



Морфофункціональні зміни в киснево-транспортній системі студентів при тестуванні кардіореспіраторної витривалості

Мицкан Б.М., Попель С.Л., Випасняк І.П.

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

Анотації. *Мета дослідження* – виявити характер морфофункціональних змін в киснево-транспортній системі студентів з різним рівнем кардіореспіраторної витривалості в умовах виконання 12-ти хвилинного човникового бігу. *Матеріал і методи.* Обстежено 80 студентів (юнаків 17-19 років) для встановлення вентиляційної функції легень, газового складу крові, морфологічного стану еритроцитів, активності перекисів ліпідів, вмісту 2,3-ДФГ і АТФ в еритроцитах. *Результати.* У студентів з нижче середнього і низьким рівнем кардіореспіраторної витривалості після максимального фізичного навантаження спостерігаються зміни показників “потік-об’єм” на фоні підвищення концентрації лактату і зниження кислотно-лужного балансу, що призводить до збільшення вмісту 2,3-ДФГ в еритроцитах периферичної крові. *Висновок.* Встановлено, що у студентів з нижче середнього і низьким рівнем кардіореспіраторної витривалості під час виконання 12-ти хвилинного човникового бігу зростання вентиляції легень відбувається в основному за рахунок збільшення частоти дихання, що призводить до швидкого стомлювання дихальних м’язів і, як наслідок зниження вентиляції легень і газообміну. При цьому падає рівень оксигенації крові, знижується інтенсивність окисного фосфорилування і синтез АТФ, що призводить до появи атипичних форм еритроцитів периферичної крові.

Мыцкан Б.М., Попель С.Л., Випасняк И.П.
Морфофункциональные изменения в кислородно-транспортной системе студентов при тестировании кардиореспираторной выносливости. *Цель исследования* – выявить характер морфофункциональных изменений в кислородно-транспортной системе студентов с разным уровнем кардиореспираторной выносливости в условиях выполнения 12-ти мин челночного бега. *Материал и методы:* обследованы 80 студентов (юноши 17-19 лет) для установления вентиляционной функции лёгких, газового состава крови, морфологического состояния эритроцитов, активности перекисей липидов, содержания 2,3-ДФГ и АТФ в эритроцитах. *Результаты:* У студентов с ниже среднего и низким уровнем кардиореспираторной выносливости после максимальной физической нагрузки наблюдаются изменения показателей “поток-объём” на фоне повышения концентрации лактата и снижение кислотно-щелочного баланса, что приводит к увеличению содержания 2,3-ДФГ в эритроцитах периферической крови. *Вывод.* Установлено, что у студентов с ниже среднего и низким уровнем кардиореспираторной выносливости во время выполнения 12-ти минутного челночного бега рост вентиляции лёгких происходит в основном за счет увеличения частоты дыхания, что приводит к быстрой утомляемости дыхательных мышц и, как следствие снижению вентиляции лёгких и газообмена. При этом падает уровень оксигенации крови, снижается интенсивность окислительного фосфорилирования и синтез АТФ, что приводит к появлению атипичных форм эритроцитов периферической крови.

Mytskan B.M., Popel' S.L., Vypasniak I.P. **Morpho-functional changes in the oxygen-transport system of students at the testing of cardiorespiration stability.** *The aim of the study* was to reveal the character of morpho-functional changes in the oxygen-transport system of students with different levels of cardiorespiratory endurance in conditions of running a 12-minute shuttle run. *Material and methods:* 80 students (boys 17-19 years) were examined to determine the ventilation function of lungs, gas composition of blood, morphological state of erythrocytes, activity of lipid peroxides, content of 2,3-DPG and ATP in erythrocytes. *Results:* in students with lower average and low cardiorespiratory endurance after maximum physical exertion, changes in “flow-volume” parameters are observed against a background of increased lactate concentration and a decrease in acid-base balance, which leads to an increase in the content of 2,3-DPG in peripheral blood erythrocytes. *Conclusion.* It has been established that in students with a lower average and low cardiorespiratory endurance during the 12-minute shuttle run, the growth of lung ventilation is mainly due to an increase in the respiratory rate, which leads to rapid fatigue of the respiratory muscles and, as a consequence, reduced ventilation and gas exchange. At the same time, the level of oxygenation of the blood drops, the intensity of oxidative phosphorylation and the resynthesis of ATP decreases, which leads to the appearance of atypical forms of erythrocytes of peripheral blood.

Ключові слова: студенти, гемоглобін, еритроцити, гіпоксія, газообмін.

студенты, гемоглобин, эритроциты, гипоксия, газообмен.

students, hemoglobin, erythrocytes, hypoxia, gas exchange.



