

Роль кислотно-лужної рівноваги в забезпеченні гомеостазу організму під час перебування спортсменів у гірських умовах

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
(м. Івано-Франківськ)*

Постановка наукової проблеми та її значення. Пошук способів удосконалення системи підготовки спортсменів високої кваліфікації до змагань привів до застосування методики тренування в гірських умовах як додаткового засобу підвищення спортивної працездатності. Проте підготовка спортсмена в горах передбачає певний зсув фізіологічних констант організму на фоні природної гіпоксії. Причини появи гіпоксії можуть бути різними, але реактивна відповідь організму має неспецифічний характер і декілька стандартних фаз. Під час кожної з них відбувається послідовне зменшення енергетичних можливостей. Поетапне вимкнення фрагментів дихального ланцюга в міру зниження вмісту кисню в тканинах є пристосувальною реакцією організму на несприятливі умови середовища. Зниження енергопродуруючих функцій клітин до певної межі має зворотний характер, але при інтенсивному розвитку гіпоксії або при значній її тривалості зміни стають незворотними [5].

Усебічне розуміння послідовності різноманітних процесів, що відбуваються в організмі, дає змогу вибрати найбільш раціональні варіанти тренувальної програми, профілактики перетренованості та оптимальні схеми корекції передпатологічних станів. Подібне розуміння проблеми можливе тільки після вивчення цих процесів у клітині на молекулярному рівні [4].

На рівні клітини існують три системи, від взаємодії яких залежить кінцевий результат – чи приведе стресовий вплив тренування на організм до переходу функціонального стану спортсмена на вищий рівень, чи негативно вплине на його здоров'я. Перша система функціонує на рівні клітинних структур, що впливають на зміну клітинного гомеостазу. Друга система пов'язана з механізмами, що обмежують пошкодження клітини при її активації. Третя система спрямована на відновлення внутрішньоклітинного гомеостазу й пошкоджених ділянок клітини. Третя та, мабуть, найважливіша система (особливо впливає на працездатність і тривалість спортивної кар'єри) – енергопродуруюча. Із наростанням обсягу й інтенсивності фізичного навантаження енергетичний запит із боку клітини безперервно зростає на фоні зниження енергопродукції. Робота клітин у несприятливих умовах, особливо при кисневій недостатності, призводить до значного викиду активних форм кисню та відповідає за пошкодження й загибель енергопродуруючих субстанцій – мітохондрій [3; 10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій із цієї проблеми. Мітохондрії – органели клітин, у яких здійснюються основні енергетичні процеси. Сьогодні будова мітохондріального дихального ланцюга та механізм його роботи обговорюються з єдиних позицій у всіх авторитетних виданнях, а чверть століття тому на наукових конференціях відбувалися запеклі суперечки між представниками різних шкіл біоенергетиків. Англійський біохімік Пітер Мітчелл (Mitchell P., 1961) запропонував хемоосмотичну гіпотезу. Кисень є субстратом мітохондріального дихального ланцюга. Дефіцит кисню призводить до обмеження, а при повному припиненні його надходження в організм – до швидкої дезорганізації роботи дихального ланцюга, його мультиферментної системи. Наслідком у цьому випадку стає виснаження клітинних запасів макроергів і пошкодження енергоперетворювальних механізмів. Таку гіпоксію сьогодні прийнято називати біоенергетичною. При порушенні енергетичних потоків настає стан гіпоксії тканин (тканинна гіпоксія) [9].

Гіпоксія є основною причиною блокування клітинного дихання, порушення транспорту вуглеводів у дихальному ланцюгу мітохондрій і недостатності транспорту фосфокреатину [5].

Залежно від причин, що викликають енергетичний дефіцит, розрізняють чотири види гіпоксії. Біоенергетична гіпоксія є обов'язковим етапом у кожному з чотирьох типів гіпоксій. Гіпоксична гіпоксія виникає при зниженні парціального тиску кисню в легених альвеолах, що в спортивній практиці найчастіше спостерігається або при розладах зовнішнього дихання, або при підйомі на висоту в горах [7].

