DOI 10.36074/logos-23.10.2026.021

ЗВ'ЯЗОК БІОМАРКЕРІВ ОБМІНУ ЗАЛІЗА ДОНОРА З ПОКАЗНИКАМИ СТРЕСОВОГО ГЕМОЛІЗУ ЕРИТРОЦИТІВ

Калиниченко Тетяна Олексіївна[1], Яговдік Марина Всеволодівна[2], Білоусов Андрій Миколайович[3], Малигон Олена Іванівна[4], Парубець Лідія Іванівна[5]

1. д-р мед. наук, ст. наук. співроб.,
завідувачка відділу трансфузіології з групою імуногематології
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0002-4905-3256

2. канд. біол. наук, старший науковий співробітник відділу трансфузіології з групою імуногематології
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0003-2642-9609

3. д-р мед. наук, проф., професор кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та дитячої анестезіології
Харківський національний медичний університет, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0003-0770-8274

4. канд. мед. наук, доцент кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та дитячої анестезіології
Харківський національний медичний університет, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0002-9574-9123

5. науковий співробітник відділу трансфузіології з групою імуногематології
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України», УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0003-3418-1316

Вступ. Останнім часом багато досліджень у галузі тансфузіології зосереджені на проблемах збереженості еритроцитовмісних компонентів

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

крові [1]. Неодноразово було продемонстровано значні відмінності у ступенях їхнього пошкодження внаслідок зберігання [2]. У цьому зв'язку акцентується увага на вивченні взаємозалежності показників життєздатності еритроцитів та параметрів донора, в тому числі і біохімічних маркерів, що характеризують основні обмінні процеси [3]. Очікується, що дослідження та виявлення факторів, які дозволять заздалегідь прогнозувати розвиток відносно вищих рівнів гемолізу під час зберігання пакованих еритроцитів, сприятиме покращенню управління запасами крові та посилить персоналізацію трансфузійної терапії [4]. Серед таких факторів варті уваги параметри обміну заліза у донора, що теоретично через ряд механізмів можуть впливати на характеристики крихкості його еритроцитів.

Мета. Проаналізувати вплив основних біохімічних маркерів обміну заліза у регулярних донорів крові на стабільність еритроцитарної мембрани в умовах осмотичного і хімічного гемолізу.

Матеріали і методи. У регулярних (кадрових) донорів крові вивчали біохімічні маркери обміну заліза, а саме: залізо сироватки (ЗС, мкмоль/л), загальну залізозв'язуючу здатність сироватки (ЗЗЗС, мкмоль/л), латентну залізозв'язуючу здатність сироватки (ЛЗЗС, мкмоль/л) [5], трансферин (г/л), коефіцієнт насичення трансферину (КНТ, %), феритин (мкг/л) [6]. Крихкість мембран еритроцитів цієї групи донорів при стресовому осмотичному та хімічному гемолізі досліджено за методами сечовинного гемолізу (ПЕМ), осмотичної (ОРЕ) та перекисної резистентності (ПРЕ) [7].

Дослідження здійснено відповідно до плану науково-дослідних робіт Національної академії наук України та пройшло експертизу комітету з питань медичної етики ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини, гематології та онкології НАМН України». Зразки цільної крові були зібрані в пробірки з ЕДТА, або з активатором згортання, згідно з вимогами використаних методик, та протестовані протягом 24 годин з моменту збору.

Статистичну обробку та аналіз даних здійснено за допомогою пакета прикладних статистичних програм Statistica 10.0 (StatSoft, USA).

Результати та обговорення. Для оцінки функціонального стану еритроцитарних мембран, їхньої крихкості та здатності протистояти фізико-хімічним навантаженням в дослідженні були використані методи штучного (лабораторно викликаного) гемолізу, що свідчать про рівні стійкості та життєздатності клітин і дозволяють виявити приховані дефекти клітинної стінки [8]. Останні часто корелюють із метаболічними порушеннями.

Здійснений ранговий кореляційний аналіз за непараметричним методом Спірмана (r_s) виявив цілий ряд взаємозв'язків досліджених маркерів обміну заліза з показниками стресового осмотичного та хімічного гемолізу (табл. 1, 2).