Вступ. Гіпоксія – широко поширене явище, що виникає не тільки при патологічних станах, пов'язаних з порушенням функцій кардіореспіраторної системи і транспортної функції крові, але й у фізіологічних умовах при субмаксимальних і максимальних аеробних фізичних навантаженнях [8, 12]. В процесі виконання такого фізичного навантаження відбувається збільшення кисневого дефіциту, що суттєво знижує інтенсивність окисного фосфорилування і, як результат, відбувається накопичення в м'язовій тканині і в крові солей молочної кислоти та зменшення утворення енергії [6, 10].

Оскільки всі життєві процеси пов'язані з витратами енергії, то зниження рівня АТФ вважається однією з головних ознак гіпоксії [6, 15]. За даними S.L. Popel et al., [14], у людей з малими функціональними резервами кардіореспіраторної системи при фізичному навантаженні інтенсивність окисного фосфорилування знижуються на 15-20%. Це, як і зміна рН внутрішнього середовища в кислую сторону, негативно впливає на морфо-функціональний стан організму [5].

Дослідження Б.П. Лісовського [2], Б.М. Мицкана і співавт., [3], вказують на низькі резервні можливості кардіореспіраторної системи сучасних студентів, що очевидно може бути причиною негативних змін з боку еритроцитів в умовах тривалих аеробних фізичних навантажень [13].

Мета роботи – виявити характер морфо-функціональних змін в киснево-транспортній системі студентів з різним рівнем кардіореспіраторної витривалості в умовах виконання 12-ти хвилинного човникового бігу.

Матеріал і методи.

В дослідженні приймали участь студенти чоловічої статі віком 17-19 років, яким було запропоновано виконати 12-ти хвилинний човниковий біг (тест Єврофіту). Згідно рекомендацій Б.М. Мицкана і співавт., [4] за результатами виконання цього тесту всі студенти були розподілені на групи: перша група (ДГ-1) – 20 студентів з вище середнього рівнем кардіореспіраторної витривалості, друга (ДГ-2) – 20 студентів із середнім рівнем кардіореспіраторної витривалості (20 осіб); третя група (ДГ-3) – з нижче середнього рівнем (20 студентів); четверта група (ДГ-4) – з низьким рівнем кардіореспіраторної витривалості (20 студентів).

Вентиляційна функція легень оцінювалася за даними кривої «потік-об'єм» форсованого видиху з використанням апарату SpiroCom+ (Харків). Газовий склад крові визначали на газоаналізаторі ОПТІ ССА-TS (Ciba Corning, Німеччина).

Препарати еритроцитів готували згідно загальноприйнятих правил [7], які досліджували в скануючому електронному мікроскопі «JEOL-25A-T3225» (Японія), а відсотковий склад різних видів еритроцитів визначали за допомогою комп'ютерної програми «Biovision-4.01» (США).

Вміст 2,3-ДФГ та АТФ в еритроцитах за методом І.Л. Виноградової [1]. Всі лабораторні дослідження проводилися до і після човникового 12-хв бігу у відділенні лабораторної діагностики центральної клінічної лікарні № 1 м. Івано-Франківська згідно з отриманою письмовою згодою на участь в експерименті з урахуванням вимог Гельсінської декларації «Рекомендації для лікарів із біомедичних досліджень на людях» (2008).

Отримані дані обробляли методами непараметричної статистики з використанням показника Манна-Уїтні. Комп'ютерне опрацювання даних проводилося за допомогою статистично пакета Stat.Soft.Inc; Tulsa, OK, USA; Statistica 6. Використовували непараметричні методи дослідження (критерій Уїлкоксона, Манна-Уїтні). Вибіркові параметри наведені далі в таблицях і тексти мають наступні позначення М – вибіркове середнє, m – стандартна помилка середнього. Статистичні зміни вважали вірогідними тоді, коли отриманий рівень вірогідності для тестової статистики був меншим від прийнятого рівня достовірності, тобто $p < 0,05$.

Результати.

Показники зовнішнього дихання у студентів різного рівня кардіореспіраторної витривалості представлені в таблиці 1.

Отримані дані вказують на те, що у студентів ДГ-3 різко знижується $ОФВ_1$ у порівнянні із студентами ДГ-1. При цьому більш чітко визначається недостатня прохідність дистальних відділів бронхіальних шляхів за показниками $МОШ_{25}$; $МОШ_{50}$; $МОШ_{75}$ у порівнянні із студентами ДГ-1. При дослідженні студентів ДГ-4 ці показники стають ще більш низькими (див. табл. 1).



