

ОЦІНКА ЗВ'ЯЗКУ КОЕФІЦІЄНТА ЕКСТРАКЦІЇ КИСНЮ ТА ІНДЕКСУ ЗАГАЛЬНОГО ПЕРИФЕРИЧНОГО ОПОРУ СУДИН ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ШТУЧНОГО КРОВООБІГУ

Ю. І. Дрозденко, В. В. Козяр

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна. E-mail: juli.drozdenco@gmail.com

Виконано аналіз бази даних кардіологічних операцій в умовах штучного кровообігу з метою розрахунку коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин і оцінки їх взаємозв'язку для характеристики насичення киснем тканин оперованих пацієнтів. В основу розрахунку покладені значення кислотно-основного стану і газів артеріальної та венозної крові протягом усієї операції з використанням апарату штучного кровообігу. Визначені: коефіцієнт екстракції кисню та індекс загального периферичного опору судин, а також ступень кореляції цих показників в залежності від температури тіла пацієнта (глибини гіпотермії) та в залежності від етапу проведення операції (охолодження або зігрівання). Вперше встановлені оптимальні показники для побудови моделі масопереносу кисню в системі кровообігу із використанням коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин при різних рівнях гіпотермії та на окремих етапах проведення кардіологічної операції з використанням апарату штучного кровообігу.

Ключові слова: коефіцієнт екстракції кисню, індекс загального периферичного опору судин, масоперенос кисню, штучний кровообіг, гіпотермія.

ОЦЕНКА СВЯЗИ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСТРАКЦИИ КИСЛОРОДА И ИНДЕКСА ОБЩЕГО ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СОСУДОВ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Ю. И. Дрозденко, В. В. Козяр

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина. E-mail: juli.drozdenco@gmail.com

Выполнен анализ базы данных кардиологических операций в условиях искусственного кровообращения (ИК), с целью расчета коэффициента экстракции кислорода и индекса общего периферического сопротивления сосудов и оценки их взаимосвязи для характеристики насыщения кислородом тканей оперированных пациентов. В основу расчета положены значение кислотно-основного состояния и газов артериальной и венозной крови в течение всей операции с использованием аппарата искусственного кровообращения. Определены: коэффициент экстракции кислорода и индекс общего периферического сопротивления сосудов, а также степень корреляции этих показателей в зависимости от температуры тела пациента (глубины гипотермии) и в зависимости от этапа проведения операции (охлаждение или согревание). Впервые установлены оптимальные показатели для построения модели массопереноса кислорода в системе кровообращения с использованием коэффициента экстракции кислорода и индекса общего периферического сопротивления сосудов при различных уровнях гипотермии и на отдельных этапах проведения кардиологической операции с использованием аппарата искусственного кровообращения.

Ключевые слова: коэффициент экстракции кислорода, индекс общего периферического сопротивления сосудов, массоперенос кислорода, искусственное кровообращение, гипотермия.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Для патофізіологічного пояснення взаємозв'язку ускладнень після операції із інтраопераційними порушеннями кровообігу, варто звернутись до параметрів гемодинаміки, гемодилуції, газообміну та метаболізму при штучному кровообігу (ШК). В клінічних ситуаціях система апарат штучного кровообігу (АШК) – організм пацієнта функціонують, як масообмінний прилад, який характеризується площею поверхні і глибиною дифузії та коефіцієнтом передачі кисню [1].

Транспорт кисню є «фокусом», де сходяться інтереси патофізіологів, біохіміків, фармакологів і клініцистів. Однак, актуальність проблеми обумовлена в першу чергу тим, що профілактика і лікування гіпоксії складають найбільш важливу і відповідальну частину щоденної роботи анестезіолога [2].

Дихання та аеробний енергетичний обмін між органами і тканинами – область знань, яка має важливе практичне значення. Фундаментальною концепцією транспорту кисню в тканини є модель А.

