

Стан водних секторів, визначений методом біоімпедансометрії, в постраждалих із мінно-вибуховою травмою

О.В. Кравець¹, О.М. Клигуненко¹, В.В. Єхалов¹, Д.М. Станін¹, А.А. Лопата²

1. Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, Україна

2. Коомунальне некомерційне підприємство «Міський пологовий будинок № 1» Дніпровської міської ради, м. Дніпро, Україна

Конфлікт інтересів: відсутній

ОБҐРУНТУВАННЯ. За сучасними уявленнями, при гострій крововтраті патогенетичне надання інфузійно-трансфузійної допомоги ґрунтується на концепції ROSE/D. Згідно з цією концепцією після початкового екстреного поповнення об'єму циркулювальної крові слід оптимізувати водні сектори з подальшою стабілізацією стану.

МЕТА. Вивчення стану водних секторів у постраждалих із мінно-вибуховою травмою.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Обстежено 28 військовослужбовців віком від 20 до 51 року (середній вік – 34,6±10,3 року), які перебували у відділенні інтенсивної терапії з мінно-вибуховою травмою різної локалізації (грудна клітка, черевна порожнина, кінцівки). Постраждалим проводилася інфузійно-трансфузійна терапія в рестриктивному режимі. Визначали стан водних секторів методом біоімпедансометрії (апарат ІСГТ-01) і розрахунковими методами.

РЕЗУЛЬТАТИ. На першу добу перебування у відділенні загальна кількість води в організмі перевищувала норму на 3 %. При цьому об'єм внутрішньоклітинної води був достовірно нижчим за нормальний на 22 %. На другу добу загальна кількість води в організмі нормалізувалася, але збільшувався показник внутрішньоклітинної води на 9,5 % від розрахункового.

ВИСНОВКИ. Показано, що, незважаючи на відновлення об'єму циркулювальної крові, спостерігається внутрішньоклітинний дефіцит рідини, який навіть в умовах рестриктивної інфузійної терапії на наступну добу змінюється незначною компенсаторною внутрішньоклітинною гіпергідратацією при нормалізації внутрішньосудинного об'єму рідини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: крововтрата, мінно-вибухова травма, біоімпедансометрія, водні сектори.

The condition of the fluid compartments by the method of bioimpedancemetry in victims with a blast injury

O.V. Kravets¹, O.M. Klygunenko¹, V.V. Yekhalov¹, D.M. Stanin¹, A.A. Lopata²

1. Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine

2. Communal Non-profit Enterprise "City Maternity Hospital No. 1" of the Dnipro City Council, Dnipro, Ukraine

Conflict of interest: none

BACKGROUND. According to the modern standards, in case of an acute blood loss, the pathogenetic provision of fluid therapy is based on the ROSE/D concept. According to this concept, after the initial emergency restoration of circulating blood volume, the fluid compartments should be optimized with further stabilization of the condition.

OBJECTIVE. To study the fluid compartments in mine-explosive injuries victims.

MATERIALS AND METHODS. 28 servicemen aged 20 to 51 years (average age 34.6±10.3 years) who were in the intensive care unit (ICU) with mine-explosive injuries of various localization (chest, abdomen, limbs) were examined. The victims were given fluid therapy in a restrictive mode. The condition of fluid compartments was determined by the method of bioimpedance measurement and calculation methods.

RESULTS. On the first day of ICU stay, the total amount of water in the body exceeded the norm by 3 %. At the same time, the volume of intracellular water was significantly lower than normal by 22 %. On the second day, the total amount of water in the body normalized, but the indicator of intracellular water increased by 9.5 % of the reference.

CONCLUSIONS. It is shown that despite the restoration of the circulating blood volume, there is an intracellular fluid deficit, which, even in the conditions of the restrictive fluid therapy, is replaced by a slight compensatory intracellular hyperhydration the next day when the intravascular volume of fluid is normalized.

KEY WORDS: blood loss, blast injury, bioimpedancemetry, water sectors.

