

## ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ВУГЛЕВОДНОГО ОБМІНУ ЕРИТРОЦИТІВ ЩУРІВ ЗА УМОВ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГОНАПОЮ

**Вступ.** В останні роки у всьому світі та Україні спостерігають збільшення споживання енергонапоїв серед підлітків. Значне споживання енергонапоїв може призвести до надмірного споживання цукру, що, у свою чергу, викликає довготривалі проблеми зі здоров'ям.

**Мета дослідження** – вивчити зміни показників вуглеводного обміну еритроцитів щурів за умов споживання енергонапою.

**Методи дослідження.** Дослідження було виконано на щурах-самцях лінії Вістар, які перебували у віварії за відповідних умов освітлення, температурного режиму, вологості й стандартного раціону. Забір матеріалу проведено при використанні наркозу (внутрішньом'язово тіопентал-натрію, 60 мг/кг). Піддослідних тварин поділили на 5 груп: 1-ша (контрольна) – щури отримували питну воду; 2-га – тварини одержували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 1-шу добу після завершення споживання енергонапою; 3-тя – щури отримували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 10-ту добу після завершення експерименту; 4-та – тварини одержували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 20-ту добу після завершення експерименту; 5-та – щури отримували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 30-ту добу після завершення експерименту. Концентрацію глюкози визначали глюкооксидазним методом, пірвіноградної кислоти – за кількістю похідних 2,4-динітрофенілгідразону, молочної кислоти – за реакцією з параоксидифенілом. Активність ензиму лактатдегідрогенази визначали ензиматичним методом. Рівень аденозинтрифосфату в гемолізаті еритроцитів досліджували за методикою Олейнікової.

**Результати й обговорення.** На тлі споживання енергонапою спостерігали підвищення рівня метаболітів вуглеводного обміну в еритроцитах тварин дослідних груп (глюкози, пірвату, лактату, аденозинтрифосфату) й активності лактатдегідрогенази.

**Висновок.** Отримані результати вказують на порушення вуглеводного обміну в еритроцитах тварин, які споживали енергонапій, що може призвести до порушення як гомеостазу червонокривців, так і організму в цілому.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** лабораторні щури; енергонапій; еритроцити; глюкоза; пірват; лактат; лактатдегідрогеназа; аденозинтрифосфат.

ВСТУП. Енергетичні напої активно пропагуються серед підлітків і молоді як засоби для отримання енергії та підвищення продуктивності фізичної і розумової праці [1]. Вони належать до безалкогольних і зазвичай характеризуються високим вмістом кофеїну та вуглеводів. Більшість напоїв містить близько 80 мг кофеїну на порцію, що дорівнює майже восьми чашкам кави, тоді як деякі можуть навіть містити приблизно 300 мг кофеїну на порцію [2]. Кофеїн є потужним діуретиком, що може спричинити зневоднення організму шляхом підвищеної втрати рідини у вигляді сечі в людей, які не п'ють достатньо рідини для компенсації [3]. При надмірному його

© Х. Ю. Парцей, 2022.

вживанні спостерігають прискорене серцебиття, підвищення артеріального тиску, нудоту, блювання, судоми, психоз, які небезпечні для життя і можуть призвести до смерті [4].

Згідно з результатами дослідження, представленими на Всесвітньому діабетичному конгресі [5], у здорових підлітків, які споживали невелику кількість енергонапою з кофеїном, спостерігали порушення виведення глюкози та підвищення рівня інсуліну на 20–30 % у відповідь на навантаження глюкозою. Оскільки кофеїн зберігається у крові впродовж 4–6 год після споживання, постійна інсулінова резистентність, пов'язана з регулярним споживанням кофеїновмісних енергонапоїв підлітками, може сприяти

ожирінню та метаболічному синдрому через постійне втручання в метаболізм глюкози [5].

Окрім кофеїну, до складу енергетиків входять також таурин, гуарана, L-карнітин і глюкоролактон, женьшень.