Якщо кисню у вдихуваному повітрі достатньо, процес його утилізації відбувається з виділенням великої кількості енергії та утворенням води. За відсутності кисню накопичується молочна кислота

(по 2 молі на кожен моль глюкози). При розкладанні 1 моля глюкози утворюється 2 молі водню (H^+). Іони водню нейтралізуються в організмі гідрокарбонатом, CO_2 виділяється з повітрям, що видихається, а аніони молочної кислоти займають місце витіснених аніонів гідрокарбонату. Існує багато причин тканинної гіпоксії, але всі вони, в результаті, призводять до утворення молочної кислоти та її накопичення. Нускабее уперше описав синдром, що характеризується різким метаболічним ацидозом, комою й зазвичай призводить до загибелі людини через кілька днів. Він показав, що метаболічний ацидоз пов'язаний зі зростанням рівня лактату та падінням концентрації буферних основ у крові [3].

Гірський клімат висуває особливі вимоги до функціонування організму спортсмена внаслідок зміни парціальних тисків газів атмосфери. Атмосферний тиск знижується в міру зростання висоти, але процентне співвідношення газів у повітрі залишається постійним. Повітря завжди містить 20,94 % кисню, 0,03 % – вуглекислого газу, 78,08 % – азоту, 0,94 % – аргону і 0,01 % – інших газів. Тиск, який створюється молекулами кисню, безпосередньо пов'язаний із щільністю атмосфери. Зміна тиску кисню безпосередньо впливає на циркуляцію кисню між легенями та кров'ю, між кров'ю й клітинами тканин [2].

Завдання дослідження – узагальнити теоретичні відомості про вплив факторів навколишнього середовища гірських умов на гомеостаз організму та деталізувати роль кислотно-лужної рівноваги в його підтриманні.

Для досягнення поставленої мети опрацьовано доступну наукову літературу, що стосується впливу умов навколишнього середовища гірського клімату низько- й середньогір'я на організм спортсменів, вивчення біохімічних зрушень на клітинному рівні та впливу вказаних факторів на внутрішнє середовище організму (гомеостаз).

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Поглинання кисню клітинами м'язів на висоті знижується, але після тривалого перебування в цих умовах дещо збільшується. В організмі виникає низка захисних компенсаторно-приспосувальних реакцій: посилюється серцева діяльність, підвищується активність центральної нервової системи. У відповідь на зменшення парціального тиску кисню у вдихуваному повітрі, стимулюється вентиляція легень. Це призводить до підвищеного виділення вуглекислого газу з організму (CO_2) і, як наслідок, – до респіраторного алкалозу. Відповідно, із крові виділяється й залишається на низькому рівні бікарбонат, знижується буферна ємність крові, змінюється рН крові [8].

рН крові, або так званий водневий показник крові, характеризує рівень концентрації іонів водню в крові. Справжня кислотність залежить від активності та концентрації іонів водню (H^+), а лужна реакція (реакція основ) – від концентрації іонів гідроксилу (OH^-). рН нейтрального розчину дорівнює 7, рН кислого розчину < 7 , рН лужного розчину > 7 . У здоровому організмі рН коливається у вузьких межах – 7,35–7,45 за рахунок постійного утворення в процесі обміну речовин лужних і кислотнореагуючих сполук. Зниження рН крові (зміна кислотно-лужної рівноваги в кислий бік) змінює властивості білків і є загрозою їх руйнування. У спортсменів високого класу (майстри спорту й вище) закислення крові, що виникає внаслідок виконання роботи субмаксимальної потужності на відповідальних змаганнях, може бути несумісне із життям. Тому в організмі людини існують потужні механізми підтримки рН крові на сталому рівні – буферні системи крові [8].

У деяких наукових роботах автори рекомендують здійснювати контроль за ефективністю тренувального процесу на основі оцінки комплексу параметрів, серед яких важливу роль відіграють показники кислотно-лужної рівноваги (КЛР). Кислотно-лужна рівновага є одним з основних показників, що характеризують функціонування організму як єдиного цілого, зберігаючи постійність внутрішнього середовища – гомеостаз. Регуляторними системами, що забезпечують цю постійність, є буферні системи – бікарбонатна, гемоглобінова, фосфатна, – а також білки сироватки крові. Велике значення в регуляції стану КЛР має виділення вуглекислого газу (CO_2) легенями. Парціальний тиск вуглекислого газу крові (PCO_2) є фактично єдиним показником дихальної частки КЛР. При фізичному навантаженні збільшується вміст кислих продуктів обміну, які викликають зрушення КЛР крові. Ступінь змін КЛР залежить від тривалості та інтенсивності фізичного навантаження, а також від функціонального стану організму в цілому [8].