Крога [3], в основі якої лежить переміщення кисню за градієнтом парціального тиску у відповідності із законом Фіка. Важливою умовою концепції А. Крога є постійний потік крові, а не пульсуючий, притаманний серцевій фізіології. Концепція А. Крога і досі використовується науковцями [4], але на теперішньому етапі розвитку виникає багато питань з приводу порівняння інших уявлень [5], які стосуються особисто механізмів доставки кисню до мітохондрій – енергетичних станцій клітин.

Математичне комп'ютерне моделювання дихання та оксигенації є важливим методом дослідження механізмів дихання, за допомогою якого вдається продемонструвати те, що недоступно фізичними способами.

На ряду із всіма методами та концепціями, які мають право на існування, перспективним є пошук метода, який би працював при дослідженні у відкритій живій системі, описував споживання кисню тканинами для вивчення дихання та енергетики

тканин, не був прив'язаним до конкретних ситуацій масообміну та ніс практичну інформацію, для лікарів, які регулюють стан пацієнта.

Проблемам мікроциркуляції присвячено багато робіт [4, 6], але мала їх частина стосується взаємозв'язку показників, що відображають стан мікросудинної системи з коефіцієнтом екстракції кисню, а з взаємозв'язок із індексом загального периферичного опору судин взагалі не розглядався.

Особливо важливим контроль транспорту кисню є під час проведення операцій в умовах ШК [7], адже роль легень виконує машина під контролем лікаря, отже, людська помилка або недостатній рівень професіоналізму не виключаються.

Під час проведення операції з використанням АШК варіюють у великих межах температура, показники кислотно-основного стану, насичення киснем крові. Можливі ситуації, коли артерія заблокована і потік крові шунтується. А виявити таке ускладнення важко, тому що внаслідок зменшеного споживання кисню показники газів крові можуть не мати відхилень від норми.

Мета роботи - оцінка зв'язку коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин під час проведення штучного кровообігу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розглянемо процес споживання кисню тканинами.

Транспорт кисню, тобто доставка кисню і споживання його тканинами, - найважливіший показник систем життєзабезпечення. Особливо актуальна ця проблема у хворих, що знаходяться в критичному стані, коли механізми транспорту кисню значно порушені.

У деяких хворих спостерігається підвищена потреба тканин в кисні, що не завжди забезпечується фізіологічними можливостями киснево-транспортної системи.

Кисень міститься в крові в двох формах: пов'язаний з гемоглобіном (Hb) і в вільному (розчиненому) стані. Сумарну кількість газу в обох фракціях називають вмістом кисню в крові.

Таким чином, вміст кисню в крові:

$$cO_2 = (S_aO_2 \times Hb \times 1,34) + (0,0031 \times PaO_2) , \quad (1)$$

де cO_2 – вміст кисню; S_aO_2 – насичення гемоглобіну киснем в артеріальній крові; Hb – рівень гемоглобіну; PaO_2 – парціальний тиск кисню в артеріальній крові.

Вміст кисню (як для венозної c_vO_2 та і для артеріальної крові c_aO_2 , розраховується за формулою 1.

Другий додатак формули 1 є не суттєво великим, тому ним можна при подальших розрахунках ним можна знехтувати. Тобто можна порахувати кількість кисню в крові, знаючи відсоток насиченого киснем гемоглобіну.

Таким чином, прийемо S_aO_2 за константу. Тоді доставка кисню:

$$DO_2 = CB \times SaO_2 \times Hb \times 1.34 . \quad (2)$$

З формули 2 випливає, що з артеріальної крові може доставитись стільки кисню, скільки з об'єму серцевого викиду може віддати насичений киснем гемоглобін. Нормальна величина DO_2 коливається від 520 до 720 мл / (хв×м²).

Споживання кисню (VO_2) є заключним етапом транспорту кисню до тканин і представляє собою кисневе забезпечення тканинного метаболізму.