Показники вентиляційної функції легенів у студентів після човникового 12-хв бігу в залежності від рівня кардіореспіраторної витривалості (у % від належної величини, n=80)

Показники	Група студентів за рівнем кардіореспіраторної витривалості				p	p ₁
	ДГ-1	ДГ-2	ДГ-3	ДГ-4		
ЖЄЛ	112,3±1,52	109,4±1,52	95,9±1,25	88,4±1,62	<0,01	<0,01
ФЖЄЛ	107,9±0,5	98,6±0,5	83,5±1,33	87,6±1,78	<0,05	<0,01
ОФВ ₁	94,2±0,25	89,5±0,25	66,3±1,05	62,8±1,44	<0,01	>0,05
ОФВ ₁ /ЖЄЛ Індекс Тіффно	93,9±0,25	83,2±0,25	74,2±1,22	66,7±1,53	>0,001	>0,05
МОШ ₂₅	92,1±3,31	86,2±4,44	39,9±1,15	28,3±1,07	>0,001	<0,01
МОШ ₅₀	85,6±0,72	80,7±0,53	31,5±1,01	29,1±1,23	<0,001	>0,05
МОШ ₇₅	83,9±0,57	80,5±0,61	38,8±1,14	32,7±1,51	<0,001	>0,05

Примітки: 1. Умовні позначення: ЖЄЛ – життєва ємкість легенів; ФЖЄЛ – форсована життєва ємкість легенів; ОФВ₁ – об'єм форсованого видиху за першу секунду маневру форсованого видиху; МОШ₂₅ – миттєва об'ємна швидкість при видиху 25% ФЖЄЛ; МОШ₅₀ – миттєва об'ємна швидкість при видиху 50% ФЖЄЛ; МОШ₇₅ – миттєва об'ємна швидкість при видиху 75% ФЖЄЛ.

2. Рівень значущості відмінностей між ДГ-1 і ДГ-3 (p) і ДГ-1 і ДГ-4 (p₁)

При цьому, якщо у ДГ-1 рівень рСО₂ визначається в межах 46,0 мм. рт. ст., а лужний надлишок (ВЕ) становить в межах – 0,96 ± 0,2 ммоль/л., то у ДГ-3 показник ВЕ підвищується до 1,4 ± 0,02 ммоль/л, в той час як рСО₂ знижується до 38,7 ± 1,6 мм.рт.ст.

Частота дихання у ДГ-4 до тестування реєструвалася на рівні 20-21 дихальних рухів за 1 хв., що у порівнянні з ДГ-1 було на 14,8 ± 0,52% вище (p<0,05), тоді як після тестування ця різниця становила вже 26,2±0,94% (p<0,05).

Одночасно, на фоні зростаючої кількості кислих продуктів в крові відзначається зниження показника АВ (істинних значень гідрокарбонату – НСО₃-act) до 24,5 ± 1,41 ммоль/л (в ДГ-1 – 28,9 ± 1,33 ммоль/л) і стандартних значень НСО₃-std бікарбонатів до 23,8 ± 1,12 ммоль/л (в ДГ-1 – 26,6 ± 1,84 ммоль/л). Також відзначається зрушення рН в кислу сторону до 7,3 ± 0,02 (в ДГ-1 – 7,4 ± 0,02).

Парціальний тиск СО₂ у ДГ-4 знижується до 36,8±1,26 мм. рт. ст. Базова буферна ємність підвищилася до 1,9±0,03 ммоль/л. Істинна НСО₃-act (АВ) знижується до 23,3±1,15 ммоль/л, насичення киснем (SO₂ sat) – до 22,5±1,43% (p<0,05). У периферичній крові студентів ДГ-4 показники рН крові збільшуються в кислу сторону до 7,25 (p<0,05).

В процесі дослідження парціального тиску кисню (рО₂) у венозній крові студентів ДГ-3 ми встановили, що після тестування він в середньому знижувався до 66,2±1,14 мм. рт. ст. (в ДГ-1 від

100,1±3,53 мм. рт. ст. до 92,9±2,75 мм. рт. ст. мм. рт. ст.). У студентів ДГ-4 показники рО₂ різко понижені (до 56,1±1,77 мм. рт. ст.). На фоні різкого падіння рО₂ в периферичній крові студентів з низьким рівнем кардіореспіраторної витривалості спостерігаються зменшення загальної кількості гемоглобіну в крові: в ДГ-3 цей показник складає 14,2±0,76 г/на 100 мл крові, у ДГ-4 – знижується до 13,6±0,54 г/100 мл.

Кількість оксигемоглобіну при такій ситуації визначалася в межах від 98,5±2,43 % до 93,3±2,07 % (p<0,05). Вивчення показників газообміну у студентів ДГ-1 показало, що рО₂ артеріальної капілярної крові (рАО₂) складає 96,4±0,16 мм. рт. ст., тоді як у 7 студентів ДГ-3 відмічена помірна гіпоксемія – 70,8±1,72 мм. рт. ст., у 10 студентів виражена гіпоксемія – 67,6±1,44 мм. рт.ст., і тільки у 3 студентів – сильно виражена (61,2±1,12 мм. рт.ст.).