Інформативність показників КЛР має важливе значення в представників тих видів спорту, де спортивний результат значною мірою визначається рівнем активності механізмів енергетичного забезпечення роботи та значною роллю гліколітичних (лактатних) механізмів утворення енергії [7].

Гліколітичний механізм енергозабезпечення пов'язаний із проявом так званої лактатної витри-валості. Найбільшою мірою цей анаеробний механізм ресинтезу АТФ проявляється у вправах суб-

максимальної інтенсивності, що тривають від 20–30 с до 2–3 хв. Гліколітичні можливості організму залежать від запасів вуглеводів, що містяться у вигляді глікогену в м'язах (300–400 г), печінки (40–70 г) та у вигляді вільної глюкози в крові й у позаклітинній рідині (25–30 г). Також гліколітичні можливості залежать від здатності організму протистояти несприятливим змінам у ньому у зв'язку з накопиченням значних кількостей молочної кислоти [6].

Оскільки основним способом отримання енергії в гліколітичному режимі є цикл Кребса (цикл послідовного перетворення глюкози в піровиноградну, лимонну, глютамінову, янтарну, мурашину, яблучну, молочну кислоти з подальшим окисненням їх до CO_2 і H_2O), молочна кислота (лактат) є кінцевим продуктом, що при наростанні концентрації “закислоє” організм, тобто зрушує КЛР внутрішнього середовища в кислий бік, а нейтралізація лактату здійснюється буферними системами й залежить від їх ємності [3].

Буферна ємність крові та тканин зменшується зі збільшенням висоти. Проте існують роботи, у яких дослідники стверджують про те, що на середніх висотах буферна ємність крові не змінюється. У процесі адаптації до гіпоксії, при компенсації респіраторного алкалозу відбувається посилене виведення бікарбонатів із сечею. Це знижує лужний резерв і зменшує буферну ємність крові, що, зі свого боку, призводить до зниження здатності переносити кисневу недостатність та, у підсумку, може негативно позначатися на працездатності при всіх видах спортивної діяльності, що виконуються на тлі розвитку кисневої заборгованості організму. Однак із настанням акліматизації буферна ємність крові збільшується. Це стає одним із факторів, що обумовлюють підвищення працездатності [8, 6].

На помірних висотах під впливом гіпоксії початкове посилення вентиляції легенів приводить до підвищення рН крові, зумовленого зниженням PCO_2 , під впливом обох цих реакцій вентиляція пригнічується, що, зі свого боку, веде до зворотного підвищення PCO_2 і зниження рН, що разом із одночасним зменшенням концентрації бікарбонатів у плазмі крові у зв'язку з їх посиленим виведенням нирками знову стимулює вентиляторну реакцію з поступовим наближенням її до остаточної величини по завершенні акліматизації [5].

Зниження внутрішньоклітинного рН, викликане збільшеною концентрацією лактату, перешкоджає м'язовому скороченню, знижує здатність м'язів до підтримання сили. Накопичення кислих продуктів обміну речовин у процесі напруженої фізичної роботи зумовлене, насамперед, невідповідністю між кисневим запитом і його споживанням, що й призводить до збільшення вмісту лактату в крові й зниження рН [7; 11].

Легені беруть участь у регуляції кислотно-лужного гомеостазу, оскільки вони регулюють обмін вуглекислоти. Хемочутливі рецептори головного мозку та каротидного синусу реагують на зміни парціального тиску O_2 і вуглекислоти в крові. Гіпоксемія й гіперкапнія призводять до збільшення вентиляції легень. Нирки також беруть участь у регуляції рН, оскільки вони не тільки екскретують некарбоніві кислоти, але й регенерують гідрокарбонат (HCO_3), оновлюючи запас бікарбонату в буферній системі крові [5].