Таурин виконує цитопротекторну дію, підвищене його споживання з їжею пов'язане зі зменшенням ризику гіпертензії та гіперхолестеринемії [6]. Додатки таурину також впливають на зниження індексу маси тіла та рівня маркерів запалення в жінок з ожирінням [7]. Він може призводити до вивільнення кальцію, тому має потенційний вплив на мозок, серце і скелетні м'язи [8].

У комбінації кофеїн з таурином посилює серцево-судинні ефекти, що викликає занепокоєння, оскільки кофеїн сам по собі призводить до підвищення артеріального тиску і частоти серцевих скорочень. При тривалому споживанні енергонапоїв виникають численні шкідливі наслідки, включаючи зміни поведінки [9].

Зважаючи на зростання інтересу до енергонапоїв, важливим є вивчення реакції-відповіді на потрапляння таких речовин в організм. У такому аспекті викликають інтерес дослідження метаболічних процесів, які перебігають в еритроцитах, оскільки саме ці клітини крові першими реагують на різноманітні впливи. Структурно-функціональні зміни мембран еритроцитів при метаболічних порушеннях призводять до порушення регуляції катіонно-транспортної функції, що визначає еритроцитоз червоних кров'яних тілець [10]. Проте є мало відомостей стосовно впливу енергонапоїв на метаболізм в еритроцитах, зокрема на вуглеводний обмін.

Мета дослідження – вивчити зміни показників вуглеводного обміну еритроцитів щурів за умов споживання енергонапою.

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Дослідження було виконано на щурах-самцях лінії Вістар, які перебували у віварії за відповідних умов освітлення, температурного режиму, вологості й стандартного раціону. Всі тварини мали вільний доступ до комбікорму (з розрахунку добової потреби) та води (з розрахунку 20 мл води на одного щура на добу). Кількість спожитого стандартного комбікорму для лабораторних тварин визначали за його залишком у годівниці. Ріст і розвиток щурів контролювали, зважаючи їх на початку та наприкінці дослідів. Забір матеріалу проведено при використанні наркозу (внутрішньом'язово тіопентал-натрію, 60 мг/кг). Піддослідних тварин поділили на 5 груп: 1-ша (контрольна) – щури отримували питну воду; 2-га – тварини одержували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 1-шу добу після завершення спо-

живання енергонапою; 3-тя – щури отримували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 10-ту добу після завершення експерименту; 4-та – тварини одержували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 20-ту добу після завершення експерименту; 5-та – щури отримували енергонапій упродовж місяця, забір матеріалу проведено на 30-ту добу після завершення експерименту.

Концентрацію глюкози визначали глюкозоксидазним методом [11], піровиноградної кислоти – за кількістю похідних 2,4-динітрофенілгідразону, молочної кислоти – за реакцією з параоксидифенілом. Активність ензиму лактатдегідрогенази визначали ензиматичним методом. Рівень аденозинтрифосфату в гемолізаті еритроцитів досліджували за методикою Олейнікової [12].

Усі досліді на щурах проводили з дотриманням вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986), Закону України № 3447-IV "Про захист тварин від жорстокого поводження", прийнятого парламентом 21 лютого 2006 р. у новій редакції, відповідно до статті 26 Правил поводження з тваринами, що використовуються в наукових експериментах, тестуванні, навчальному процесі, виробництві біологічних препаратів, а також рекомендації Першого національного конгресу України з біоетики (Київ, Україна, 2001). Одержані цифрові дані статистично обраховували з використанням програми STATISTICA 7, враховуючи t-критерій Стьюдента.

**РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ.** У результаті проведених досліджень встановлено підвищення рівня глюкози у 2-й, 3-й і 4-й групах в 1,8 ( $p < 0,001$ ), 1,5 ( $p < 0,001$ ) та 1,5 ( $p < 0,001$ ) раза відповідно порівняно з 1-ю (контрольною) групою тварин (рис. 1). Високий рівень глюкози може призводити до функціональних та структурних змін в еритроцитах, зокрема, неферментативного глікозилювання білкових компонентів гемоглобіну, ензимів.