Вступ

За сучасними уявленнями, при гострій крововтраті патогенетичне надання інфузійно-трансфузійної допомоги ґрунтується на концепції ROSE/D [1, 2]. Згідно з цією концепцією після початкового екстреного поповнення об'єму циркулювальної крові (ОЦК) слід оптимізувати водні сектори з подальшою стабілізацією стану. При цьому насамперед оцінюється стан внутрішньосудинного об'єму. Потім оцінюється стан міжклітинної рідини, куди найперше вона може перерозподілитися із судинного русла. Далі приділяють увагу вмісту внутрішньоклітинної рідини, оскільки саме її нормалізація свідчить про відновлення функціонального стану клітин. Більшість робіт з оцінки водних секторів проводилася серед цивільного населення [3, 4]. Визначенню цієї проблеми в умовах воєнної травми приділено менше уваги. Проте слід зауважити, що військові перебувають у небезпечніших умовах, стикаються з постійним стресом. Тому не виключено, що розподіл рідини водними секторами дещо відрізняється від такого в умовах мирного часу.

Останнім часом для оцінки водних секторів організму використовується метод біоімпедансометрії, який дає змогу шляхом вимірювання електричного опору тканин оцінити кількість води в організмі [5].

Біоімпедансний аналіз складу тіла допомагає контролювати стан ліпідного, білкового та водного обмінів організму й у всьому світі становить інтерес для лікарів різних спеціальностей. Знаючи склад тіла, терапевти та кардіологи оцінюють ризик розвитку метаболічного синдрому, ступінь гідратації тканин. Біоімпедансний аналіз є одним з інструментів діагностики й оцінки ефективності лікування хворих на ожиріння. У хворих на серцево-судинні захворювання біоімпедансометрія застосовується для оцінки порушень водного балансу, перерозподілу рідини у водних секторах організму та підбору лікарських препаратів. У реанімаційних хворих метод використовується для моніторингу та планування інфузійної терапії [6, 7].

Метод заснований на вимірюванні імпедансу всього тіла чи окремих сегментів тіла з використанням спеціальних приладів: біоімпедансних аналізаторів. Електричний імпеданс біологічних тканин має два компоненти: активний (R) і реактивний опір (X). Матеріальним субстратом активного опору R у біологічному об'єкті є рідини (клітинна та позаклітинна), що мають іонний механізм провідності. Субстратом реактивного опору X (діелектричний компонент імпедансу) є клітинні мембрани. При цьому можливе визначення не тільки внутрішньосудинної води, а й об'єму внутрішньоклітинного вмісту рідини завдяки використанню режиму двох частот [8].

Інтегральний одночастотний метод дає прийнятну точність оцінок загальної води організму, але для отримання достовірних оцінок загальної кількості води для людей із порушенням водного балансу, а також для отримання оцінок внутрішньоклітинної рідини краще застосовувати багаточастотний метод [8].

Метою нашого дослідження було визначити стан водних секторів у постраждалих із мінно-вибуховою травмою при проведенні інфузійної терапії та визначити динаміку змін у кількості рідини залежно від часу від початку проведення терапії.

Матеріали та методи

Було обстежено 28 військовослужбовців віком від 20 до 51 року (середній вік – $34,6 \pm 10,3$ року), які перебували у відділенні інтенсивної терапії з мінно-вибуховою травмою різної локалізації (грудна клітка, черевна порожнина, кінцівки). За допомогою апарата ІСГТ-01 методом імпедансометрії з частотою 5 і 50 кГц (що давало змогу оцінити загальну та внутрішньоклітинну рідини) ми оцінювали стан водних секторів. Електроди накладали на зап'ястки та гомілокостопи постраждалого згідно з інструкцією до приладу [9]. Якщо на попередньому етапі лікування було виконано ампутацію кінцівки, постраждалий виключався з дослідження. Для непрямого контролю стану рідинних секторів як показники внутрішньоклітинної та позаклітинної дегідратації/гіпергідратації визначали кількість еритроцитів, рівень гемоглобіну, гематокрит і середній об'єм еритроциту. При цьому за норму загальної води організму та кількість внутрішньоклітинної води визначали результати розрахунків за формулою E. Mellits, A. Cheek (1970) [10]. Стан рідинних секторів обчислювали за формулою, запропонованою Segal і співавторами (1991) [11, 12]:

$$\text{загальна вода організму} = 0,455 \times (\text{зріст}^2 / R_{\text{вис.}}) + 0,14 \times \text{вага} + 3,43;$$
$$\text{внутрішньоклітинна вода організму} = 0,284 \times (\text{зріст}^2 / R_{\text{низ.}}) + 0,112 \times \text{вага} - 6,115,$$

де $R_{\text{вис.}}$ – показник імпедансу на високій частоті, а $R_{\text{низ.}}$ – показник імпедансу на низькій частоті.

Постраждалим на першому етапі надання допомоги (поблизу зони бойових дій) проводилися операції із зупинки кровотеч, дренажування гемопневмотораксів, репозиція переломів із накладенням апаратів зовнішньої фіксації. У супроводжувальних документах було коротко вказано об'єм оперативного втручання та констатовано факт проведення інфузійно-трансфузійної терапії без зазначення об'ємів і характеристик розчинів. Зазначалося, що було досягнуто гемодинамічної стабілізації. Середні терміни надходження до відділення становили $31,5 \pm 16,3$ години (від 13 до 72 годин). Тобто постраждалі надходили в умовах стабілізації ОЦК без подальшої корекції розподілу рідини за секторами.

Після надання посиндромної допомоги на етапі стабілізації стану постраждалі через 1-2 доби переводилися для подальшого лікування та реабілітації до інших лікувальних закладів.

Отримані результати аналізувалися за допомогою дескриптивних методів статистики. Розрахунки виконували за допомогою програмного пакета Microsoft Excel 2016.

Результати та їх обговорення

При надходженні до стаціонару хворі не потребували інотропної підтримки катехоламінами (результат інфузійно-трансфузійної терапії, проведеної на попередньому етапі). Проте навіть в умовах транспортування із застосуванням знеболювальних засобів (пероральний прийом)

ОРИГІНАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

у постраждалих відзначалася помірна тахікардія (частота серцевих скорочень у середньому становила $93,3 \pm 15,8$ уд./хв). Артеріальний тиск коливався від 106/65 до 135/100 мм рт. ст. (середнє значення – $123,9 \pm 12,9/74,3 \pm 9,8$ мм рт. ст.). Середній артеріальний тиск становив $89,9 \pm 9,8$ мм рт. ст. і коливався від 76 до 120 мм рт. ст. Ударний об'єм дорівнював $55,3 \pm 12,1$ мл і коливався в межах від 48 до 71 мл. Хвилинний об'єм кровообігу незначно відрізнявся від нормального та був збільшений на $3,80 \pm 0,35$ %. Серцевий індекс становив $2,4 \pm 0,93$ л/хв/м². Це свідчило про помірно гіподинамічний тип кровообігу та досить адекватне ресусцитаційне відновлення вихідного дефіциту об'єму циркулювальної рідини.

У ході лабораторного дослідження було встановлено, що кількість еритроцитів коливалася від 2,5 до $4,7 \times 10^{12}$ /л (середнє значення – $4,0 \pm 0,8 \times 10^{12}$ /л), гемоглобін був у межах від 78 до 160 г/л (середній показник – $107,7 \pm 29,4$ г/л), гематокрит – від 0,23 до 0,46 л/л (середній показник – $0,393 \pm 0,086$ л/л).