Значно вища гіпоксемія була відмічена у студентів ДГ-4 – у 16 студентів була зареєстрована важка форма гіпоксемії – 58,4±1,92 мм. рт.ст. і лише у 4 студентів вона склала 65,5±0,23 мм. рт. ст.

На такому фоні з'явилися морфофункціональні зміни еритроцитів периферичної крові. Саме це, на нашу думку, стало причиною помітних змін у морфологічній будові еритроцитів периферичної крові в ДГ-3 і ДГ-4. На відміну від ДГ-1 (94,8±2,42%) у ДГ-3 помітно знизився вміст дискоцитів – до 78,7±1,11%. При цьому вірогідно (p<0,05)



збільшилася кількість ехіноцитів – до $5,9 \pm 0,43\%$ (ДГ-1 – $2,2 \pm 0,84\%$); мішенеподібних – до $9,7 \pm 0,51$ (ДГ-1 – $2,9 \pm 0,75\%$); число дегенеративних еритроцитів збільшилося до $16,7 \pm 1,23\%$ (ДГ-1 – $6,3 \pm 0,49\%$).

У студентів ДГ-4 відбувалися ще більше виражені зрушення морфофункціонального статусу еритроцитів периферичної крові: дискоцитів налічувалося не більше $72,3 \pm 2,01\%$, ехіноцитів – $8,2 \pm 1,18\%$, дегенеративних форм еритроцитів – $19,3 \pm 2,79\%$.

У цих студентів після тестування, внаслідок накопичення в периферичній крові

метаболітів кислої реакції: лактату – $2,37 \pm 0,41$ ммоль/л (в ДГ-1 – $0,92 \pm 0,006$ ммоль/л), зрушення рН у бік кислої реакції до 7,26 відбувалася за рахунок активізації синтезу 2,3-ДФГ. Тому у венозній крові як у студентів ДГ-3, так і у студентів ДГ-4 спостергався підвищений вміст 2,3-ДФГ, який знаходився відповідно на рівні $6,7 \pm 0,53$ і $7,1 \pm 0,59$ мкмоль/л.

Встановлено, що у студентів ДГ-4 вміст АТФ в еритроцитах як венозної, так і артеріальної крові склав лише $0,51 \pm 0,03$ мкмоль/л, що викликає безпосередні патологічні зміни в еритроцитах периферичної крові (рис. 1).

