

Білецький О.В.

Харківська медична академія післядипломної освіти, м. Харків, Україна

Зміни концентрації електролітів плазми крові в умовах магnezіальної терапії у пацієнтів у стані травматичного шоку на тлі політравми

Резюме. *Актуальність.* Терміни виведення пацієнтів із політравмою зі стану травматичного шоку серйозно впливають на кількість ускладнень, тривалість перебування пацієнтів у відділенні інтенсивної терапії та вартість лікування. Раніше показано, що застосування гіпертонічного розчину магнію сульфату сприяє прискоренню стабілізації гемодинаміки у пацієнтів із політравмою. **Мета дослідження:** визначення концентрації основних електролітів у плазмі крові у процесі застосування гіпертонічного розчину магнію сульфату у постраждалих із політравмою, які перебували у стані гіповолемічного шоку. **Матеріали та методи.** У 24 пацієнтів із політравмою, які надходили до клініки у стані гіповолемічного травматичного шоку, в умовах операційної проводилася корекція гемодинаміки гіпертонічним розчином магнію сульфату у фізіологічному розчині. 25% розчин магнію сульфату вводився внутрішньовенно із розрахунку $0,35 \pm 0,05$ мл/кг маси тіла з метою створення осмотичного градієнта між внутрішньосудинною й інтерстиціальною рідиною, а також з метою блокування надходження натрію та кальцію до внутрішньоклітинного простору. У процесі застосування зазначеної методики вивчено зміни вмісту електролітів у плазмі крові. Визначали концентрацію магнію, калію, кальцію, натрію та хлоридів. Кров для вивчення вмісту електролітів забирали на таких етапах: 1) перед застосуванням гіпертонічного розчину магнію сульфату; 2) через 5–10 хвилин після повного закінчення інфузії магнію сульфату в фізіологічному розчині; 3) через 25–35 хвилин після повного закінчення інфузії магнію сульфату в фізіологічному розчині; 4) через 1 годину після повного закінчення інфузії магнію сульфату в фізіологічному розчині; 5) через 2 години; 6) через 6 годин; 7) через 24 години. **Результати.** Дослідження показало, що застосування цієї методики не було асоційоване із небезпечним підвищенням концентрації магнію в плазмі крові до рівня 4,0 ммоль/л і більше. А отже, не створювалося небезпеки пригнічення серцевої діяльності. Найвищий уміст магнію в плазмі крові спостерігали на 2-му етапі дослідження — через 5–10 хвилин після повного закінчення інфузії 25% розчину магнію сульфату у фізіологічному розчині. У середньому концентрація магнію становила $2,15 \pm 0,17$ ммоль/л. Таке підвищення концентрації магнію в плазмі крові було закономірно асоційоване із пригніченням сухожильних рефлексів і функції зовнішнього дихання. До кінця дослідження вміст магнію в плазмі крові поступово нормалізувався та становив $0,98 \pm 0,09$ ммоль/л. **Висновки.** Швидко введення до організму високої дози іонізованого магнію та сульфату призводило за принципом Гембла до тимчасового зменшення концентрації в плазмі крові інших електролітів. На певних етапах дослідження виявлено вірогідне зменшення вмісту в плазмі крові калію, натрію, хлоридів. Найменше змінювався вміст у плазмі крові кальцію.

Ключові слова: магній; магнію сульфат; водно-електролітний обмін; гіповолемічний шок; політравма

Вступ

Застосування гіпертонічного розчину магнію сульфату у фізіологічному розчині сприяє через механізм осмосу прискоренню заповнення судинного русла в умовах гіповолемічного травматичного шоку, покращенню показників продуктивності серця та зменшенню пошкодження клітинних мембран [1–3]. Проте швидке введення до організму 40–80 ммоль магнію за законами функціонування організму, які в галузі водно-сольового обміну віддзеркалює іонограма Гембла, може призводити до значних зсувів в електролітному складі плазми крові, що непередбачені. Адже всі катіони витісняють з організму інші позитивно заряджені іони, а всі аніони, відповідно, сприяють зменшенню вмісту в плазмі крові інших негативно заряджених часток [4].