Порівняльний аналіз показав, що після відміни енергетика рівень глюкози поступово знижувався на 10-ту, 20-ту і 30-ту доби в 1,2, 1,2 та 1,8 раза ( $p < 0,001$ ) порівняно з 2-ю дослідною групою тварин (див. рис. 1).

Дослідження показників обміну глюкози за умов споживання енергетика дозволили встановити зростання рівня пірувату в гемолізаті еритроцитів тварин усіх дослідних груп, найбільш виражене на 1-шу добу після завершення його приймання – в 3,9 раза порівняно з контрольною групою (рис. 2). У наступні періоди

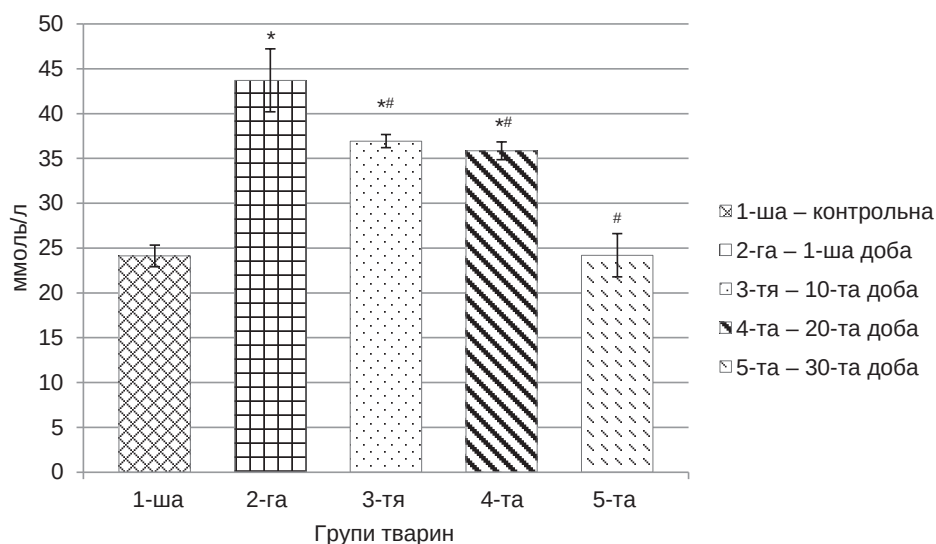


Рис. 1. Концентрація глюкози в гемолізаті еритроцитів щурів під впливом енергонапою ( $M \pm m$ ,  $n=7$ ).  
Примітка. \* – достовірність порівняно з показниками 1-ї (контрольної) групи тварин ( $p < 0,001$ ); # – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,001$ ).