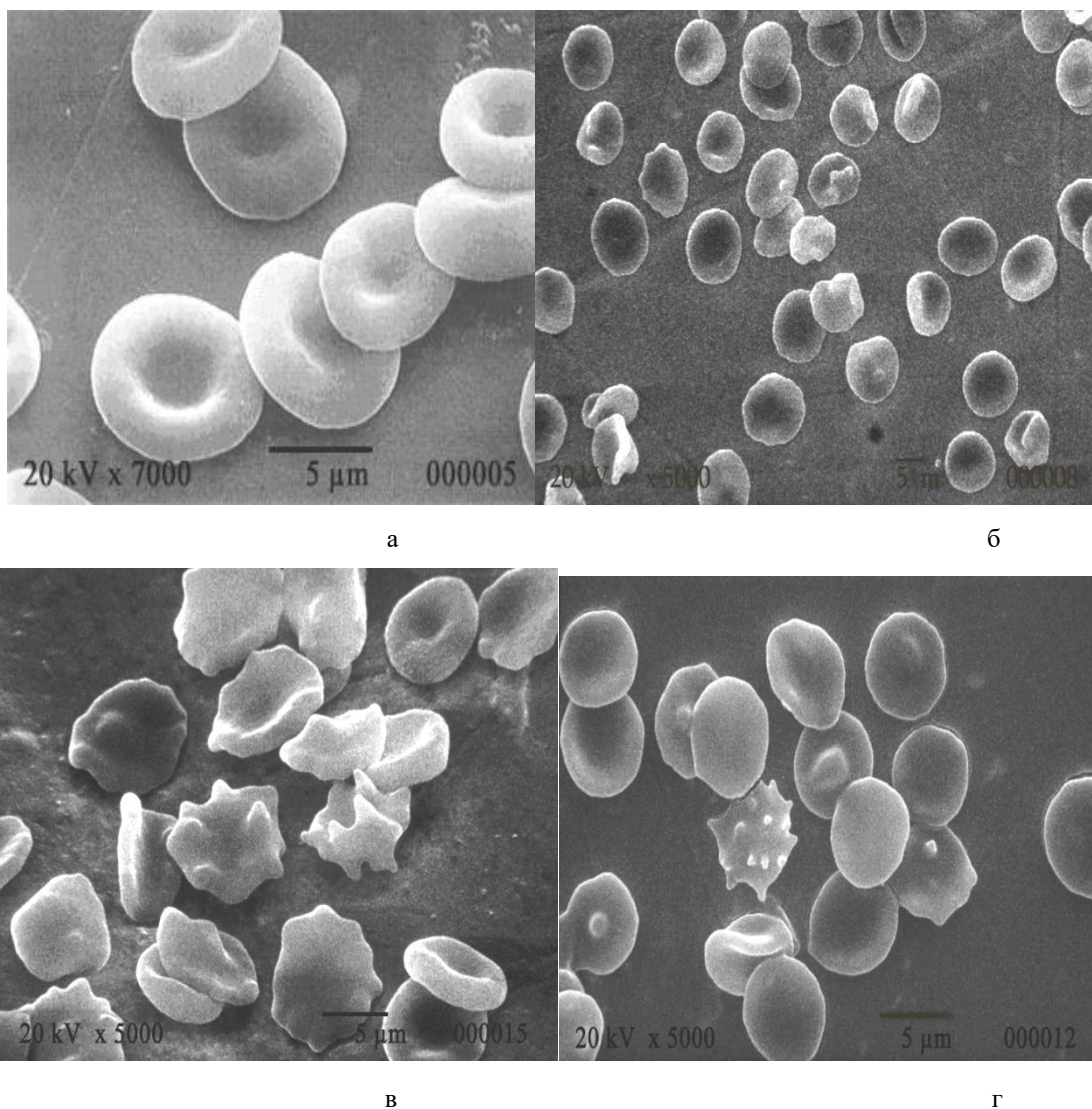


Рис. 1. Конформаційні зміни еритроцитів периферичної крові в залежності від рівня фізичної підготовленості у студентів 17-19 років при виконанні тесту човниковий біг 12-хв біг по 20 м: а – вище середнього, б – середній, в – нижче середнього, г – низький рівень фізичної підготовленості. Метод: скануюча електронна мікроскопія



Дискусія.

Отримані дані вказують на те, що у міру зменшення рівня кардіореспіраторної витривалості у студентів чітко визначається недостатня прохідність дистальних відділів бронхіальних шляхів, що за даними окремих авторів [2], може обумовлювати виражене порушення насиченості еритроцитів киснем. Це в свою чергу створює умови для гіпоксії тканин в організмі [8].

Така ситуація призводить до накопичення в периферичній крові перекисів жирних кислот і порушення оксигенації гемоглобіну, що знаходить своє відображення у формуванні ацидозного стану [10].

Наші дані вказують на підвищення концентрації кислих продуктів метаболізму в артеріальній крові, особливо в ДГ-4, тому у цих студентів відбувається зниження її лужних резервів.

При цьому, після тестування студентів ДГ-4 рівень pCO_2 знижується в середньому на $4,0 \pm 0,12$ %, а показник ВЕ підвищується на $28,5 \pm 1,07$ %, що за даними Б.М. Мицкана і співавт., [3] свідчить про формування компенсованого дихального ацидозу [14].

Цікавими виявились дані про одночасне підвищення частоти дихання у ДГ-4 на $25,0 \pm 1,93$ % ($p < 0,05$), при зростанні кількості кислих продуктів в крові на фоні зниження показників істинного значення гідрокарбонату (HCO_3^- -act) на $8,9 \pm 0,87$ % і стандартних значень HCO_3^- -std бікарбонатів на $6,12 \pm 0,54$ %. Ці показники не випадкові, оскільки зміна кислотно-лужного балансу в крові студентів ДГ-4 призводило до зрушення рН в сторону кислої реакції, що відображалось на виявленні ознак декомпенсованого метаболічного ацидозу. Тому студенти ДГ-4 характеризуються більш вираженими симптомами гіпоксії.

Оскільки, при знижених рівнях кардіореспіраторної витривалості (студенти ДГ-3 і ДГ-4) парціальний тиск CO_2 знижується, а базова буферна ємність підвищується, тоді як істинна HCO_3^- -act (AB) і насичення киснем (SO_2 sat) знижується, то в крові цих студентів відзначається стан вираженого дихального ацидозу. За даними S.L. Popel' et al., [13? 14], така ж сама картина спостерігається і в тканинній рідині, що обумовлено за даними окремих авторів [15], вираженою венозною гіпоксією. На фоні різкого падіння парціального тиску кисню в периферичній крові студентів ДГ-3 і, особливо ДГ-4 ми спостерігали складні взаємостосунки кисню з гемоглобіном еритроцитів периферичної крові, коли у міру наростання гіпоксемії, як в артеріальній, так і у венозній крові (що чітко

прослідковувалося у студентів ДГ-4), кількість знижується до $13,7 \pm 1,4$ г/100 мл, а насичення гемоглобіну киснем у порівнянні з ДГ-1 зменшується на $14,7 \pm 1,01$ %.