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

Таблиця 1

Кореляційна матриця взаємозв'язків показників обміну заліза донора (n=60) з показниками осмотичного гемолізу еритроцитів при різних концентраціях NaCl при оцінці за методом непараметричного рангового кореляційного аналізу Спірмана (r_s)

Змінна	Коефіцієнти кореляції (r_s) змінних з показниками гемолізу, отриманими при різних концентраціях NaCl (%)				
	0,3%	0,4%	0,5%	0,55%	0,65%
ЗС	0,182775	0,334056*	0,010367	0,118410	0,070005
ЗЗЗС	0,015705	-0,057212	-0,313887*	-0,078773	-0,040378
ЛЗЗС	-0,139474	-0,280167*	-0,221118	-0,124093	-0,087005
КНТ	0,169817	0,322504*	0,103926	0,130479	0,094400
Трансферин	0,018490	-0,062723	-0,321774*	-0,074089	-0,040918

*Примітка. ЗС — залізо сироватки, ЗЗЗС — загальна залізозв'язуюча здатність сироватки, ЛЗЗС — латентна залізозв'язуюча здатність сироватки, КНТ — коефіцієнт насичення трансферину; *— статистично значуще значення r_s ($p<0,05$).*
[авторська розробка]

Як виявило дослідження, показники обміну заліза мають кореляційні зв'язки різного ступеня та направленості з показниками стресового гемолізу (табл. 1, 2). Це має місце, оскільки залізо бере участь не лише в синтезі гемоглобіну, а й у регуляції окисно-відновних процесів у клітині.

Таблиця 2

Кореляційна матриця взаємозв'язків показників обміну заліза донора (n=60) з показниками сечовинного гемолізу еритроцитів при оцінці за методом непараметричного рангового кореляційного аналізу Спірмана (r_s)

Змінна	Коефіцієнти кореляції (r_s) змінних з показниками гемолізу, отриманими при різних концентраціях NaCl (%)				
	1ПЕМ	2ПЕМ	3ПЕМ	4ПЕМ	5ПЕМ
ЗС	0,042467	0,089408	0,243740	0,083684	0,024221
ЗЗЗС	-0,234769	-0,194431	-0,111918	0,183083	0,014494
ЛЗЗС	-0,100432	-0,181578	-0,246606	0,074019	0,055594
КНТ	0,001945	0,121888	0,265424*	0,068198	-0,000431
Трансферин	-0,240075	-0,203226	-0,119286	0,183621	0,019190

*Примітка. ЗС — залізо сироватки, ЗЗЗС — загальна залізозв'язуюча здатність сироватки, ЛЗЗС — латентна залізозв'язуюча здатність сироватки, КНТ — коефіцієнт насичення трансферину; *— статистично значуще значення r_s ($p<0,05$); 1ПЕМ, 2ПЕМ, 3ПЕМ, 4ПЕМ, 5ПЕМ — проникність еритроцитарних мембран (дані для першої – п'ятої точок кривої сечовинного гемолізу, де співвідношення розчинів сечовини (1,8%) до хлориду натрію (0,9%) дорівнює відповідно 45:55, 50:50, 55:45, 60:40, 65:35).*
[авторська розробка]

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

Отримані дані свідчать (табл. 1) про прямі кореляційні зв'язки середньої сили між вмістом заліза в сироватці крові донора (особливо у разі його надлишку) та збільшенням готовності до гемолізу еритроцитів. При цьому коефіцієнт насиченості трансферину та вміст трансферину очікувано мають від'ємні зв'язки з рівнями гемолізу, викликаного осмотичним впливом розчинів хлориду натрію. Знайдені кореляції мають цілком логічне пояснення, оскільки надлишок незв'язаного заліза запускає реакцію Фентона. Це призводить до утворення високоактивних гідроксильних радикалів, запуску процесів пероксидації ліпідів у мембранах еритроцитів [9]. Внаслідок окиснення ненасичених жирних кислот, які входять до складу фосфоліпідного бішару, порушується плинність мембрани, змінюється її проникність для іонів натрію, калію, кальцію і прискорюється передчасний гемоліз.

Окрім того, за даними цього дослідження вміст феритину в плазмі донора має зворотний кореляційний зв'язок середньої сили з рівнем хімічного перекисного гемолізу його еритроцитів (r_s=-0,353977, p<0,05). Виявлені взаємозв'язки підтверджуються механізмами зміни фізіологічних характеристик еритроцитів при залізодефіцитних станах, які, на жаль, доволі часто виникають у регулярних донорів крові та є пов'язаними з втратою значної частини заліза у складі гемоглобіну під час кожної донації [10]. У донора формуються мікроцитарні, гіпохромні еритроцити зі зміненою геометричною формою та зниженою пластичністю [11]. Ці особливості підвищують готовність клітин до гемолізу під час зберігання, крихкість у кровотоку, внаслідок чого знижують посттрансфузійну ефективність.