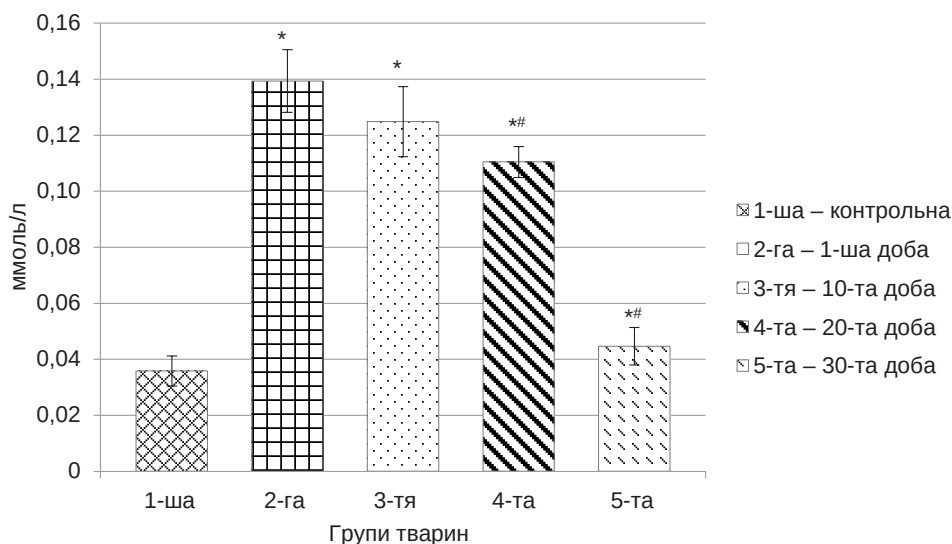


Рис. 2. Вплив енергонапою на рівень пірувату в гемолізаті еритроцитів щурів ( $M \pm m$ ,  $n=7$ ).  
Примітка. \* – достовірність порівняно з показниками 1-ї (контрольної) групи тварин ( $p < 0,001$ ); # – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,001$ ).

спостереження відзначали зниження рівня пірувату в 4-й і 5-й групах в 1,3 ( $p < 0,001$ ) та 2,9 ( $p < 0,001$ ) рази порівняно з 2-ю дослідною групою тварин (див. рис. 2). При цьому варто зауважити, що навіть через 30 діб цей показник залишався вищим порівняно з контролем. Збільшення вмісту пірувату найчастіше свідчить про порушення рівноваги між системами забезпечення киснем і потребою в ньому. Концентрація пірувату може зростати в разі декомпенсації гіпоксичних станів.

Вивчення динаміки змін іншого метаболіту – лактату за умов споживання енергетика засвідчило збільшення цього показника у 2-й, 3-й, 4-й

і 5-й дослідних групах в 1,9 ( $p < 0,001$ ), 1,6 ( $p < 0,001$ ), 1,2 ( $p < 0,001$ ) та 1,1 ( $p < 0,001$ ) рази відповідно порівняно з контрольною групою тварин (рис. 3).

У наступні періоди експерименту спостерігали зниження рівня лактату в 3-й, 4-й і 5-й групах в 1,2 ( $p < 0,001$ ), 1,5 ( $p < 0,001$ ) та 1,8 ( $p < 0,001$ ) рази відповідно порівняно з 2-ю дослідною групою тварин (див. рис. 3).

Рівень лактату впливає на концентрацію гліколітичних метаболітів, таких, як фруктозо-6-фосфат, фруктозо-1,6-дифосфат, фосфоенолпіруват. Він регулює активність алостеричного ензиму гліколізу – фосфофруктокінази.

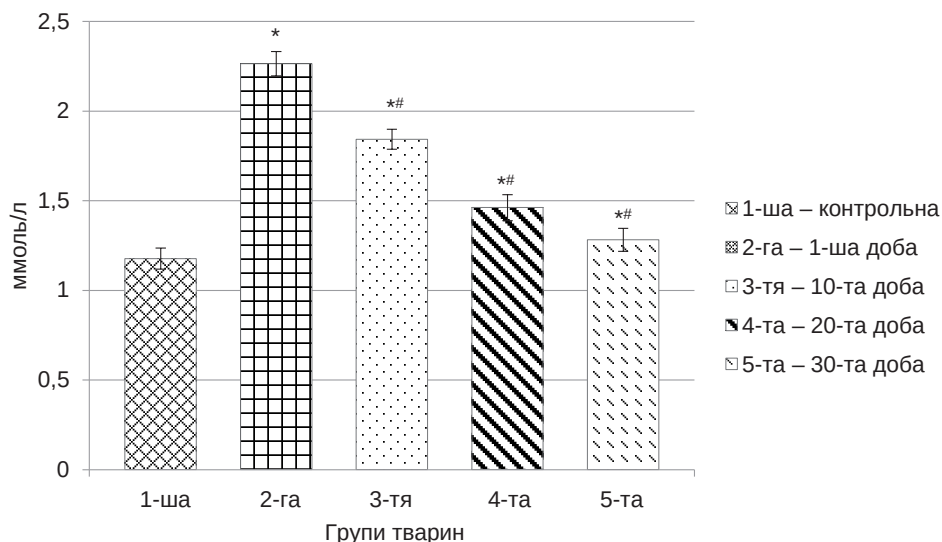


Рис. 3. Вплив енергонапою на рівень лактату в гемолізаті еритроцитів щурів ( $M \pm m$ ,  $n=7$ ).  
Примітка. \* – достовірність порівняно з показниками 1-ї (контрольної) групи тварин ( $p < 0,001$ ); # – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,001$ ).