Збільшення показника фактичного лужного надлишку на 24,7 %, які були виявлені у студентів ДГ-4 вказує за даними окремих авторів [6], про появу на такому фоні ознак гіпоксичного стану тканинних структур багатьох органів, що виявляється морфо-функціональними змінами еритроцитів периферичної крові, як інтегрального клітинного показника, що свідчить про розвиток мембранопатії [14].

При зниженні основної фракції гемоглобіну HbA на фоні підвищення мінорних компонентів HbA₂ відбуваються конформаційні зміни гемоглобіну, що і приводить до передчасного руйнування еритроцитів, а також зниженню процесів відповідальних за транспорт кисню до тканин [5]. При цьому, якщо у студентів ДГ-4 збільшувався вміст термолабільних фракцій гемоглобіну, його конформаційна здатність повинна різко змінюватися, що сприяло порушенню зв'язку гема з глобіном [12]. Внаслідок цього явища відбувалося окислення атома заліза до утворення метгемоглобіну [10], а також змінювалося насичення крові киснем, оскільки змінювався зв'язок гемоглобіну з 2,3-ДФГ [9].

За даними окремих авторів [6], такі зміни є лімітуючим чинником для синтезу АТФ як основного енергетичного фактора у процесі забезпечення активної життєдіяльності еритроцитів периферичної крові. Це дозволяє пояснити факт встановлений нами у студентів ДГ-4, коли після тестування вміст АТФ в еритроцитах як венозної, так і артеріальної крові склав лише $0,52 \pm 0,06$ мкмоль/л.

Таким чином, опираючись на результати власного дослідження і враховуючи дані наукової літератури [2, 5, 11], ми можемо стверджувати, що виражена гіпоксемія як у венозній, так і в артеріальній крові у студентів ДГ-3 і ДГ-4 після максимального фізичного навантаження, породжує дихальний ацидоз, пригнічує енергетичний обмін в еритроцитах периферичної крові, знижуючи в них синтез АТФ.

За нашими даними [13, 14], лімітуючим чинником в енергетичному забезпеченні еритроцитів периферичної крові є синтез АТФ, оскільки якщо вміст цього макроерга в еритроцитах має низьку різницю між артеріями і венами, то це викликає безпосередні патологічні зміни в еритроцитах периферичної крові.

У багатьох дослідженнях [10, 12, 14] встановлено, що у переважної більшості людей,



незалежно від рівня їх кардіореспіраторної витривалості, істотних змін кількості ретикулоцитів при навіть максимальному фізичному навантаженні не відбувається. Це свідчить, що причиною анемічних станів при неспецифічних фізичних навантаженнях, які пред'являють підвищені вимоги до дихальної системи стають не виражені порушення кровотворення, а безпосередні патологічні зміни еритроцитів периферичної крові.

Нами також встановлено (за даними вищевикладеного матеріалу), що у міру розвитку гіпоксичного стану в артеріальній і венозній крові при човниковому 12-хв бігу, особливо у студентів ДГ-4, посилюються деструктивні зміни в еритроцитах периферичної крові: з'являється велика кількість дегенеративних форм і паралельно з цим в них погіршуються енергетичні процеси, тобто знижується вміст АТФ і збільшується кількість 2,3-ДФГ.

За даними окремих авторів [6, 10] і власним попередніми дослідженнями [13, 14], внаслідок цього створюються різнонаправлені сили, які виникають при деформаціях мембрани, а самі еритроцити можуть мати обширні і глибокі западини, що є морфологічним субстратом для появи різних зворотних і незворотних форм еритроцитів периферичної крові.

Особливу увагу потрібно звернути на той факт, що у міру зменшення етапів пробігання 20-м відрізків на кожному подальшому рівні виконання човникового 12-хв бігу, як в артеріальній (на 40,4%,

$p < 0,05$), так і у венозній (на 41,4%, $p < 0,05$) крові у студентів ДГ-4 розвивається гіпоксія. Подібні, але в меншій мірі, процеси розвиваються у студентів ДГ-3.

Висновки.

1. Студенти з нижче середнього і низьким рівнем фізичної підготовленості при виконанні тестування кардіореспіраторної витривалості характеризуються підвищеною частотою дихання, зниженням вентиляції легенів і газообміну, що приводить до формування гіпоксичного стану в периферичній крові: зниженню рівня pO_2 , pCO_2 і появі ознак метаболічного ацидозу.