Порушення співвідношення доставки і споживання кисню (DO_2/VO_2) супроводжується тканиною гіпоксією і веде до поліорганної недостатності.

В нормі в 100 мл артеріальної крові міститься приблизно 20 мл кисню. Якщо хвилиний об'єм серця в нормі в спокої 5 л / хв, а споживання кисню 250 мл / хв, то це означає, що тканини споживають 50 мл кисню з 1 л циркулюючої крові.

Розрахунок спожитого кисню виконується за допомогою рівняння Фіка, яке визначає споживання кисню, як похідне серцевого викиду (CB) і артеріо-венозної різниці ($c_aO_2 - c_vO_2$) вмісту кисню.

Тому, формула спожитого кисню має наступний вигляд:

$$VO_2 = CB \times (c_aO_2 - c_vO_2) \\ VO_2 = CB \times (Hb \times 1,34) \times (S_aO_2 - S_vO_2) . \quad (3)$$

Припустимо, що поверхня капілярного русла S, є величиною зворотною до індексу загального периферичного опору (аналогічно закону Ома).

Таким чином, припущено, що коли змінюється поверхня капілярів, то повинен змінюватись загальний периферичний опір судин.

Із цього випливає наступна формула знаходження площі поверхні працюючих капілярів:

$$S = \frac{K}{I_{ЗПОС}} , \quad (4)$$

де S – площа поверхні працюючих капілярів (через які проходить масообмін киснем); $I_{ЗПОС}$ – індекс загального периферичного опору (далі - $I_{ЗПОС}$); K – коефіцієнт, який описує залежність площі поверхні та $I_{ЗПОС}$.

Використаємо рівняння Фіка :

$$I = K_d \times \Delta C \times \frac{S}{h} , \quad (5)$$

де K_d – коефіцієнт дифузії; (ΔC для речовин, ΔP для газів) – градієнт концентрації кисню; S – площа поверхні мембрани; h- товщина мембрани, через яку проходить дифузія.

Прийемо, що потік I - еквівалентний індексу споживання кисню IVO_2 , ΔC – еквівалент доставки кисню D_aO_2 , а K_d прийемо не за коефіцієнт дифузії, а за коефіцієнт масо переносу кисню.

За умови відомого значення h – товщини мембрани, можна припустити, що це коефіцієнт дифузії, але ми не знаємо коефіцієнт дифузії для всього організму, тому що розглядається біологічна мембрана, яка має змінну характеристику.

Підставивши ці значення в рівняння 5, отримуємо:

$$IVO_2 = K \times \frac{DO_2}{I_{опс}} \quad (6)$$

Підставивши рівняння 2 та 3 в рівняння 6, отримуємо:

$$\frac{K}{I_{опс}} = \frac{(C_aO_2 - C_vO_2) \times CB}{C_aO_2 \times CB} = 1 - \frac{C_vO_2}{C_aO_2} \quad (7)$$

Праву частину рівняння 7 називають коефіцієнтом екстракції. Після перетворень отримуємо:

$$K = \left(1 - \frac{C_vO_2}{C_aO_2}\right) \times \frac{P_{арм} - P_{вен}}{CB} \quad (8)$$

Підставимо рівняння 1 в рівняння 8. Отримаємо:

$$K = \left(1 - \frac{Hb \times S_vO_2 \times 1.34}{Hb \times S_aO_2 \times 1.34}\right) \times \frac{P_{арм} - P_{вен}}{CB} \quad (9)$$

Спрощуючи вираз 9 отримуємо остаточну формулу:

$$K = \left(1 - \frac{S_vO_2}{S_aO_2}\right) \times \frac{P_{арм} - P_{вен}}{CB} \quad (10)$$

У формулі 10 отримуємо коефіцієнт, який є інтегральною характеристикою артеріального руслу.

