
ФІЗІОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІД ВПЛИВОМ НАВАНТАЖЕНЬ

Семенець Наталія, Петлюк Тетяна

Резюме. Проблема оптимального управління тренувальним процесом є дуже актуальною. Визначено, що в бегових видах спорту обсяг і інтенсивність тренувальної роботи досягає рівня, близького до границі функціональних можливостей організму.

Підтверджено, що під впливом систематичної м'язової роботи в організмі спортсменів відбувається формування нової програми реагування, яка підвищує їх загальні потенціальні можливості адаптації до фізичних навантажень різного обсягу та інтенсивності.

Ключові слова: функціональні системи, енергообеспечення, навантаження, м'язова діяльність.

Summary. At the present stage of development of sports problem of optimal control training process is very important. Athletics was widespread throughout the world and is an Olympic sport. In running sports training volume and intensity of work brought to a level close to the limit of functionality of the body. Under the influence of systematic muscular exercise in athletes occur forming the body of the new program response, which increases their overall potential for adaptation to exercise different volume and intensity.

Keywords: functional systems, power supply, load, muscular activity.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Спрямованість фізичних навантажень значною мірою визначається інтенсивністю (чи потужністю) виконання вправи. Так, за структурою рухів вправа залежно від потужності роботи може виконуватися з різним переважним енергозабезпеченням, що пов'язано зі залученням різних типів волокон. Під час навантаження невисокої потужності працюють переважно повільноскорочувальні (ПС-волокна), при збільшенні потужності починають залучатися швидкоскорочувальні (ШС-волокна), а при наближенні до максимальної і максимальної задіяються ШСб-волокна [4]. Інтенсивність визначає і максимально можливу тривалість роботи. Крім типу волокон, характер енергозабезпечення визначається можливостями киснево-транспортної системи. Це проявляється в тому, що в присутності кисню аеробне енергозабезпечення здійснюється переважно за допомогою гліколізу (ефект Пастера) [10], тобто починають максимально використовуватися наявні в клітині механізми аеробного ресинтезу АТФ. Він відбувається у креатинфосфокиназній реакції, а приблизно до 15–45 с роботи максимуму досягає гліколіз [9], на кінцевій стадії якого при нестачі кисню утворюється молочна кислота, що розщеплюється на лактат й іони водню (H⁺). Унаслідок кумуляції іонів водню змінюється кислотно-лужний баланс саркоплазми – збільшується кислотність середовища. Вже при внутрішньоклітинному рН – 6,9 (у стані спокою рН – 7,1) гальмується дія фосфоглюкокінази, гліколітичного фермента, сповільнюється інтенсивність гліколізу й утворення АТФ. При рН – 6,4 вплив іонів вод-

ню припиняє подальше розщеплення глікогену, спричиняючи різке зниження рівня АТФ, і як наслідок, виникає стомлення. Крім того, іони водню можуть витіснити кальцій із волокон, знижуючи скорочувальну силу м'язів [4] й активність однієї з ізоформ АТФ-ази міозину [7]. Зміні кислотно-лужного балансу протистоять буферні системи м'язових волокон і крові, але можливості їх обмежені. Зниження кислотно-лужного балансу крові під час фізичного навантаження сприяє активації дихального центру і посиленню легеневої вентиляції; цей ефект спрямований на нормалізацію рН крові. При досягненні необхідної продуктивності функціонування киснево-транспортної системи, у випадку якщо зміни кислотно-лужного балансу не досягли критичних величин, робота на даному рівні потужності продовжується до тих змін у ланках домінуючої функціональної системи, при яких виконання певної вправи з даною інтенсивністю стає неможливим. Зміни кислотно-лужного балансу, що виникли раніше, залежно від резервів киснево-транспортної системи, величини наявних змін та від потужності триваючої роботи будуть коливатися у бік збільшення чи зменшення кислотності [1]. Величина зміни кислотно-лужного балансу під час фізичного навантаження залежить від потужності роботи, того, яким обсягом м'язових волокон вони виконуються і локалізації роботи, співвідношенням різних типів м'язових волокон у робочих м'язах (ці фактори визначають загальний обсяг робочих м'язів і відсоток вмісту в ньому різних типів м'язових волокон), а також можливостями гліколітичного й окисного механізмів енергозабезпечення у всіх робочих м'язових волокнах

та можливостями киснево-транспортної системи, буферних механізмів. Подальше навантаження на приблизно однаковому рівні функціонування працюючих м'язів і киснево-транспортної системи в міру вичерпання енергетичних джерел буде впливати на зміну структури, відповідальної за адаптацію функціональної системи. Зниження вмісту глікогену в робочих м'язових волокнах буде сприяти збільшенню використання глюкози крові, глікогену печінки і триглицеридів, що у свою чергу збільшить рівень функціонування механізмів, які забезпечують ці процеси [4, 6].