Метою нашого дослідження стало визначення концентрації основних електролітів у плазмі крові у процесі застосування гіпертонічного розчину магнію сульфату у постраждалих на політравму, які перебували у стані гіповолемічного шоку.

Матеріали та методи

До дослідження включено 24 хворих із політравмою віком від 18 до 65 років, які надходили до операційної в ургентному порядку в стані гіповолемічного травматичного шоку. Пацієнтам проводили рідинну ресусcitaцію згідно з протоколами, що містять Накази МОЗ України № 430 (2006) та № 34 (2014). Окрім цих заходів пацієнти отримували інфузію 25% розчину магнію сульфату (MgSO_4) у фізіологічному розчині із розрахунку $0,35 \pm 0,05$ мл/кг (одна ампула 25% розчину сірчаноокислої магnezії об'ємом 10 мл на 200 мл фізіологічного розчину) для створення осмотичного градієнта між внутрішньосудинною й інтерстиціальною рідиною, зменшення тяжкості стресових пошкоджень, індукованих системною ішемією/реперфузією із зростанням надходження іонізованого кальцію до внутрішньоклітинного простору. Цей розчин, що готувався надзвичайно швидко, вводився пацієнтам внутрішньовенним струминним способом. До застосування гіпертонічного розчину MgSO_4 робили забір крові з подальшим центрифугуванням для отримання плазми. У процесі дослідження забір крові для визначення вмісту електролітів у плазмі проводився на таких етапах:

- 1) перед застосуванням гіпертонічного розчину MgSO_4 ;
- 2) через 5–10 хвилин після закінчення інфузії повної дози MgSO_4 у фізіологічному розчині, що розрахована;
- 3) через 25–35 хвилин після закінчення зазначеної інфузії;
- 4) через 55–65 хвилин після закінчення зазначеної інфузії;
- 5) через 2 години після закінчення зазначеної інфузії;
- 6) через 6 годин після закінчення зазначеної інфузії;

7) через 24 години після закінчення зазначеної інфузії.

Визначення вмісту електролітів у плазмі крові проводилося в лабораторії «Аналітика» (м. Харків). Досліджували вміст у плазмі крові калію, натрію, магнію, кальцію та хлоридів. Для визначення вмісту калію та натрію в плазмі крові використаний іоноселективний метод із застосуванням іоноселективного аналізатора AVL 9180 та реагентів Roche Diagnostics (Швейцарія). Для визначення вмісту хлоридів у плазмі — фотометричний метод із тіоціанатом та реагенти DAC-SpectroMed (Республіка Молдова); для визначення вмісту кальцію у плазмі — фотометричний метод із арсеназо III та реагенти BioSystems; для визначення вмісту магнію у плазмі — фотометричний метод із ксилідилловим синім і реагенти BioSystems. Визначення концентрації цих речовин проводили на автоматичному біохімічному аналізаторі BA-400, BioSystems (Іспанія).

Результати дослідження наведено у вигляді $M \pm \sigma$ (середнє арифметичне \pm стандартне відхилення). При оцінці змін умісту у плазмі крові всіх електролітів на етапах дослідження порівнювали їх концентрацію із початковою (етап 1). Усі вибірки перевірялися на відповідність класичному гаусівському розподілу, і всі вони йому відповідали. Отже, для виявлення вірогідних розбіжностей між початковою концентрацією електролітів у плазмі та наступними даними (етапи 2–7) був застосований t-тест Стьюдента.

Результати

Дані щодо змін концентрації електролітів у плазмі крові у пацієнтів у стані гіповолемічного шоку на тлі політравми при застосуванні гемодинамічної корекції гіпертонічним розчином MgSO_4 містяться в табл. 1.

Для покращення сприйняття динаміки концентрації електролітів у плазмі крові у пацієнтів, які знаходилися в стані травматичного гіповолемічного шоку та отримували магnezіальну терапію, побудовано графіки їх вмісту у плазмі крові на 7 етапах дослідження, що видно на рис. 1, 2.