У підсумку у формулі 10 присутні всі ті характеристики, якими анестезіолог маніпулює під час операції:

- артеріальний та венозний тиски,
- рівень гемоглобіну,
- насичення гемоглобіну киснем в артеріальній та венозній крові,

- серцевий індекс.

Вони всі пов'язані із коефіцієнтом масопереносу, і зводяться до головної функції системи кровообігу - доставки кисню до тканин.

Із формули 10, бачимо що права частина рівняння складається із добутку двох дробів, перший – коефіцієнт екстракції кисню, а другий – обернене значення загального периферичного опору судин. Отже, коефіцієнт екстракції кисню та загальний периферичний опір судин є інтегральними показниками характеристики артеріального руслу та масопереносу кисню.

Робота із базою даних. Клінічний матеріал був взятий із бази даних ДУ «НІССХ ім. М. М. Амосова НАМНУ», який склав 53 кардіологічних операцій з використанням АШК за 119 показниками кислотно-основного стану та газів артеріальної та венозної кров.

База попередньо потребувала фільтрації від артефактів і не повністю обстежених пацієнтів, тому що для розрахунку потрібні дані від початку і до кінця етапу ШК. Далі був проведений розрахунок коефіцієнтів екстракції, індексу загального периферичного опору судин.

За допомогою програми SPSS Statistic було обрано коефіцієнт кореляції між екстракцією кисню та ІЗПОС, який становив 0,041, тобто виявлена дуже слабка пряма кореляція, значима на рівні 0,05.

Для подальшого аналізу було розбито базу даних на температурні групи від 37°C до 26°C із кроком в 1°C та відповідно до них прораховані коефіцієнти кореляції екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти кореляції екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин в залежності від температури (803 показника, $p < 0,05$)

Температура, °C	Коефіцієнт кореляції екстракції кисню та ІЗПОС	Температура, °C	Коефіцієнт кореляції екстракції кисню та ІЗПОС
26	0,279	32	-0,340
27	0,231	33	-0,060
28	-0,691	34	-0,383*
29	-0,294	35	-0,139
30	-0,124	36	-0,306*
31	-0,310	37	0,027

* Кореляція значима на рівні 0,01 (двостороння).

Згідно отриманих даних (табл. 1), зазначена кореляція змінюється від прямої дуже слабкої до помірної оберненої, що свідчить про залежність коефіцієнта екстракції та індексу загального периферичного опору судин від температури тіла пацієнта (рівня гіпотермії).

Далі була висунута гіпотеза, про залежність коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин від етапу операції у виділених раніше температурних діапазонах. Адже

значення температур в діапазоні від 37°C до 26°C зустрічалися і при зігріванні та при охолодженні.

Тому, для обрахунку залежності двох досліджуваних показників за температурою, база даних була розподілена ще в залежності від етапу операції (охолодження та зігрівання).

В табл. 2 наведений розрахунок коефіцієнтів кореляції в залежності від етапу операції та із попередньо розрахованими коефіцієнтами кореляції, для даної температури, без урахувань етапу операції, для порівняння.

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин в залежності від температури та етапу операції (803 показника, $p < 0,05$)

Температура °C	Коефіцієнт кореляції між ІЗПОС та коефіцієнтами екстракції		
	без урахувань етапу операції	в залежності від етапу операції	
26	0,279	охолодження	0,279
		зігрівання	0,431
27	0,231	охолодження	-0,381
		зігрівання	-0,175
28	-0,691	охолодження	-0,900
		зігрівання	-0,024
29	-0,294	охолодження	-0,024
		зігрівання	-0,849*
30	-0,124	охолодження	-0,220
		зігрівання	-0,570
31	-0,310	охолодження	-0,381
		зігрівання	-0,441*
32	-0,340	охолодження	-0,592
		зігрівання	-0,712*
33	-0,060	охолодження	-0,322
		зігрівання	-0,043
34	-0,0383*	охолодження	-0,350
		зігрівання	-0,111
35	-0,139	охолодження	-0,707
		зігрівання	-0,049
36	-0,306*	охолодження	-0,306*
		зігрівання	0,027
37	0,027	охолодження	0,023
		зігрівання	0,089

* Кореляція значима на рівні 0,01 (двостороння).