Під час аналізу водних секторів на першу добу перебування у відділенні було визначено, що об'єм загальної води організму становив $46,6 \pm 10,8$ л за норми $45,2 \pm 5,0$ л, тобто загальна кількість води в організмі перевищувала норму на 3 %. При цьому об'єм внутрішньоклітинної води був значно нижчим за нормальний і становив $21,9 \pm 6,6$ л (розрахункова норма внутрішньоклітинної води – $28,3 \pm 3,1$ л). Про це свідчив і середній об'єм еритроцитів, що був на нижній межі норми ($91,2 \pm 3,3$ фл). Ці дані свідчать про те, що при крововтраті для підтримання ОЦК організмом було задіяно не тільки міжклітинну, а й внутрішньоклітинну рідину. Проведені ресусцитаційні заходи для відновлення ОЦК насамперед надавали можливість заповнення судинного русла, проте повністю не відновлювали рідинне наповнення клітинного простору. Це наводить на думку, що в більшості випадків у постраждалих із вибуховою травмою стандартна прийнята схема інфузійної терапії не дає змоги одночасно відновлювати й внутрішньоклітинний простір, що, можливо, впливає на внутрішньоклітинний метаболізм. (За внутрішньоклітинної дегідратації процеси обміну речовин, найімовірніше, будуть змінені.)

У 12 випадках у зв'язку з необхідністю проведення повторних оперативних утручань і подовження інтенсивної

терапії постраждалих було затримано на цьому етапі ще на 1-2 доби. У них інфузійна терапія проводилася лише в рестриктивному режимі збалансованими електролітними розчинами. Трансфузії здійснювалися виключно за абсолютними показаннями.

Артеріальний тиск коливався від 110/70 до 135/100 мм рт. ст. (середнє значення – $125,9 \pm 15,8/84,3 \pm 9,8$ мм рт. ст.). Середній артеріальний тиск становив $98,9 \pm 9,5$ мм рт. ст. і коливався від 87 до 140 мм рт. ст. Ударний об'єм дорівнював $65,9 \pm 15,1$ мл і коливався в межах від 55 до 82 мл. Хвилинний об'єм кровообігу незначно відрізнявся від нормального та був збільшений на $5,2 \pm 0,55$ %. Серцевий індекс становив $3,9 \pm 0,93$ л/хв/м². Це свідчило про помірно гіпердинамічний тип кровообігу й адекватне ресусцитаційне відновлення дефіциту об'єму циркулювальної рідини.

Аналіз водних секторів у цих постраждалих показав, що кількість загальної води в організмі становила $45,8 \pm 12,5$ л, а об'єм внутрішньоклітинної води збільшився до $31,0 \pm 12,5$ л, що на 9,5 % перевищувало нормальний розрахунковий показник і на 12,5 % – показник попередньої доби, тобто на етапі стабілізації на другу добу лікування внутрішньоклітинна дегідратація переходила у внутрішньоклітинну гіпергідратацію. Отримані дані другої доби проведення інфузійної терапії вказують, що спостерігається продовження перерозподілу рідини, насамперед у внутрішньоклітинний простір, навіть із незначною внутрішньоклітинною гіпергідратацією.

Висновки

Це дослідження показало, що в умовах гострої крововтрати на тлі мінно-вибухової травми та проведення інфузійно-трансфузійної терапії розвиваються однакові адаптивні механізми. Найперше зберігається об'єм рідини в судинному руслі, а об'єм рідини в міжклітинному та внутрішньоклітинному просторах спочатку зменшується, компенсуючи об'єм внутрішньосудинної рідини. Надалі йде поповнення міжклітинної рідини й тільки потім – відновлення внутрішньоклітинного водного простору.

Показники загальної води організму та хвилинного об'єму крові вказують, що згідно з концепцією ROSE/D початкове відновлення ОЦК супроводжується внутрішньоклітинною дегідратацією, яка надалі компенсується завдяки адекватній рестриктивній інфузійній терапії.