Найбільш цікавим результатом роботи ми вважаємо визначення вмісту у плазмі крові магнію. Пацієнт із масою тіла 80 кг цілком міг отримати $0,35 \text{ мл} \times 80 \text{ кг} = 28 \text{ мл}$ 25% розчину MgSO_4 , або 56 ммоль магнію. Таким чином, на тлі крововтрати при обсязі циркулюючої крові 4 літри з урахуванням введення фізіологічного розчину та переміщенням до судин інтерстиціальної рідини, уміст магнію у плазмі міг швидко досягти небезпечної концентрації у 5 ммоль/л. Проте цього не відбувалося, адже магній надзвичайно швидко поширюється в усьому організмі, включаючи внутрішньоклітинний простір [5].

Обговорення

Результати дослідження переконливо демонструють, що швидке введення до позаклітинної рідини значної кількості іонів магнію сприяло ви-

Таблиця 1. Динаміка вмісту електролітів у плазмі крові в ммоль/л ($M \pm \sigma$)

Етап/концентрація	Магній	Калій	Кальцій	Натрій	Хлориди
1	0,80 ± 0,03	3,81 ± 0,15	2,30 ± 0,07	139,2 ± 1,9	109,5 ± 2,0
2	2,15 ± 0,17	3,61 ± 0,13	2,28 ± 0,05	136,1 ± 1,8	104,4 ± 2,0
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,33$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
3	1,90 ± 0,17	3,50 ± 0,11	2,23 ± 0,06	133,7 ± 1,0	107,2 ± 1,8
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,002$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
4	1,60 ± 0,16	3,41 ± 0,09	2,29 ± 0,06	134,2 ± 1,0	108,8 ± 1,6
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,33$	$p < 0,001$	$p = 0,041$
5	1,48 ± 0,11	3,36 ± 0,08	2,26 ± 0,06	136,1 ± 1,0	107,2 ± 1,2
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,06$	$p < 0,001$	$p < 0,001$
6	1,23 ± 0,07	3,48 ± 0,08	2,35 ± 0,05	139,2 ± 0,9	104,7 ± 1,4
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,024$	$p = 0,92$	$p < 0,001$
7	0,98 ± 0,09	3,69 ± 0,10	2,33 ± 0,05	142,3 ± 0,9	101,0 ± 2,0
Порівняно з початковою	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p = 0,15$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

тісненню з неї інших катіонів. Незважаючи на одночасне введення фізіологічного розчину, концентрація натрію в плазмі на 2–5-му етапах дослідження виявилася вірогідно меншою за початкову. Уміст у плазмі крові калію вірогідно поступався стартовій концентрації протягом усіх подальших етапів (2–7) дослідження. Це відбувалося навіть в умовах подальшої інфузії розчину Рінгера, який виступав в ролі основної складової інфузійної терапії кристалоїдними плазмозамінниками. Натомість уміст кальцію у плазмі крові під впливом магnezіальної терапії, на наш погляд, суттєво не змінювався, хоча й та 3-му етапі дослідження було виявлене вірогідне зменшення його концентрації у плазмі крові порівняно з початковою. У подальшому на 6-му етапі вміст кальцію у плазмі крові вірогідно перевищив

стартовий рівень, що, скоріше за все, відбулося за рахунок застосування розчину Рінгера [4, 6].

Уміст хлоридів у плазмі крові в умовах магnezіальної терапії очікувано виявився вірогідно меншим за той, що мав місце на 1-му етапі. Адже разом із іонізованим магнієм до позаклітинної рідини потрапляла аналогічна кількість негативно заряджених сульфатних аніонів. На жаль, нам не вдалося забезпечити визначення їх концентрації у плазмі крові в нашій роботі. Уміст хлоридів у плазмі був вірогідно меншим за початковий протягом 2–7-го етапів дослідження. Це мало місце незважаючи на інфузію фізіологічного розчину, а після — розчину Рінгера. Отже, витіснення хлоридів із плазми відбувалося, цілком імовірно, за рахунок зростання вмісту у крові сульфат-іонів [4, 6].