Відомо, що її інгібування відбувається шляхом дисоціації субодиниць при рН 7,4.

Для характеристики енергетичного обміну важливим є дослідження активності лактатдегідрогенази. Встановлено, що під дією енергонапою активність лактатдегідрогенази підвищувалась у 2-й, 3-й, 4-й і 5-й дослідних групах у 2,6 ( $p < 0,001$ ), 1,8 ( $p < 0,001$ ), 1,4 ( $p < 0,001$ ) та 1,3 ( $p < 0,001$ ) раза відповідно порівняно з контрольною групою тварин (рис. 4).

Після завершення споживання енергетика активність цього ензиму знижувалась у 3-й, 4-й і 5-й групах в 1,4 ( $p < 0,001$ ), 1,9 ( $p < 0,001$ ) та 2,1 ( $p < 0,001$ ) раза відповідно порівняно з 2-ю до-

слідною групою тварин (див. рис. 4). Активність лактатдегідрогенази в еритроцитах може змінюватися внаслідок індуктивного синтезу як пристосувальної реакції мобілізації енергетичних ресурсів для максимального утворення аденозинтрифосфату.

Дослідження кінцевого метаболіту енергетичного обміну показало, що споживання енергонапою призводило до підвищення рівня аденозинтрифосфату в гемолізаті еритроцитів у 2-й, 3-й, 4-й і 5-й дослідних групах в 1,4 ( $p < 0,001$ ), 1,3 ( $p < 0,001$ ), 1,3 ( $p < 0,001$ ) та 1,1 ( $p < 0,001$ ) раза відповідно порівняно з контрольною групою тварин (рис. 5).

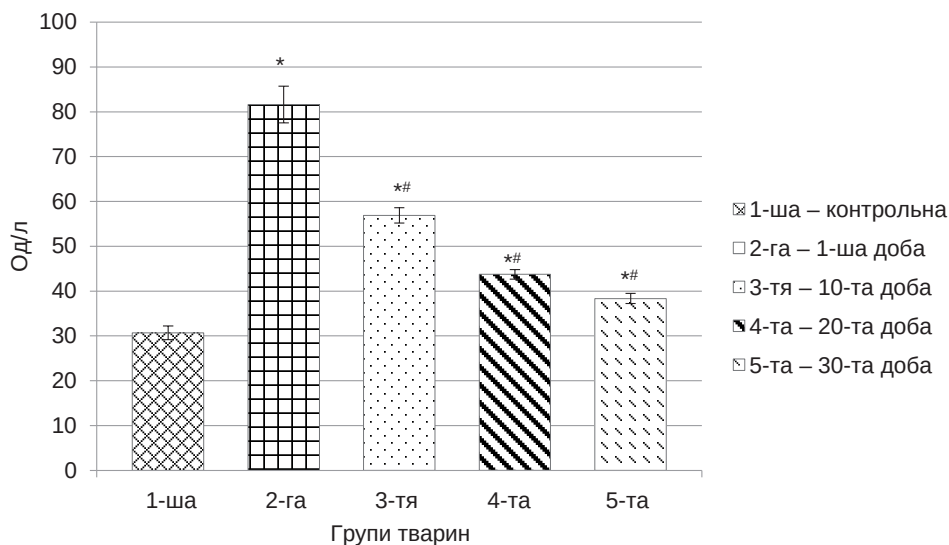


Рис. 4. Активність лактатдегідрогенази в гемолізаті еритроцитів щурів під впливом енергонапою ( $M \pm m$ ,  $n=7$ ).  
Примітка. \* – достовірність порівняно з показниками 1-ї (контрольної) групи тварин ( $p < 0,001$ ); # – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,001$ ).