Література

1. Hoste E.A., Maitland K., Brudney C.S., Mehta R. et al. Four phases of intravenous fluid therapy: a conceptual model. *British Journal of Anaesthesia*. 2014; vol. 113, № 5: 740-747. doi: 10.1093/bja/aeu300.
2. Finfer S., Myburgh J., Bellomo R. Intravenous fluid therapy in critically ill adults. *Nat. Rev. Nephrol.* 2018; 14 (9): 541-557. doi: 10.1038/s41581-018-0044-0.
3. Koratala A., Ronco C., Kazory A. Diagnosis of fluid overload: from conventional to contemporary concepts. *Cardiorenal. Med.* 2022; 12 (4): 141-154. doi: 10.1159/000526902.
4. Chong J.U., Nam S., Kim H.J. et al. Exploration of fluid dynamics in perioperative patients using bioimpedance analysis. *J. Gastrointest. Surg.* 2016; 20 (5): 1020-1027. doi: 10.1007/s11605-015-3063-1.
5. Jaffrin M.Y., Morel H. Body fluid volumes measurements by impedance: a review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Med. Eng. Phys.* 2008; 30 (10): 1257-1269. doi: 10.1016/j.medengphy.2008.06.009.
6. Mayne K.J., Shemilt R., Keane D.F. et al. Bioimpedance indices of fluid overload and cardiorenal outcomes in heart failure and chronic kidney disease: a systematic review. *J. Card. Fail.* 2022; 28 (11): 1628-1641. doi: 10.1016/j.cardfail.2022.08.005.
7. Cihoric M., Kehlet H., Højlund J. et al. Bioimpedance spectroscopy fluid analysis in acute high-risk abdominal surgery, a prospective clinician-blinded observational feasibility study. *J. Clin. Monit. Comput.* 2023; 37 (2): 619-627. doi: 10.1007/s10877-022-00934-x.
8. Baumgartner R.N. Electrical impedance and total body conductivity. Human Body Composition [Eds. Roche A.F., Heymsfield S.B., Lohman T.G.]. *Champaign: Human Kinetics*, 1996. P. 79-107.
9. Вимірювач ступеня гідратації тканин імідансний ІСГТ-01. Технічний опис та інструкція з експлуатації. – РЕМА, 1989.
10. Mellits E.D., Cheek D.B. Physical growth and body composition. *Monographs of Research in Childhood Development*. 1970; 35: 2-26.
11. Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Itallie T.B. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 1985; vol. 58, № 5: 1565-1571. doi: 10.1152/jappl.1985.58.5.1565.
12. Segal K.R., Burastero S., Chun O., Coronel P., Pierson R.N.Jr., Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am. J. Clin. Nut.* 1991 Jul; 54 (1): 26-29. doi: 10.1093.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Кравець Ольга Вікторівна

Завідувачка кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти Дніпровського державного медичного університету.

Д-р мед. наук.

9, вул. В. Вернадського, м. Дніпро, 49044, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-1340-3290

Клигуненко Олена Миколаївна

Професор кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти Дніпровського державного медичного університету.

Д-р мед. наук.

9, вул. В. Вернадського, м. Дніпро, 49044, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8470-4790

Єхалов Василь Віталійович

Доцент кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти Дніпровського державного медичного університету.

Канд. мед. наук.

9, вул. В. Вернадського, м. Дніпро, 49044, Україна.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-5373-3820

Станін Дмитро Михайлович

Доцент кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів факультету післядипломної освіти Дніпровського державного медичного університету.

Канд. мед. наук.

9, вул. В. Вернадського, м. Дніпро, 49044, Україна.

Лопата Анастасія Андріївна

Лікар-анестезіолог анестезіологічного підрозділу з ліжками для інтенсивної терапії комунального некомерційного підприємства «Міський пологовий будинок № 1» Дніпровської міської ради.

2, вул. Воскресенська, м. Дніпро, 49000, Україна.

КОНТАКТНА ІНФОРМАЦІЯ / CORRESPONDENCE TO

Станін Дмитро Михайлович

9, вул. В. Вернадського, м. Дніпро, 49044, Україна.

Тел.: +38 (067) 921 07 17.