Отримали підвищену залежність (від оберненої помірної до сильної кореляції) між коефіцієнтом екстракції кисню та індексом загального периферичного опору, розглядаючи групування не тільки по температурі, а й по процесам зігрівання та охолодження.

Найкращий показник кореляції, з табл. 1, при значенні температури 32°C склав «-0,340». Якщо розглядати значення в залежності від етапів проведення операції «охолодження» та «зігрівання» при температурі 32°C, то значення збільшуються до «-0,59» і «-0,71» відповідно, що свідчить, що етап операції має прямий вплив на значення кореляції між коефіцієнтом екстракції та ІЗПОС.

При температурі 28°C, під час охолодження, коефіцієнт кореляції становить максимальне значення у цьому дослідженні «-0,900», що говорить про дуже сильну обернену кореляцію.

З чого випливає, що кореляція екстракції кисню від індексу загального периферичного опору судин залежить не тільки від температури, а й від процесу введення (охолодження) в стан гіпотермії та виведення (зігрівання) з неї.

Що стосується позитивної кореляції показників при низьких температурах, то вона може бути зумовлена такими чинниками: під час гіпотермічного штучного кровообігу створюються умови для накопичення в тканинах недоокислених продуктів [8] незважаючи на зниження споживання кисню. При-

чини - спазм капілярів, мозаїчність кровотоку на рівні мікроциркуляції, локальна гіперперфузія, уповільнення трансмембранного обміну, нерівномірність охолодження і т.п.

Результатом місцевої тканинної гіпоксії, пов'язаної із регіональними порушеннями мікроциркуляції крові або обмінних реакцій в тканинах, є порушення тканинного дихання, підвищення вмісту в крові та тканинах молочної і пировиноградної кислоти. Для окислення їх потрібна підсилена доставка кисню до патологічного вогнища [9].

Отже, на початку зігрівання (при надходженні перших порцій теплої перфузата) недоокислені продукти вимиваються з тканин (клітин і міжклітинного простору) і викликають розкриття чутливих перикапілярних сфінктерів, а атеріоли (головна ланка опору кровотоку) в цей час залишаються спазмованими. Тому площа газообміну збільшується при збереженні високого периферичного судинного опору.

ВИСНОВКИ. Виведена та обґрунтована формула інтегрального показника артеріального русла, який залежить від коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин.

На основі клінічного матеріалу, за допомогою програми SPSS Statistic було обраховано коефіцієнт кореляції (не зважаючи на температуру та етап операції) між екстракцією кисню та індексом загального периферичного опору судин, який становить

0,041 (кореляція значима на рівні 0,05), що свідчить про дуже слабкий прямий зв'язок.

Розрахунки коефіцієнта кореляції між показниками в залежності від температури, виявили варіації коефіцієнта кореляції від прямої дуже слабкої до помірної оберненої, що свідчить про залежність коефіцієнта екстракції кисню та індексу загального периферичного опору судин від температури тіла пацієнта (рівня гіпотермії).

Залежність між коефіцієнтом екстракції кисню та індексом загального периферичного опору значно зростає (кореляція від оберненої помірної до сильної), якщо проводити групування по етапам охолодження і зігрівання.

Так як основною причиною смертності як серед чоловіків, так й серед жінок в Україні є хвороби системи кровообігу, то дослідженню проблем в цьому спектрі має приділятися більше часу [10].