Дослідження виконано згідно зі Зведеним планом НДР у сфері фізичної культури і спорту Міністерства України у справах сім'ї, молоді та спорту «Теоретико-методичні основи підготовки спортсменів високої кваліфікації в умовах професіоналізації (на прикладі легкої атлетики)» (номер держреєстрації 0111 U001721).

Мета дослідження – дати фізіологічну характеристику формування функціональних систем під впливом навантажень.

Результати дослідження та їх обговорення. Спрямованість вправи визначається структурою домінуючої в адаптації функціональної системи, розподілом навантаження на ланки цієї системи. Основний напрямок вправи буде визначати ті ланки домінуючої системи, які несуть найбільші стосовно своїх граничних можливостей (з урахуванням усіх параметрів) навантаження.

Як було зазначено вище, структура функціональної системи і розподіл навантаження на ланки системи залежить від потужності вправи, тривалості її виконання і від структури виконуваних рухів (біг, плавання, їзда на велосипеді – у роботу задіяні різні м'язи тіла та інші складові функціональної системи) [2–4].

Фенотипічні особливості домінуючої системи, та її морфофункційний стан також значною мірою впливають на на структуру і розподіл навантаження на ланки в даній системі на момент початку вправи, так і на динаміку структури і розподіл навантаження на ланки системи під час виконання вправи в міру зміни функціонального стану.

При термінових адаптаційних реакціях структурні зміни відбуваються на субклітинному й молекулярному рівнях, і пов'язані зі збільшенням рівня функціонування клітин [8]. Зміни такого характеру протікають у зв'язку постійному, з неперервністю взаємодії організму із середовищем, і тільки обсяг даних змін залежать від посилення чи послаблення взаємодії з яким-небудь фактором середовища. Проте стартовий рівень морфологічних рис індивідуума, що сформувався у процесі всієї попередньої життєдіяльності, цілком визначає межі функціонування організму при терміновій адаптації, структуру домінуючої функціональ-

ної системи та рівень розподілу навантаження на її ланки.

Генотипічні особливості безпосередньо незначно впливають при термінових адаптаційних реакціях на структуру домінуючої в адаптації функціональної системи і на розподіл навантаження на ланки цієї системи, а відповідно і на спрямованість виконуваної вправи. Вплив генотипу виявляється через експресію генів і може бути пов'язаний із синтезом визначених білків, переважно ферментів, *de novo* (синтез білка *de novo* – синтез білка на РНК у рибосомі), особливо тих, які піддаються розпаду під дією кінцевих продуктів реакції [3, 8] за умови, що час виконання вправи перевищує час необхідний на синтез даних білків. Основний вплив генотипічних особливостей індивідуума відбувається опосередковано, через вже сформовані в процесі всієї попередньої життєдіяльності фенотипічні особливості організму. Доцільним прикладом у даному випадку можуть бути результати спортсменів екстракласу, що забезпечуються терміновими реакціями організму даних індивідуумів. Зрозуміло, що при виконанні однакових вправ спортсменом екстракласу та спортсменом масових розрядів як структура домінуючої в адаптації функціональної системи, так і розподіл навантаження на ланки цієї системи будуть відрізнятися, а відповідно і спрямованість дії вправи буде неоднаковою [2, 6].

Залучення різних м'язових груп залежить від структури виконуваної вправи (біг, плавання, нахили вперед, присідання, підняття по штурмовим сходами), хоча у вправах можуть бути схожі рухи, відповідно при виконанні цих рухів будуть залучені м'язи тих самих груп. Кількість м'язових волокон, що залучаються в роботу, від загального обсягу в м'язі й інтенсивність роботи самих волокон залежить від потужності виконуваної вправи: чим більше потужність, тим більший від загального обсягу відсоток волокон залучається в роботу [4]. Варто враховувати, що при зміні інтенсивності техніки вправи, а відповідно і залучення в роботу різних м'язів тіла, може змінюватися. Обсяг м'язових волокон, що залучаються, залежить, так само від стану самих цих волокон. При виконанні тієї самої вправи однією людиною після повного відновлення і на тлі стомлення, що розвивається у волокнах робочих м'язових груп, в одному і тому ж м'язі може залучатись в роботу різна кількість рухових одиниць, а відповідно і волокон. Це обумовлено тим, що ЦНС для компенсації стомлення у робочих м'язових волокнах починає рекрутувати додаткові рухові одиниці. Даний ефект досягається збільшенням частоти імпульсації до працюючих м'язів [9]. При виконанні вправ дуже великої потужності, наприклад, жим штанги, присідання зі штангою тощо, коли долається опір, близький до максимального для даного індивідуума, обсяг рекрутуючих волокон залежить від здатності ЦНС мобілізувати рухові одиниці. Зокрема