Висновки: Ранговий кореляційний аналіз за методом Спірмана (r_s) виявив цілий ряд взаємозв'язків маркерів обміну заліза в організмі донора крові з рівнями крихкості еритроцитів, дослідженими в умовах штучного осмотичного та хімічного гемолізу. Різний ступінь і направленість цих кореляцій пояснюється участю заліза у виконанні критично важливих біологічних функцій, від участі в синтезі гемоглобіну до регуляції окисно-відновних процесів у клітині. Отже, результатами підтверджено, що мінливість запасу резистентності та життєздатності еритроцитів залежить від донорських факторів, зокрема від особливостей обміну заліза.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

[1] Oh, J. Y., Stapley, R., Harper, V., Marques, M. B., & Patel, R. P. (2015). Predicting storage-dependent damage to red blood cells using nitrite oxidation kinetics, peroxiredoxin-2 oxidation, and hemoglobin and free heme measurements. *Transfusion*, *55*(12), 2967–2978. https://doi.org/10.1111/trf.13248

[2] D'Alessandro, A., Reisz, J. A., & Culp-Hill, R. (2018). Metabolic effect of alkaline additives and guanosine/gluconate in storage solutions for red blood cells. *Transfusion*, *58*(8), 1992–2002. https://doi.org/10.1111/trf.14620

All rights reserved | CC BY-SA 4.0

[3] Anastasiadi, A. T., Stamoulis, K., Papageorgiou, E. G., Lelli, V., Rinalducci, S., Papassideri, I. S., Kriebardis, A. G., Antonelou, M. H., & Tzounakas, V. L. (2023). The time-course linkage between hemolysis, redox, and metabolic parameters during red blood cell storage with or without uric acid and ascorbic acid supplementation. *Frontiers in Aging*, *4*, Article 1161565. https://doi.org/10.3389/fragi.2023.1161565

[4] Tzounakas, V. L., Anastasiadi, A. T., Valsami, S. I., Stamoulis, K. E., Papageorgiou, E. G., Politou, M., Papassideri, I. S., Kriebardis, A. G., & Antonelou, M. H. (2021). Osmotic hemolysis is a donor-specific feature of red blood cells under various storage conditions and genetic backgrounds. *Transfusion*, *61*(9), 2538–2544. https://doi.org/10.1111/trf.16558

[5] ТОВ НВП «Філіст-Діагностика» (2012). *Інструкція до набору реактивів для визначення заліза та загальної залізозв'язуючої здатності (3333) сироватки крові* (ТУ У 24.4-24607793-019-2003, REF № НР012.01). Державна служба України з лікарських засобів.

[6] DiaMetra. (2024). *Instructions for reagents set for the direct immunoenzymatic determination of ferritin in human serum or plasma* (DCM039-12 Ed. 01/2024). Вилучено з: https://diametra.com/product/ferritin/

[7] Emilse, L. A. M., Cecilia, H., María, T. M., Eugenia, M. M., Alicia, I. B., & Lazarte, S. S. (2018). Cryohemolysis, erythrocyte osmotic fragility, and supplementary hematimetric indices in the diagnosis of hereditary spherocytosis. *Blood Research*, *53*(1), 10–17. https://doi.org/10.5045/br.2018.53.1.10

[8] Ma, L., Huang, Y., Chen, T., Yang, F., Wang, X., Xiong, F., Tang, J., Zhang, S., & Gao, Y. (2026). Clinical evaluation and comparative study of a fully automated erythrocyte osmotic fragility analysis system based on scatter turbidimetry. *Scientific Reports*, *16*(1), Article 4787. https://doi.org/10.1038/s41598-026-35163-8

[9] Pompella, A., Emdin, M., Passino, C., & Paolicchi, A. (2004). The redox activity of gamma-glutamyltransferase: Physiological and pathological significance. *Environmental Health and Preventive Medicine*, *9*(6), 253–259. https://doi.org/10.1055/s-00-10705

[10] Lobier, M., Castrén, J., Niittymäki, P., Palokangas, E., Partanen, J., & Arvas, M. (2019). The effect of donation activity dwarfs the effect of lifestyle, diet and targeted iron supplementation on blood donor iron stores. *PLOS ONE*, *14*(8), e0220862. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220862

[11] Калиниченко, Т. О., Білоусов, А. М., Малигон, О. І., Яговдік, М. В., & Парубець, Л. І. (2025). Ключові показники обміну заліза у регулярних донорів крові. *Гематологія і переливання крові*, *43*, 35–48. https://doi.org/10.33741/3083-6883.43.03

All rights reserved | CC BY-SA 4.0