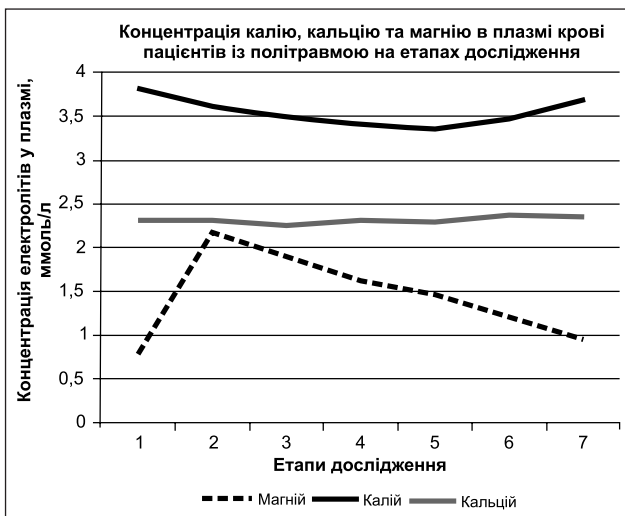


Рисунок 1. Графік, що відбиває зміни вмісту магнію, калію та кальцію у плазмі крові у процесі проведення магnezіальної терапії

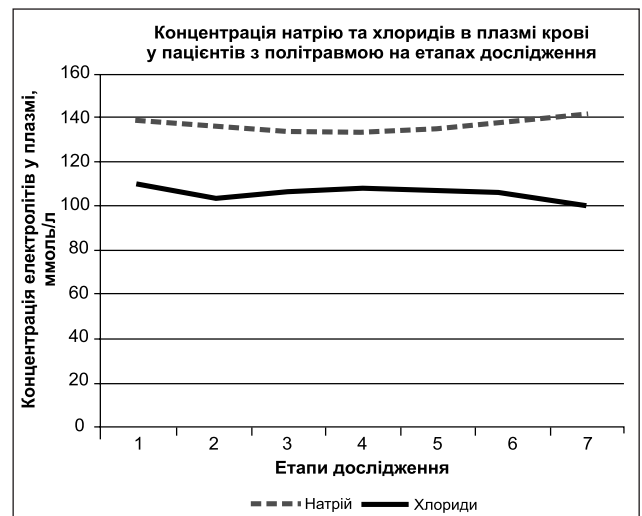


Рисунок 2. Графік, що відбиває зміни вмісту натрію і хлоридів у плазмі крові у процесі проведення магnezіальної терапії

Через 5–10 хвилин після закінчення дози $MgSO_4$ у фізіологічному розчині, що розрахована, спостерігали найвищу концентрацію магнію у плазмі крові пацієнтів із політравмою, яка в середньому становила $2,15 \pm 0,17$ ммоль/л. Зазначений уміст магнію у плазмі крові був асоційований із значним пригніченням сухожильних рефлексів і функції зовнішнього дихання, у зв'язку із чим усім хворим проводилася мандаторна штучна вентиляція легень (ШВЛ). Проте концентрація магнію у плазмі крові, що досягала 4,0–6,0 ммоль/л і була б пов'язана із суттєвим пригніченням серцевого автоматизму та атріовентрикулярної провідності, не спостерігалася [7, 8]. Таким чином, ми підтвердили, що магnezіальна терапія, розроблена з метою прискорення наповнення судинного русла рідиною в умовах гіповолемічного шоку, не створювала небезпеки пригнічення продуктивності серця. Пригнічення ж легеневої вентиляції було цілком очікуваною подією, а отже, наша анестезіологічна бригада завжди була готова до швидкого забезпечення ШВЛ [7, 8].

Висновки

Застосування у складі рідинної ресусцитації гіпертонічного розчину магнію сульфату у фізіологічному розчині із розрахунку $0,35 \pm 0,05$ мл 25% розчину $MgSO_4$ /кг маси тіла хворого не асоційоване із підвищенням вмісту плазми крові магнію до 2,0–2,5 ммоль/л. Це викликає пригнічення функції зовнішнього дихання, проте є цілком безпечним для серцево-судинної системи.

При надходженні до організму значної кількості магнію та сульфату спостерігаються зміни концентрації електролітів у плазмі крові відповідно до принципу Гембла.