E-mail: sdm5279@i.ua

References

1. Hoste E.A., Maitland K., Brudney C.S., Mehta R. et al. Four phases of intravenous fluid therapy: a conceptual model. *British Journal of Anaesthesia*. 2014; vol. 113, № 5: 740-747. doi: 10.1093/bja/aeu300.
2. Finfer S., Myburgh J., Bellomo R. Intravenous fluid therapy in critically ill adults. *Nat. Rev. Nephrol.* 2018; 14 (9): 541-557. doi: 10.1038/s41581-018-0044-0.
3. Koratala A., Ronco C., Kazory A. Diagnosis of fluid overload: from conventional to contemporary concepts. *Cardiorenal. Med.* 2022; 12 (4): 141-154. doi: 10.1159/000526902.
4. Chong J.U., Nam S., Kim H.J. et al. Exploration of fluid dynamics in perioperative patients using bioimpedance analysis. *J. Gastrointest. Surg.* 2016; 20 (5): 1020-1027. doi: 10.1007/s11605-015-3063-1.
5. Jaffrin M.Y., Morel H. Body fluid volumes measurements by impedance: a review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Med. Eng. Phys.* 2008; 30 (10): 1257-1269. doi: 10.1016/j.medengphy.2008.06.009.
6. Mayne K.J., Shemilt R., Keane D.F. et al. Bioimpedance indices of fluid overload and cardiorenal outcomes in heart failure and chronic kidney disease: a systematic review. *J. Card. Fail.* 2022; 28 (11): 1628-1641. doi: 10.1016/j.cardfail.2022.08.005.
7. Cihoric M., Kehlet H., Højlund J. et al. Bioimpedance spectroscopy fluid analysis in acute high-risk abdominal surgery, a prospective clinician-blinded observational feasibility study. *J. Clin. Monit. Comput.* 2023; 37 (2): 619-627. doi: 10.1007/s10877-022-00934-x.
8. Baumgartner R.N. Electrical impedance and total body conductivity. Human Body Composition [Eds. Roche A.F., Heymsfield S.B., Lohman T.G.]. *Champaign: Human Kinetics*, 1996. P. 79-107.
9. Meter of the degree of tissue hydration impedance ISHT-01. Technical description and operating instructions. REMA, 1989 [Vymiryuvach stupenya hidrattatsiyi tkanyyn impedansnyy ISHT-01. Tekhnichnyy opys ta instruktziya z ekspluatatsiyi. REMA, 1989].
10. Mellits E.D., Cheek D.B. Physical growth and body composition. *Monographs of Research in Childhood Development*. 1970; 35: 2-26.
11. Segal K.R., Gutin B., Presta E., Wang J., Van Itallie T.B. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 1985; vol. 58, № 5: 1565-1571. doi: 10.1152/jappl.1985.58.5.1565.
12. Segal K.R., Burastero S., Chun O., Coronel P., Pierson R.N.Jr., Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am. J. Clin. Nut.* 1991 Jul; 54 (1): 26-29. doi: 10.1093.

Kravets Olha Viktorivna

Head of the department of anesthesiology, intensive care and emergency medicine, faculty of postgraduate education, Dnipro State Medical University. MD.

9, V. Vernadskoho st., Dnipro, 49044, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0003-1340-3290

Klygunenko Olena Mykolaivna

Professor of the department of anesthesiology, intensive care and emergency medicine, faculty of postgraduate education, Dnipro State Medical University. MD.

9, V. Vernadskoho st., Dnipro, 49044, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-8470-4790

Yekhalov Vasyly Vitaliiiovych

Associate professor of the department of anesthesiology, intensive care and emergency medicine, faculty of postgraduate education, Dnipro State Medical University. PhD.

9, V. Vernadskoho st., Dnipro, 49044, Ukraine.

ORCID iD: orcid.org/0000-0001-5373-3820

Stanin Dmytro Mykhailovych

Associate professor of the department of anesthesiology, intensive care and emergency medicine, faculty of postgraduate education, Dnipro State Medical University. PhD.

9, V. Vernadskoho st., Dnipro, 49044, Ukraine.

Lopata Anastasiia Andriivna

Anesthesiologist of the anesthesiology unit with beds for intensive therapy of the municipal non-profit enterprise "City Maternity Hospital No. 1" of the Dnipro City Council.

2, Voskresenska st., Dnipro, 49000, Ukraine.