ЛІТЕРАТУРА

1. Курсов С.В., Белецький А.В., Лизогуб К.И. Мониторинг содержания в крови карбоксигемоглобина для оценки тяжести травматического шока и реперфузионных повреждений (аналитический обзор с результатами собственных наблюдений *Медицина неотложных состояний*. 2017. Вып. 7/2017(86). С. 49–53.
2. Черній В. І. Клінічна фізіологія та патофізіологія для анестезіологів: навчальний посібник / під ред. В.І. Чернія, Л.І. Новікової. К.: Здоров'я, 2004. 23 с.
3. Синьков М.А., Филиппев Д.Е., Путинцев А.М. Профилактика реперфузионных-ишемических осложнений при оперативном лечении хронических инфраренальных аневризм аорты. *Сибирский медицинский журнал*. 2007. Вып. 4/2007(22). С. 115–120.
4. Иванов К.П. Современные представления о транспорте кислорода из крови в ткани. *Успехи физиологических наук*. 2001. Вып. 4/2001(32). С. 3–22.
5. Михайлов П.В., Афанасьев В.В., Жуков М.Н. Оценка функционального состояния системы микроциркуляции у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности. *Ярославский педагогический вестник. Медицина и охрана здоровья*. 2011. Вып. 3/2011(4). С. 140–143.
6. Алехин С.А., Назаренко П.М., Лопатін Д.В. Генотип та екстрагенотипні механізми в реалізації ішемічних та реперфузійних пошкоджень в хірургії органів черевної порожнини. *Наукові відомості, «Серія медицина. Фармація»*. 2017. Вып. 22/2017(141). С. 4–10.
7. Ленькин А. И., Захаров В.И., Сметкин А.А. Выбор оптимальной объемной скорости перфузии при хирургической коррекции приобретенных комбинированных пороков сердца. *Анестезиология и реаниматология*. 2013. Вып. 4/2013(58). С. 4–8.
8. Волков Н.М., Воловик В.Е., Кондратенко Ю.Е. Внутриклеточная кислородотерапия и гипербарическая оксигенация при лечении деформированного коленного сустава в амбулаторных условиях. *Вестник Всероссийского научного центра Российской академии наук*. 2006. Вып. 4/2006(50). С. 32–41.
9. Иванов К.П. Современные медицинские проблемы микроциркуляции и гипоксического синдрома. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2014. Вып. 2/2014(69). С. 57–63.
10. Шушпанов Д.Г. Нерівність у стані здоров'я населення України: гендерні особливості. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вып. 3/2016 (98). С. 76–85.

EVALUATION OF THE CORRELATION OF OXYGEN EXTRACTION COEFFICIENT AND THE INDEX OF THE TOTAL PERIPHERAL RESISTANCE IN CONDUCTING ARTIFICIAL BLOOD CIRCULATION

Yu. Drozdenko, V. Kozyar

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
prosp. Peremogy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine. E-mail: juli.drozdenko@gmail.com

Purpose. To evaluate the relationship between oxygen extraction coefficient and index of total peripheral resistance of blood vessels during artificial circulation. **Methodology.** We have derived and justified formula for the integral index of the arterial vessels, which depends on the oxygen extraction coefficient and the index of the total peripheral resistance of the vessels. We have calculated two parameters: the oxygen extraction coefficient and the index of the total peripheral resistance of the vessels. Both of these parameters were divided into groups by temperature and depending on the stage of the operation (cooling or warming) and calculated correlation between theme. **Results.** Using the SPSS Statistic program, total correlation coefficient between oxygen extraction coefficient and total peripheral resistance of the vessels, which is “0.041” (correlation is significant at 0.05) has been calculated. That means very weak direct correlation. By calculating the correlation coefficient between this two parameters depending on the temperature, was obtained an increasing of the correlation coefficient from the very weak to medium inverse correlation. The dependency between the oxygen extraction coefficient and the index of the total peripheral resistance has increased significantly, from the medium inverse to strong inverse correlation, considering the grouping not only in temperature, but also in the processes of warming and cooling. The best correlation for a temperature of 32 ° C is “ -0.340”. If using the same temperature of 32 ° C split it into "cooling" and "warming" process, the values increased to “-0.59” and “-0.71”. At a temperature of 28 ° C during cooling, the correlation coefficient is “-0,900”, which indicates very strong inverse correlation. **Originality.** For the first time, we have carried out the integrated research of the relationship between the oxygen extraction coefficient and the index of total peripheral resistance of blood vessels during artificial circulation. Also we found that the correlation of the oxygen extraction coefficient and the index of the total peripheral resistance of the vessels depends not only on temperature, but also on the process of introduction (cooling) to the state of hypother-