Перспективи подальших досліджень. Вивчення стану кислотно-основного обміну в умовах проведення магnezіальної терапії.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів і власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Білецький О.В. Застосування магнію сульфату в складі негайного анестезіологічного забезпечення ургентного хірургічного втручання для постраждалих з сполученою травмою в стані геморагічного шоку. *Вісник проблем біології і медицини*. 2018. Вип. 2(144). С. 142–145.
2. Білецький О.В., Курсов С.В. Застосування магнію сульфату з метою прискорення виведення постраждалих із стану гіповолемічного травматичного шоку в умовах реанімаційної зали та операційної. *Біль, знеболення та інтенсивна терапія*. 2018. № 3(84). С. 30–35.
3. Яковцов І.З., Білецький О.В., Курсов С.В. та ін. Підвищення ендогенної продукції монооксиду вуглецю та утворення небезпечного вмісту в крові карбоксигемоглобіну в пацієнтів з політравмою, які перебувають у критичних станах. *Проблеми безперервної медичної освіти та науки*. 2018. № 4. С. 45–50.
4. Agro F.E., Vennari M., Benedetto M. *Fluid Management and Electrolyte Balance (Chapter 15). Acid-Base Balance and Blood Gas Analysis (Chapter 16). Postoperative Critical Care for Adult Surgical Cardiac Patients (Second Edition)*; Ed. by A. Dababagh, F. Esmailian, S. Aranki. Springer International Publishing AG, 2018. P. 419–526.
5. Pethig R., Kell D.B. *The passive electrical properties of biological systems: their significance in physiology, biophysics and biotechnology. Physics in Medicine and Biology*. 1987. Vol. 32, № 8. P. 933–970.
6. Никонов В.В., Курсов С.В., Сорокина Е.Ю. и др. *Водно-электролитный обмен и инфузионная терапия*. Харьков: ФЛП Панов А.Л., 2015. 130 с.
7. Fresenius Kabi. *Magnesium Sulfate, Injection, USP [електронний ресурс]*. [Internet]; [Issued: February 2016, FDA approved]. Access mode: https://www.accessdata.fda.gov/drug-satfda_docs/label/2018/019316s024lbl.pdf.
8. Bittar T.M.B., Guerra S.D. Use of intravenous magnesium sulfate for the treatment of severe acute asthma in children in emergency department. *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*. 2012. Vol. 24, № 1. P. 86–90.

Отримано/Received 11.04.2019

Рецензовано/Revised 29.04.2019

Прийнято до друку/Accepted 04.05.2019 ■

Білецький А.В.

Харьковская медицинская академия последипломного образования, г. Харьков, Украина

Изменения концентрации электролитов плазмы крови в условиях магnezіальной терапии у пациентов в состоянии травматического шока на фоне политравмы

Резюме. *Актуальность.* Сроки выведения пациентов с политравмой из состояния травматического шока оказывают серьезное влияние на количество осложнений, длительность пребывания пациентов в отделении интенсивной терапии и стоимость лечения. Ранее показано, что применение гипертонического раствора магния сульфата способствует ускорению стабилизации гемодинамики у пациентов с политравмой. *Цель исследования:* определение концентрации основных электролитов в плазме крови в процессе применения гипертонического раствора магния сульфата у пострадавших с политравмой, которые находились в состоянии гиповолемического шока. *Материалы*

и методы. У 24 пациентов с политравмой, поступивших в клинику в состоянии гиповолемического травматического шока, в условиях операционной проводилась коррекция гемодинамики гипертоническим раствором магния сульфата в физиологическом растворе. 25% раствор магния сульфата вводился внутривенно из расчета $0,35 \pm 0,05$ мл/кг массы тела с целью создания осмотического градиента между внутрисосудистой и интерстициальной жидкостью, а также с целью блокирования поступления натрия и кальция во внутриклеточное пространство. В процессе применения указанной методики изучены изменения содержания электролитов в плазме крови. Опре-