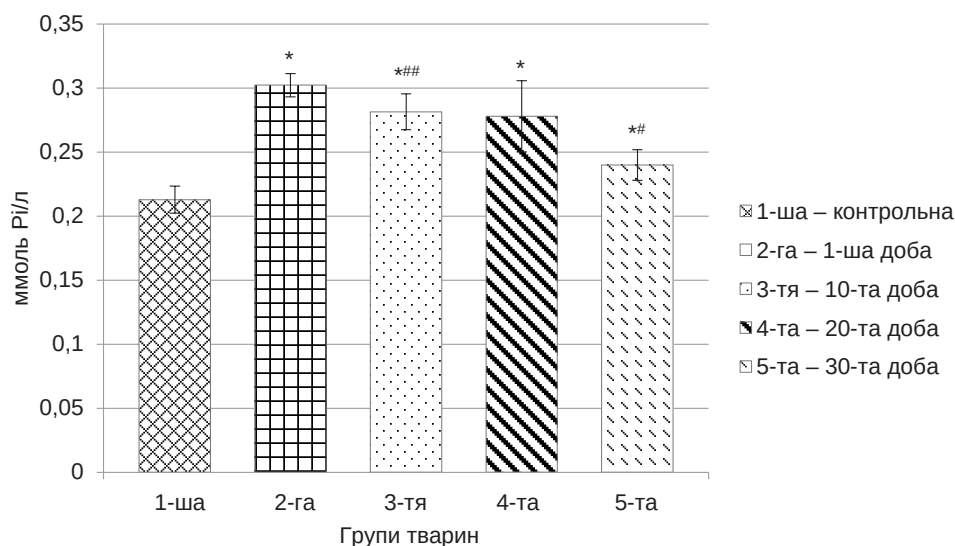


Рис. 5. Рівень аденозинтрифосфату в гемолізаті еритроцитів щурів за умов споживання енергонапою ( $M \pm m$ ,  $n=7$ ). Примітка. \* – достовірність порівняно з показниками 1-ї (контрольної) групи тварин ( $p < 0,001$ ); # – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,001$ ); ## – достовірність порівняно з показниками 2-ї групи тварин ( $p < 0,05$ ).

Після відміни енергетика спостерігали достовірне зниження вмісту аденозинтрифосфату на 20-ту ( $p < 0,05$ ) і 30-ту ( $p < 0,001$ ) доби відповідно порівняно з 2-ю дослідною групою тварин (див. рис. 5). Отримані дані вказують на те, що при споживанні енергонапою в еритроцитах інтенсивно відбувалася гліколітична утилізація глюкози, що може викликати компенсаторно-адаптивні реакції. Оскільки в еритроцитах підвищується енергообмін, це може призвести

до збільшення утворення НАДН<sub>2</sub>, а також 2,3-дифосфогліцерату, який знижує спорідненість кисню з гемоглобіном та дисоціації оксигемоглобіну.

