буде збільшуватися, а довжина, у зв'язку зі стоншенням дисків – зменшуватися [6]. Вказані фундаментальні співвідношення створюють структурні і фізико-механічні передумови для високочастотного зсуву осцилюючих коливань внутрішньоклітинної рідини і мембранних структур Ер. Внаслідок нерівномірного розтягування мембрани з'являються вогнища ущільнення з гідрофобною поверхнею та западини з гідрофільними дном і краями. Це збільшує неоднорідність швидкостей і структури гідродинамічних потоків: у розширених порах з гладкими стінками потоки ламінізуються і прискорюються, а в заглибленнях, навпаки – вони сповільнюються і піддаються турбулентним закручуванням. В результаті цього на певних ділянках мембрани Ер різко зростає тиск, що веде до вдавлення країв, утворення різноманітних виростів, застою високоадгезивної плазматичної рідини і накопичення частинок липкого детриту.

Інтенсивність трансмембранного обміну і, зокрема, швидкість гідродинамічних потоків, значною мірою визначаються структурою і формою пор [1,5,6].

В мембранах Ер спортсменів ЕГ діаметр входу, глибина і відносний об'єм пор істотно вище за контрольні значення тому, що мембрани стають більш пористими, і відповідно, більш проникливими. Враховуючи багатократне перевищення відносного об'єму, відбувається це стрибкоподібно. І не тільки за рахунок розширення, але й шляхом утворення пор *de novo*. Розширені пори мають підвищені краї, які виконані різнокаліберними зернами з субгранулярною організацією. Багато пор мають воронкоподібну форму з подовженим загостреним "горлом". В нормі воронкоподібні пори зустрічаються рідше, а їх діаметр не перевищує 150 нм.

В Ер спортсменів ЕГ воронкоподібні пори більші за розмірами (діаметром до 250 нм), дно покрите тонким шаром безформенної "в'язкої" маси і невпорядкованими гранулами.

Простір між гранулами розширений і утворює масштабну мережу ультратонких каналів, що спостерігаються на мікрофотографіях при великих збільшеннях скануючого електронного мікроскопа. Горловина пор глибоко проникає в багатшарові стінки Ер.

Внаслідок різноспрямованої дії деформуючих сил мембрани в Ер розправляються нерівномірно: з'являються обширні (діаметром до 300 нм), але неглибокі (15-25 нм) западини. "Береги" западин характеризуються значними перепадами висот, порізані закрутами і схилами. У місцях підйому "береги" немовби вивертаються і можуть піднятися до 100 нм. У функціональному відно-

шенні це означає орієнтацію Ер на переважне виведення речовини, а в патоморфологічному розумінні це розцінюється як підготовка до піроптозу – різновиду апоптозу, в ході якого дегенеративно змінені клітини викидають (виплескують) цитоплазматичний матеріал [11]. Закрути (меандри) – це петлеподібні прогинання дна на ділянці до 50-100 нм, що розчленовують стінки западин. Поява подібних структур свідчить про уповільнення потоків трансмембранної рідини. Схили в основному опуклі, а їх мікрорельєф ускладнюється двох-трьох ярусними терасами, сходинки яких оголяють пластинчасту структуру стінок Ер. При скануванні дна западин в режимі вторинних електронів дозволяє деталізувати тонку текстуру поверхні, виявляються наноканали і частинки детриту різного ступеня дисперсності. Наноканали утворюють густу розгалужену сітку, а детрит відкладається переважно в "прибережних" ділянках у вигляді поліморфних аглютинатів.

Поверхня западин, особливо на дні, відрізняється високою адгезивністю, що свідчить про накопичення в'язкої маси. Вищеперераховані морфологічні особливості ускладнюють текстуру поверхні еритроцитарних дисків. Це і зумовлює неоднорідність швидкості і структури внутрішньо- і трансмембранних гідродинамічних потоків. При проходженні рідини через розширені пори з відносно гладким рельєфом стінок швидкість потоків збільшується і вони ламінізуються. У дрібних западинах з розгалуженими краями швидкість гідродинамічних потоків сповільнюється і вони починають закруглятися. При зменшенні кінетичної енергії (швидкості) гідродинамічних потоків тиск (і відповідно тертя, що створюється біля стінки і дна западини), збільшується. Циркулююча трансмембранна рідина починає застоюватися, "замулюватися", перетворюється на в'язкий флюїд, який розчиняє дно і стінки. В результаті западини перетворюються в мембранні дефекти, які розвиваються за принципом "повзучий" ерозій.

В цілому до цих конформацій додаються зміни площі контакту мембрани Ер не всією своєю поверхнею, а тільки дуже малою площею на вершинах шиповидних виростів і тоді стає зрозумілою вся глибина порушення трансмембранного перенесення життєво необхідних речовин на рівні обмінної ланки ГМЦР.

### **Висновки**

1. У гострій фазі фізичного навантаження еритроцити піддаються структурно-функціональним перетворенням, патогенетичною основою яких є флікер-резонансне збільшення амплітуди і частоти осцилюючих коливань рідини, мембран і клітин в цілому.

2. Порушення мікроелементного складу еритроцитів підсилює плавлення ліпідів, збільшує текучість мембран і підвищує поверхневий натяг, внаслідок чого дискцити витягуються і сто-

ншуються, центральні ямки заглиблюються і збільшуються шорсткість поверхні, об'єм і кількість конусовидних пор, а також густина Ер.

3. Внаслідок різноспрямованої дії деформуючих сил спостерігається порушення правильної дископодібної форми еритроцитів, а зміни структури і фізико-механічних властивостей ініціюють апоптоз і підсилюють їх агрегаційні взаємодії.