деляли концентрацию магния, калия, кальция, натрия и хлоридов. Кровь для изучения содержания электролитов забирала на следующих этапах: 1) перед применением гипертонического раствора магния сульфата; 2) через 5–10 минут после полного окончания инфузии магния сульфата в физиологическом растворе; 3) через 25–35 минут после полного окончания инфузии магния сульфата в физиологическом растворе; 4) через 1 час после полного окончания инфузии магния сульфата в физиологическом растворе; 5) через 2 часа; 6) через 6 часов; 7) через 24 часа. **Результаты.** Исследование показало, что применение этой методики не было ассоциировано с опасным повышением концентрации магния в плазме крови до уровня 4,0 ммоль/л и более. А значит, не возникла опасность угнетения сердечной деятельности. Высокое содержание магния в плазме крови наблюдали на 2-м этапе исследования — через 5–10 минут после полного окончания ин-

фузии 25% раствора магния сульфата в физиологическом растворе. В среднем концентрация магния составила $2,15 \pm 0,17$ ммоль/л. Такое повышение концентрации магния в плазме крови было закономерно ассоциированное с угнетением сухожильных рефлексов и функции внешнего дыхания. К концу исследования содержание магния в плазме крови постепенно нормализовалось и составило $0,98 \pm 0,09$ ммоль/л. **Выводы.** Быстрое введение в организм высокой дозы ионизированного магния и сульфата приводило по принципу Гэмбла к временному уменьшению концентрации в плазме крови других электролитов. На определенных этапах исследования выявлено достоверное уменьшение содержания в плазме крови калия, натрия, хлоридов. Меньше всего изменялось содержание в плазме крови кальция.

Ключевые слова: магний; магния сульфат; водно-электролитный обмен; гиповолемический шок; политравма

O.V. Biletskyi

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine

Changes in the plasma electrolyte concentration in the conditions of magnesium therapy in patients with traumatic shock on the background of polytrauma

Abstract. Background. The timing of traumatic shock treatment in patients with polytrauma has a serious impact on the number of complications, the length of stay in the intensive care unit and the cost of treatment. Earlier, it was shown that the use of hypertonic solution of magnesium sulfate helps accelerate the stabilization of hemodynamics in patients with polytrauma. The purpose of the study is to determine the concentration of basic electrolytes in the blood plasma when applying hypertonic magnesium sulfate solution in victims with polytrauma who were in a state of hypovolemic shock. **Materials and methods.** In 24 patients with polytrauma, who were admitted to the clinic in a state of hypovolemic traumatic shock, correction of hemodynamics with hypertonic solution of magnesium sulfate in normal saline was performed in the operating room. A 25% solution of magnesium sulfate was administered intravenously at a rate of 0.35 ± 0.05 ml/kg body weight in order to create an osmotic gradient between the intravascular and interstitial fluid, as well as to block the flow of sodium and calcium to the intracellular space. When applying this method, changes in the content of blood plasma electrolytes were studied. The concentration of magnesium, potassium, calcium, sodium and chlorides was determined. Blood for the study of electrolyte content has been taken at the following stages: 1) before using hypertonic solution of magnesium sulfate; 2) 5–10 minutes after infusion of magnesium sulfate in

normal saline was completed; 3) 25–35 minutes after infusion of magnesium sulfate in normal saline was completed; 4) 1 hour after infusion of magnesium sulfate in normal saline was completed; 5) 2 hours after; 6) 6 hours after; 7) 24 hours after.

Results. The study showed that the use of this technique was not associated with a dangerous increase in the concentration of magnesium in the blood plasma to a level of 4.0 mmol/L or more. There was no danger of suppressing cardiac activity. The highest levels of magnesium in the blood plasma were observed at the 2nd stage of the study — 5–10 minutes after infusion of a 25% magnesium sulfate solution in the normal saline was completed. The average concentration of magnesium was 2.15 ± 0.17 mmol/L. Such an increase in blood magnesium level was naturally associated with the inhibition of tendon reflexes and respiratory function. By the end of the study, the magnesium content in the plasma has gradually normalized to 0.98 ± 0.09 mmol/L. **Conclusions.** The rapid introduction into the body of a high dose of ionized magnesium and sulfate led to temporary reduction in the plasma concentration of other electrolytes according to Gamble's principle. At certain stages of the study, a significant decrease in the content of potassium, sodium, chlorides in blood plasma was detected. Blood calcium level has changed the least.

Keywords: magnesium; magnesium sulfate; water-electrolyte exchange; hypovolemic shock; polytrauma