Результатом м'язової активності також є накопичення продуктів дезамінування. Аміак, який з'являється в крові при м'язовій роботі, утворюється в результаті відщеплення іона амонію від АМФ. Цей процес потрібний для повноцінного процесу ресинтезу АТФ із двох молекул АДФ за допомогою ферменту аденілат-кінази. Накопичення аміаку призводить до посилення утворення лактату. Отже, утворюється хибне коло, що викликає зниження скоротливої здатності м'язів, пошкодження структурного білка м'язів – руйнування міофібрил і, як наслідок, дистрофічні прояви в системах та органах, що лімітують тривалу працездатність. Для посилення виділення аміаку з організму через прискорення використання його в синтезі сечовини в спортивній медицині використовують два варіанти: а) уведення бікарбонатів для використання CO_2 у синтезі сечовини (підвищення буферної ємності – бікарбонатної); б) прискорення циклу синтезу сечовини додаванням проміжних продуктів циклу – амінокислот (аргініну, орнітину, цитруліну) [4].

Для підтримання КЛР організму важливе значення має збереження водно-сольового балансу. Тривале фізичне навантаження й виражений дефіцит рідини можуть призвести до порушення електrolітного балансу, зміни КЛР. При втраті рідини в спортсмена з'являються певні патологічні симптоми: утрата 1 % рідини від загальної маси тіла призводить до виникнення відчуття спраги; 2 % – зниження витривалості; 3 % – зниження сили; 5 % – зниження слиновиділення й сечоутворення, збільшення ЧСС, розвитку апатії, м'язової слабкості, нудоти [5; 9].

Виконання навантажень із рясним потовиділенням може призвести до загальної втрати до 5–6 л рідини на добу. Це призводить до стану зневоднення організму не тільки під час тренувань в умовах жаркого клімату, погано вентильованих спортивних залів, а й при тренуванні в горах. Як наслідок, відбувається значне зниження аеробної потужності роботи. Зневоднення викликає електролітний дисбаланс у всіх рідинних системах організму. Значна втрата електролітів призводить до порушення проведення нервових імпульсів до клітин, при цьому підвищується рівень глюкози в крові за рахунок збільшення швидкості утилізації глікогену в печінці (як опосередкована реакція на зневоднення) і виснаження його запасів [1; 6].

Висновки. Глибоке розуміння процесів, що відбуваються в організмі спортсменів, а особливо в тих, які тренуються в умовах гіпоксії (штучної чи природної), дасть можливість кваліфікованим тренерам уникати таких небажаних наслідків, як порушення адаптації до умов навколишнього середовища, виникнення явищ дезадаптації та перетренування. Використання наукового підходу під час побудови тренувального процесу на всіх етапах тренувань дасть змогу не тільки правильно будувати зміст тренувань, але й використовувати додаткові (можливо й позатренувальні) засоби для підвищення їх ефективності. Такий комплексний підхід до організації тренувань в умовах гір забезпечить підвищення якості тренувального процесу та, як наслідок, – до підвищення результативності змагальної діяльності.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом у цій галузі є пошук економічно обґрунтованих, високоефективних, фізіологічно доцільних додаткових методів і засобів, що можуть використовуватися в тренувальному процесі в умовах гірського клімату.

Список використаної літератури

1. Аванесов В. У. Физические средства восстановления в спорте : монография / Аванесов В. У. – Воронеж : Изд-во "Истоки", 2006. – 296 с.
2. Бреслав И. С. Дыхание и работоспособность человека в горных условиях / И. С. Бреслав, А. С. Иванов. – Алма-Ата : Гылым, 1990. – 181 с.
3. Кулиненко О. С. Анаэробный метаболизм, возможности коррекции: Актуальные проблемы спортивной медицины / О. С. Кулиненко // Труды Самарской областной федерации спортивной медицины. – Т. 1. – Самара, 1998. – С. 39–41.
4. Мохан Р. Биохимия мышечной деятельности и физически тренировки : пер. с англ. / Р. Мохан, М. Глессон, П. Гринхафф. – Киев : Олимпийская лит., 2001. – 296 с.
5. Платонов В. Н. Гипоксическая тренировка в спорте / В. Н. Платонов, М. М. Булатова // *Nuroxia medical*. – М. : [б. и.], 1995. – С. 17–23.
6. Радзівський П. О. Механізми адаптації до нормобаричної гіпоксії в курсі інтервального гіпоксичного тренування у висококваліфікованих спортсменів / П. О. Радзівський // *Фізіол. журн.* – 2005. – № 2. – С. 90–96.
7. Сметанин В. Я. Гипоксия нагрузки и интервальная гипоксическая тренировка / Сметанин В. Я. – М. : Спринт, 2000. – 130 с.
8. Уилмор Дж. Х. Физиология спорта и двигательной активности / Дж. Х. Уилмор, Д. Л. Костилл. – Киев : Олимпийская лит., 1997. – 500 с.
9. *Фізіологія спорту і фізичного виховання : довід. для студ.* / Л. С. Вовканич, Д. І. Бергтраум, З. І. Коритко, Е. Ф. Кулітка. – Л. : Укр. технології, 2010. – 23 с.
10. Физиологические критерии нормирования тренировочных и соревновательных нагрузок в спорте высших достижений / Н. И. Волков, О. И. Попов, Т. Габрысь // *Физиология человека*. – 2005. – Т. 31. – № 5. – С. 125–134.
11. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии / [Н. А. Агаджанян, И. Н. Полунин, В. Н. Поляков, В. К. Степанов]. – Астрахань ; Москва : [б. и.], 2001. – 124 с.