**ВИСНОВОК.** Отримані результати вказують на порушення вуглеводного обміну в еритроцитах тварин, які споживали енергонапій, що може призвести до порушення як гомеостазу червонокривців, так і організму в цілому.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alsunni A. Energy drink consumption: Beneficial and adverse health effects / A. Alsunni // *International Journal of Health Sciences*. – 2015. – **9**, No. 4. – P. 468–474.
2. Reid J. L. Consumption of caffeinated energy drinks among youth and young adults in Canada / J. L. Reid, C. McCrory, C. M. White, C. Martineau, P. Vanderkooy, N. Fenton, D. Hammond // *Preventive Medicine Reports*. – 2017. – **5**. – P. 65–70.
3. Health effects of energy drinks on children, adolescents, and young adults / S. M. Seifert, J. L. Schaechter, E. R. Hershorin, S. E. Lipshultz // *Pediatrics*. – 2011. – **127**, No. 3. – P. 511–528.
4. Age of first use of energy beverages predicts future maximal consumption among naval pilot and flight officer candidates / T. E. Sather, C. L. Woolsey, R. D. Williams [et al.] // *Addictive Behaviors Reports*. – 2016. – **3**. – P. 9–13.
5. Virtanen H. Abstract No 1046. Presented at: World Diabetes Congress. – 2015. – Vancouver, British Columbia.
6. Taurine in 24-h urine samples is inversely related to cardiovascular risks of middle aged subjects in 50 populations of the world / M. Sagara, S. Murakami, S. Mizushima [et al.] // *Adv. Exp. Med. Biol.* – 2015. – **803**. – P. 623–636. DOI: 10.1007/978-3-319-15126-7\_50.
7. Oxidative stress and inflammation in obesity after taurine supplementation: a double-blind placebo-controlled study / F. T. Rosa, E. C. Freitas, R. Deminice [et al.] // *Eur. J. Nutr.* – 2014. – **53**. – P. 823–830. DOI: 10.1007/s00394-013-0586-7.
8. An analysis of energy-drink toxicity in the National Poison Data System / S. M. Seifert, S. A. Seifert, J. L. Schaechter [et al.] // *Clin. Toxicol. (Phila)*. – 2013. – **51**. – P. 566–574.



9. Energy drinks and health: a brief review of their effects and consequences / M. J. González, J. R. Miranda-Massari, J. R. Gomez [et al.] // *Ciencias de la Conducta*. – 2012. – **27**, No. 1. – P. 23–34.

10. Lang F. Physiology and pathophysiology of eryptosis / F. Lang, E. Lang, M. Föller // *Transfus. Med. Hemother.* – 2012. – **39**, No.5. – P. 308–314. DOI: 10.1159/000342534

11. Горячковский А. М. Пособие по клинической биохимии / А. М. Горячковский. – Одесса : ОКФА, 1994. – С. 255–258.

12. Алейникова Т. А. Руководство к практическим занятиям по биологической химии / Т. А. Алейникова, Г. В. Рубцова. – М. : Высшая школа, 1988. – С. 223.

## REFERENCES

1. Alsunni, A. (2015). Energy drink consumption: Beneficial and adverse health effects]. *International Journal of Health Sciences*, 9 (4), 468-474.

2. Reid, J.L., McCrory, C., White, C.M., Martineau, C., Vanderkooy, P., Fenton, N. & Hammond, D. (2017). [Consumption of caffeinated energy drinks among youth and young adults in Canada]. *Preventive Medicine Reports*, 5, 65-70.

3. Seifert, S.M., Schaechter, J.L., Hershorin, E.R. & Lipshultz, S.E. (2011). Health effects of energy drinks on children, adolescents, and young adults. *Pediatrics*, 127, No. 3, pp. 511-528.

4. Sather, T.E., Woolsey, C.L., Williams, R.D., Jr, Evans, M.W. Jr & Cromartie, F. (2016). Age of first use of energy beverages predicts future maximal consumption among naval pilot and flight officer candidates. *Addictive Behaviors Reports*, 3, 9-13.

5. Virtanen H. (2015). Abstract #1046. Presented at: *World Diabetes Congress*. Nov. 30-Dec. 4. 2015. Vancouver: British Columbia.

6. Sagara, M., Murakami, S., Mizushima, S., Liu, L., Mori, M., Ikeda, K., Nara, Y., Yamori, Y. (2015). Taurine in 24-h urine samples is inversely related to cardiovascular risks of middle aged subjects in 50 populations

of the world. *Adv Exp. Med. Biol.*, 803, 623-636. DOI: 10.1007/978-3-319-15126-7\_50.