4. Після закінчення тренувального збору виникають системні перетворення еритроцитарного пулу периферичної крові, обумовлені деструкцією поверхні клітинної мембрани дегенеративних форм еритроцитів і посиленням регенеративних можливостей та активного викиду молодих, функціонально активних клітинних форм, які мають підвищену текучість, що є позитивним еволюційним пристосуванням для організму в цілому.

Перспективи подальших досліджень передбачають пошук можливих шляхів корекції і запобігання розвитку стійких структурних деформацій еритроцитів при фізичних навантаженнях різної інтенсивності і спрямованості.

### Література

1. Белоусова О.Д. Структура цитоплазматических мембран и химический состав эритроцитов в ранний период раневых повреждений по данным сканирующей зондовой микроскопии / О.Д. Белоусова, [и др.] // Воен.-мед. журн. – 2013. – Т. 334, № 1. – С. 19–24.
2. Кононенко В.Л. Фликкер эритроцитов 1. Теоретические модели и методы регистрации / В.Л. Кононенко // Биологические мембраны. – 2009. – № 5 (26). – С. 352–369.
3. Кроль А.А. Быстрые локальные колебания поверхности эритроцита человека / А.А. Кроль [и др.] // Цитология. – 1989. – № 5. – Т. 31. – С. 563–567.
4. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях / Дж. Лайтхилл: пер. с англ. – М.: Наука, 1981. – 345 с.
5. Кравец Е.Б. Мембраны эритроцитов при метаболическом синдроме / Е.Б. Кравец, Е.А. Степоява, Т.Ю. Кошечев [и др.] // Проблемы эндокринологии. – 2009. – № 5. – С. 23–26.
6. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии / В.Л. Миронов. – М.: Техно-Тера 2004. – 144 с.
7. Назаренко Г. И. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований / Г. И. Назаренко. – 2005. – 520 с.
8. Ebner A. Normal and pathological erythrocytes studied by atomic force microscopy / A. Ebner, H. Schillers, P. Hinterdorfer // Methods mol. biol. – 2011. – № 736. – P. 223-241.
9. González-Alonso J. ATP as a mediator of erythrocyte-dependent regulation of skeletal muscle blood flow and oxygen delivery in humans / J. González-Alonso // J Physiol. – 2012. – Vol. 590, № 20. – P. 5001–5013.
10. Krueger M. Deformability and stability of erythrocytes in high-frequency electric fields down to subzero temperatures / M. Krueger, F. Thom // Biophysical J. – 1997. – Vol. 73, № 5. – P. 2653-2666.
11. Peterson M.A. Theoretical and phase contrast microscopic eigenmode analysis of erythrocyte flicker amplitudes / M.A. Peterson, H. Strey, E. Sackmann // Journal de physique II France. – 1992. – Vol. 2, № 5. – P. 1273.
12. Smith J. A. Exercise, training and red blood cell turnover / J. A. Smith // Sports Med. – 1995. – Vol. 19. – P. 9–31.
13. Susan L.R. Apoptosis, Pyroptosis and Necrosis: Mechanistic description of dead and living eukaryotic cells / L.R. Susan, B.T. Cookson // Infect, and Immunity. – 2005. – Vol. 73, № 4. – P. 1907–1916.
14. Müller R.K. History of Doping and Doping Control / R.K. Müller. – Experimental Pharmacology: NewYork, 2009. – 423 p.
15. Szygula Z. Erythrocytic system under the influence of physical exercise and training / Z. Szygula // Sports Med. – 1990. – Vol. 10. – P. 181–197.

### Реферат

ТИПИЧНЫЕ НАРУШЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ МЕМБРАНЫ ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ОБЩЕЙ ВЫНОСЛИВОСТИ ОРГАНИЗМА

Баскевич О.В., Попель С.Л., Газ Ю.Р., Собетов Б.Г.

Ключевые слова: эритроцит, мембрана, физическая нагрузка, выносливость.

В статье рассматриваются общие закономерности и особенности изменений структуры и функции мембраны эритроцитов при физической нагрузке разной интенсивности. На основании данных литературы и собственных исследований делаются выводы о существовании типичных морфологических нарушений мембраны эритроцитов при физических нагрузках разной интенсивности, которые развиваются при тренировке общей выносливости. Предусматривается, что универсальность реагирования циркулирующего эритроцитарного пула на разнообразные физические нагрузки является эволюционно закрепленной реакцией и есть адаптационной перестройкой микрорельефа и микроэлементного состава этих клеток периферической крови.

### Summary

TYPICAL PATTERNS OF STRUCTURAL ABNORMALITIES IN ERYTHROCYTE MEMBRANE UNDER PHYSICAL EXERTION OF VARIOUS INTENSITY IN DEVELOPMENT OF GENERAL BODY ENDURANCE

Baskevich O.V., Popel' S.L., Gaz Yu.R., Sobetov B.G.

Key words: erythrocyte, membrane, physical exercise, endurance.

The article deals with the general regularities and characteristics towards the alteration in the structure and functions of the erythrocyte membrane during physical exertion of varying intensity. Based on the relevant literature and our own research data we can conclude there are typical patterns of structural abnormalities in erythrocyte membranes during physical exertion of varying intensity that develops in the course of overall endurance training. It is assumed that the universality in the response of the circulating erythrocyte pool to a variety of physical activities is considered as evolutionarily determined reaction and as adaptation remodelling of micro relief and microelement composition of peripheral blood cells.