2. У студентів з нижче середнього і низьким рівнем фізичної підготовленості гіпоксичний стан приводить до порушення біоенергетичних процесів в еритроцитах периферичної крові, зниженню продукції АТФ і збільшенню вмісту внутрішньоеритроцитарного 2,3-ДФГ.

3. Наростання гіпоксемії в периферичній крові у студентів з нижче середнього і низьким рівнем фізичної підготовленості деструктивно впливає на мембрану еритроцитів, знижуючи відносний вміст дискоцитів і збільшуючи кількість ехіноцитів, мішенеподібних і дегенеративних форм еритроцитів периферичної крові.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють, що не існує ніякого конфлікту інтересів.

Література

1. Виноградова И.Л., Багрентцева С.Ю., Дервиз Г.В. Метод одновременного определения 2,3-ДФГ и АТФ в эритроцитах. *Лабор. дело*. 1980. 7. 424-426.
2. Лісовський Б. Функціональні резерви кардіореспіраторної системи як показник здоров'я людини [Функціональні резерви кардіореспіраторної системи як показник здоров'я людини]. *Вісник Прикарпатського університету Серія: Фізична культура*, 2006;2:31-34.
3. Мицкан Б.М., Султанова І.Д., Лісовський Б.П. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту. Івано-Франківськ, NAP. 2016.
4. Мицкан Б.М., Попель С.Л., Мицкан М.А. Методи дослідження фізичного розвитку, фізичної підготовленості, фізичної працездатності та соматичного здоров'я школярів. Івано-Франківськ, NAP. 2016.

References

1. Vinogradova, I.L., Bagrentseva, S.Yu., Derviz, G.V. (1980). Metod odnoremennogo opredeleniya 2,3-DFG i ATF v eritrotsitah [The method of concurrent determination of 2,3-DFG and ATP in erythrocytes]. *Labor. Delo*, 7, 424-426.
2. LISOVSKIY, B. (2006). Funktsionalni rezervi kardiorespiratornoyi sistemi yak pokaznik zdorov'ya lyudini [Functional reserves of the cardiorespiratory system as an indicator of human health]. *Visnik Prikarpat'skogo univ'ersitetu Seriya: Fizichna kultura*, 2, 31-34.
3. Mitskan, B.M., Sultanova, I.D., LISOVSKIY, B.P. (2016). *Fiziolohichni osnovi fizichnogo viovannya i sportu* [Physiological bases of physical education and sports], Ivano-Frankivsk, NAP; (in Ukrainian)
4. Mitskan, B.M., Popel, S.L., Mitskan, M.A. (2016). *Metodi doslidzhennya fizichnogo rozvitu, fizichnoyi pidgotovlenosti, fizichnoyi pratsездatnosti ta somatichnogo zdorov'ya shkolyariv* [Methods of research of physical development, physical preparedness, physical capacity and physical health of schoolchildren]. Ivano-Frankivsk, NAP, (in Ukrainian).