Анотації

Регуляторними системами, що забезпечують сталість кислотно-лужного середовища організму, є буферні системи: бікарбонатна, гемоглобінова, фосфатна, а також білки сироватки крові. Буферна ємність крові та тканин зменшується зі збільшенням висоти, що обумовлює забезпечення адекватної акліматизації. Із настанням акліматизації буферна ємність крові збільшується, що обумовлює підвищення працездатності. Результатом м'язової активності є також накопичення продуктів дезамінування. Накопичення аміаку призводить до посилення утворення лактату. Для підтримання кислотно-лужної рівноваги організму важливе значення має збереження водно-сольового балансу. Тривале фізичне навантаження й виражений дефіцит

рідини можуть призвести до порушення електролітного балансу, зміни кислотно-лужної рівноваги. Інформативність показників кислотно-лужної системи має важливе значення в представників тих видів спорту, де спортивний результат визначається рівнем активності механізмів енергетичного забезпечення роботи та значною роллю гліколітичних механізмів утворення енергії.

Ключові слова: гіпоксія, кислотно-лужна рівновага, спортсмени, тренування.

Дмитрий Пятничук. Роль кислотно-щелочного равновесия в обеспечении гомеостаза организма во время пребывания спортсменов в горных условиях. Регуляторными системами, обеспечивающими постоянство кислотно-щелочной среды организма, являются буферные системы: бикарбонатная, гемоглобиновая, фосфатная, а также белки сыворотки крови. Буферная ёмкость крови и тканей уменьшается с увеличением высоты, что обуславливает обеспечение адекватной акклиматизации. С наступлением акклиматизации буферная ёмкость крови увеличивается, что обуславливает повышение работоспособности. Результатом мышечной активности есть также накопление продуктов дезаминирования. Накопление аммиака приводит к усилению образования лактата. Для поддержания кислотно-щелочного равновесия организма важное значение имеет сохранение водно-солевого баланса. Длительная физическая нагрузка и выраженный дефицит жидкости может привести к нарушению электролитного баланса, изменения кислотно-щелочного равновесия. Информативность показателей кислотно-щелочной системы имеет важное значение у представителей тех видов спорта, где спортивный результат определяется уровнем активности механизмов энергетического обеспечения работы и значительной ролью гликолитических механизмов образования энергии.

Ключевые слова: гипоксия, кислотно-щелочное состояние, спортсмены, тренировка.

Dmitriy Pyatnichuk. The Role of Acid-Base Balance in Providing of Organism's Homeostasis During Sportsmens' Being in Mountains. Regulatory system, which provide continuity of acid-alkaline environment of a body are a buffer systems: bicarbonate, hemoglobin, phosphate and serum proteins. The buffer capacity of blood and tissues decreases with increasing altitude which leads to provision of adequate acclimatization. With an onset of acclimation buffer capacity of blood increases, this leads to increased efficiency. The result of muscle activity is accumulation of products of deamination. Accumulation of ammonia leads to increased formation of lactate. To maintain acid-alkaline balance of a body it is important to preserve water-salt balance. Prolonged physical activity and a pronounced shortage of liquid may cause electrolyte balance, changes in acid-base balance. The informative value of the acid-base system is important for representatives of those sports where athletic performance is determined by the level of activity of mechanisms of energy supply and significant role of mechanisms of glycolytic energy.

Key words: hypoxia, acid-base status, athletes, training.