7. Rosa, F.T., Freitas, E.C., Deminice, R., Jordao, A.A. & Marchin, J.S. (2014). [Oxidative stress and inflammation in obesity after taurine supplementation: a double-blind placebo-controlled study]. *Eur J Nutr*, 53, 823–830. DOI: 10.1007/s00394-013-0586-7.

8. Seifert, S.M., Seifert, S.A., Schaechter, J.L., Bronstein, A.C., Benson, B.E., Hershorin, E.R. & Lipshultz, S.E. (2013). [An analysis of energy-drink toxicity in the National Poison Data System]. *Clin. Toxicol. (Phila)*, 51, 566-574.

9. González, M.J., Miranda-Massari, J.R., Gomez, J.R., Ricart, C.M. & Rodriguez-Pagán, D. (2012). Energy drinks and health: a brief review of their effects and consequences. *Ciencias de la Conducta*, 27 (1), 23-34.

10. Lang, F., Lang, E. & Föller, M. (2012). Physiology and pathophysiology of eryptosis. *Transfus. Med. Hemother*, 39 (5), 308-314. DOI:10.1159/000342534

11. Goryachkovskij, A. M. (1994). *Clinical biochemistry guide*. Odesa: OKFA [in Russian].

12. Alejnikova, T.A. & Rubcova, G.V. (1988). *Guide to practical exercises in biological chemistry*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].

Kh. Yu. Partsei

IVANO-FRANKIVSK NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY

## CHANGES OF INDEXES OF CARBOHYDRATE ERYTHROCYTES OF RATS UNDER CONSUMPTION OF ENERGY DRINK

### Summary

**Introduction.** In recent years, there has been an increase in energy consumption among adolescents around the world and in Ukraine. Excessive consumption of energy drinks can lead to excessive sugar consumption, which in turn causes long-term health problems.

**The aim of the study** – to investigate the change in carbohydrate metabolism of rat erythrocytes under conditions of energy consumption.

**Materials and Methods.** The study was conducted using male Wistar rats, which were kept in the vivarium under appropriate lighting conditions, temperature, humidity and standard diet. All animals had free access to feed

(based on daily requirements) and water (based on 20 ml of water per rat per day). The amount of standard feed consumed for laboratory animals was determined by its residue in the feeder. Control over the growth and development of animals was performed by weighing them at the beginning and at the end of the experiments. The experimental animals were divided into five groups: group 1 – received drinking water (control group); group 2 – received an energy drink for a month and the collection of material was carried out on the 1<sup>st</sup> day at the end of the experiment; group 3 – received an energy drink for a month and the collection of material was carried out on the 10<sup>th</sup> day at the end of the experiment; group 4 – received an energy drink for a month and the collection of material was carried out on the 20<sup>th</sup> day at the end of the experiment; group 5 – received an energy drink for a month and the collection of material was carried out on the 30<sup>th</sup> day at the end of the experiment. Glucose concentration was determined by glucose oxidase method; pyruvic acid – by the number of derivatives of 2,4 dinitrophenylhydrazone; lactic acid by reaction with paraoxydiphenyl. The activity of the enzyme lactate dehydrogenase was determined by enzymatic method. Studies of the level of ATP in the hemolysate of erythrocytes were performed according to the method of Oleynikova.

**Results and Discussion.** It was found that against the background of energy drink there was an increase in the level of metabolites of carbohydrate metabolism in erythrocytes of experimental groups of animals: glucose, pyruvate, lactate, ATP and lactate dehydrogenase activity.

**Conclusions.** The results indicate a violation of carbohydrate metabolism in the erythrocytes of animals that consumed energy, which can lead to disruption of both homeostasis of red blood cells and the body as a whole.

KEY WORDS: **laboratory rats; energy drink; erythrocytes; glucose; pyruvate; lactate; lactate dehydrogenase; ATP.**

Отримано 05.04.22

Адреса для листування: Х. Ю. Парцей, Івано-Франківський національний медичний університет, вул. Галицька, 2, Івано-Франківськ, 76018, Україна, e-mail: hrustuna012y@gmail.com.