mia and withdrawal (warming up) of it. **Practical value.** We calculated the integral characteristic of the arterial vessels based on the performed calculation. The experimental studies have confirmed the relationship between the oxygen extraction coefficient and the index of total peripheral resistance of blood vessels during artificial circulation which allows to describe the process of breathing in tissues.

Key words: oxygen extraction coefficient, index of total peripheral resistance of blood vessels, mass transfer of oxygen, artificial circulation, hypothermia.

REFERENCES

1. Kursov, S., Biletsky, O., Lizogub, K., Lizogub, N. (2017), "Monitoring of the content of carboxyhemoglobin in blood to assess the severity of traumatic shock reperfusion injury (analytical review with the results of own observations)", *Medicine of emergency states*, vol. 86, issue 7, pp. 49-53.
2. Cherniy, V., Novikova, L. (2004), *Klinichna fiziologiya ta patofiziologiya dlia anesthesiologiv* [Clinical physiology and pathophysiology for anaesthesiologists] Kyiv, Ukraine p.23. [in Ukrainian].
3. Sinkov, M., Filipiev, D., Putintsev, A., Sergeev, V., Shereer, T. (2007), "Prevention of reperfusion-ischemic complications in the surgical treatment of chronic infra-red aneurysms of the aorta", *Siberian Medical Journal*, 4 vol. 22, issue 4, pp. 115-120.
4. Ivanov, K. (2001), Modern ideas about transporting oxygen from blood to tissue, *Ispons of Physical Sciences*. Vol. 32. issue 4, pp. 3-22.
5. Mikhailov, P., Afanasyev, V., Zhukov, M., Osetrov, I., Telnov, O., Muravev, A., Maslennikova, Yu. L. (2011), "Assessment of the functional state of the microcirculation system in people with different levels of aerobic capacity", *Yaroslavl Pedagogical Bulletin. Medicine and health care*, vol.4, issue 3, pp. 140-143.
6. Alekhin, S., Nazarenko, P., Lopatin, D., Alekhina, V., Ivanova, L., Troshin, V. (2012), "Genomic and Extragenomic Mechanisms in the Implementation of Ischemic and Reperfusion Damage in Abdominal Surgery", *Scientific Information, «Medicine Series. Pharmacy»*, vol. 141, issue 3, pp. 4-10.
7. Lyonkin, A., Zakharov, V., Smotkin, A., Lyonkin, P., Kirov, M. (2013), "Choosing the optimal volumetric perfusion rate for surgical correction of acquired combined heart defects", *Anaesthesiology and Reanimatology* 4 vol. 58, issue 4, pp. 4-8.
8. Volkov, N., Volovik, V., Kondratenko, Ju., Fomin, S., Aksenov, A., Romanenko, O. (2006), "Intra-articular oxygen therapy and hyperbaric oxygenation in treatment of deforming ok knee joint in out-patients", *Bulletin of the All-Russian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, vol. 50, issue 4, pp. 32-41.
9. Ivanov, K. (2014), "Modern medical problems of microcirculation and hypoxic syndrome", *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, vol. 69, 1-2 issue, pp. 57-63.
10. Shuspanov, D. (2016), "Inequality in health status of Ukraine's population: gender specification", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National Universty*, iss. 3 (98), pp. 76-85.

Стаття надійшла 27.02.2018.