5. Abdelha M.A.K., Abdelmotta S. Biochemical Changes of Hemoglobin and Osmotic Fragility of Red Blood Cells. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2010. 13(2). 73-77. doi.org/10.3923/pjbs.2010.73.77
6. González-Alonso J. ATP as a mediator of erythrocyte-dependent regulation of skeletal muscle blood flow and oxygen delivery in humans. *Journal of Physiology*. 2012. 590(20). 5001-5013. [doi: 10.1113/jphysiol.2012.235002](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.235002)
7. Hoppert M. *Microscopic techniques in biotechnology*. Weinheim: Wiley-VCH. 2003.
8. Jensen F.B. The dual roles of red blood cells in tissue oxygen delivery: oxygen carriers and regulators of local blood flow. *Journal of Experimental Biology*, 2009. 212(21). 3387-3393. doi.org/10.1242/jeb.023697
9. Karaseva E.I., Metelitz D.I. Stabilization of glucoso-6-phosphate dehydrogenase by its substrate and cofactor in an ultrasonic field. *Journal of Bioorganic Chemistry*, 2006. 32(5). 436-443. doi.org/10.1134/s1068162006050062
10. Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in Physiology*, 2013. 4. 34-36. doi.org/10.3389/fphys.2013.00332
11. Mikhaylova L.A. Central hemodynamics indices in senior pupils with increased educational and motive loading. *Siberian Medical Review*, 2013. 3. 55-58. doi.org/10.20333/25000136-2013-3-55-58
12. Mohanty J.G., Nagababu E., Rifkind J.M. Red blood cell oxidative stress impairs oxygen delivery and induces red blood cell aging. *Frontiers in Physiology*, 2014. 5. 1-5. doi.org/10.3389/fphys.2014.00084
13. Popel' S.L., Mitckan B.M., Lapkovskiy E.I. Mechanism of changing adaptation potential and morpho-biochemical parameters of erythrocytes in students with different mode of day after physical load. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. 8(2). 124-134. [doi: 10.15421/021711](https://doi.org/10.15421/021711)
14. Popel' S.L., Tsap I.G., Yatsiv Y.N. Special aspects of hemodynamic and reaction of erythrocytes in blood to standard physical load of different qualification female volleyball players. *Pedagogics, psychology, medicalbiological problems of physical training and sports*. 2017. 5. 251-259. [doi:10.15561/18189172.2017.0508](https://doi.org/10.15561/18189172.2017.0508)
15. Ratcliffe P.P., Bishop T. Signaling hypoxia by hypoxia-inducible factor protein hydroxylases: a historical overview and future perspectives. *Hypoxia*, 2014. 2. 197-212. doi.org/10.2147/hp.s47598
5. Abdelha, M.A.K., Abdelmotta, S. (2010). Biochemical Changes of Hemoglobin and Osmotic Fragility of Red Blood Cells. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, (2), 73-77. doi.org/10.3923/pjbs.2010.73.77
6. González-Alonso, J. (2012). ATP as a mediator of erythrocyte-dependent regulation of skeletal muscle blood flow and oxygen delivery in humans. *Journal of Physiology*, 590(20), 5001-5013. [doi: 10.1113/jphysiol.2012.235002](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.235002)
7. Hoppert, M. (2003). *Microscopic techniques in biotechnology*. Weinheim: Wiley-VCH.
8. Jensen, F.B. (2009). The dual roles of red blood cells in tissue oxygen delivery: oxygen carriers and regulators of local blood flow. *Journal of Experimental Biology*, (21), 3387-3393. doi.org/10.1242/jeb.023697
9. Karaseva, E.I., Metelitz, D.I. (2006). Stabilization of glucoso-6-phosphate dehydrogenase by its substrate and cofactor in an ultrasonic field. *Journal of Bioorganic Chemistry*, 32(5), 436-443. doi.org/10.1134/s1068162006050062
10. Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in Physiology*, 4, 34-36. doi.org/10.3389/fphys.2013.00332
11. Mikhaylova, L.A. (2013). Central hemodynamics indices in senior pupils with increased educational and motive loading. *Siberian Medical Review*, 3, 55-58. doi.org/10.20333/25000136-2013-3-55-58
12. Mohanty, J.G., Nagababu, E., Rifkind, J.M. (2014). Red blood cell oxidative stress impairs oxygen delivery and induces red blood cell aging. *Frontiers in Physiology*, 5, 1-5. doi.org/10.3389/fphys.2014.00084
13. Popel', S.L., Mitckan, B.M., Lapkovskiy, E.I. (2017). Mechanism of changing adaptation potential and morpho-biochemical parameters of erythrocytes in students with different mode of day after physical load. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(2), 124-134. [doi: 10.15421/021711](https://doi.org/10.15421/021711)
14. Popel', S.L., Tsap, I.G., Yatsiv, Y.N. (2017). Special aspects of hemodynamic and reaction of erythrocytes in blood to standard physical load of different qualification female volleyball players. *Pedagogics, psychology, medicalbiological problems of physical training and sports*, 5, 251-259. [doi:10.15561/18189172.2017.0508](https://doi.org/10.15561/18189172.2017.0508)
15. Ratcliffe, P.P., Bishop, T. (2014). Signaling hypoxia by hypoxia-inducible factor protein hydroxylases: a historical overview and future perspectives. *Hypoxia*, 2, 197-212. doi.org/10.2147/hp.s47598

Информация об авторах

Мицкан Богдан Михайлович

orcid.org/0000-0002-5853-713X

popelsergj@gmail.com,

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна

Попель Сергій Любомирович

orcid.org/0000-0002-2161-535X

popelsergj@gmail.com,

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна

Випасняк Ігор Петрович

orcid.org/0000-0002-4192-1880

popelsergj@gmail.com,

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна

Принята в редакцію 17.11.2017

Information about author

Mytskan B.M.

orcid.org/0000-0002-5853-713X

popelsergj@gmail.com,

SHEE «Vasyl Stefanyk Precarpathian National University», Shevchenko st. 57, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018,

Popel' S.L.

orcid.org/0000-0002-2161-535X

popelsergj@gmail.com,

SHEE «Vasyl Stefanyk Precarpathian National University», Shevchenko st. 57, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018,

Vypasniak I.P.

orcid.org/0000-0002-4192-1880

popelsergj@gmail.com,

SHEE «Vasyl Stefanyk Precarpathian National University», Shevchenko st. 57, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018

Received: 17.11.2017