під час максимальних силових навантажень у нетренованих людей рекрутується не більш 50 % загального обсягу м'язових волокон, тоді як у добре тренованих до силових навантажень, у вправах за структурою рухів близьких до тих, що виконуються на змаганнях, рекрутується більш 80 – 90 % загального обсягу [9]. Здатність ЦНС рекрутувати м'язові волокна може знизитися через стомлення, розвиненого у її відділах, відповідальних за мобілізацію цих волокон, або у відділах периферичної нервової системи, що проводять нервовий імпульс до цих м'язів [4].

Відповідно до теорії функціональних систем П. К. Анохіна [11], провідним фактором визначення структури функціональної системи й інтенсивності функціонування ланок цієї системи є майбутній результат діяльності цієї системи. Скелетні м'язи є практично основною виконавчою ланкою активної взаємодії організму із середовищем. Всі інші ланки системи забезпечують дію кісткової мускулатури. Так, ЦНС, оцінюючи навколишнє середовище, деякою мірою стан органів і систем організму, і на основі попереднього досвіду відповідно до параметрів майбутньої дії формує функціональну систему, визначає її склад і навантаження на складові ланки (крім ЦНС склад домінуючої системи і навантаження на її ланки регулюються біохімічною взаємодією в клітині: активація ферментів субстратом й інгібування кінцевим продуктом реакції або ряду послідовних реакцій). В процесі виконання вправи ЦНС безупинно оцінюється виконувана дія і зіставляє її параметри з моделлю, і постійно вносить корективи. Крім параметрів самої дії ЦНС, безперервно одержує інформацію про стан органів і тканин складових домінуючої системи і здійснює постійну корекцію складу системи та розподіл навантаження на її компоненти. На субклітинному та молекулярному рівнях динаміка участі структур та розподіл навантаження на них визначаються фізико-хімічними закономірностями [2–6]: алостерична регуляція активності ферментів, кінетика ферментативних реакцій, компартиментация клітинних структур і т. д. Однак основним виконавчим механізмом активної взаємодії організму із середовищем є кісткові м'язи. Параметри будь-якого руху залежать від особливостей середовища, у якому він виконується, від фізичних характеристик тіла, що рухається, від напрямку і величини дії сил, що надають позитивний чи негативний вплив на рух об'єкта. Модель майбутньої дії у людини здебільшого будується з урахуванням умов навколишнього середовища (обстановочна аферентація), і сама дія відбувається з урахуванням цих умов, а кінцевий результат залежить від можливостей самої людини. Фізичні характеристики людини (зокрема маса, обсяг), що виконує рух або окремих частин

її тіла, відносно стабільні, і за період виконання дії не змінюються настільки, щоб значно вплинути на кінцевий результат. Зовнішня дія сил під час руху враховується людиною більшою чи меншою мірою (залежить від частоти виконання цієї дії у даних умовах) при формуванні моделі планованого руху, чи при корекції вже виконуваної вправи. Перераховані вище фактори, хоча і впливають на виконувану людиною дію, але не відтворюють сутності самого руху, а тільки допомагають їй, або створюють перешкоди [6, 7]. З погляду самої людини, основним механізмом, утворюючим рух, є його опорно-руховий апарат. Такі його складові, як кістки, суглоби всі види з'єднання кісток, зв'язки, сухожилля й особливості їхнього з'єднання хоча і створюють основу біомеханіки рухів, але мають відносно незмінні при нормальних умовах характеристики, які не спричиняють порушень, характеристики, що здатні проявитися тільки при функціонуванні скелетних м'язів у визначених умовах середовища. Тобто людина за час виконання вправи не в змозі значно змінити їхній обмежуючий вплив. Залишається один основний фактор, що визначає параметри рухів, і на який людина постійно і безупинно (лімітується періодом реакції на різні фактори зовнішнього і внутрішнього середовища) може впливати – це скелетні м'язи. Всі інші фактори, що визначають параметри рухів, переважно враховуються при виконанні яких-небудь дій, або свідомо перетворюються людиною для зміни умов, у яких виконуються ці дії, наприклад, виконання вправ з обтяженнями, виконання вправ у водному середовищі, подолання перешкод, використання сили земного тяжіння в гірськолижному, санному спорті, але ці зміни середовища використовуються для створення особливих умов, у яких буде виконуватися рух, особливих умов для функціонування скелетної мускулатури [5, 7]. Причому дуже часто людина не в змозі оперативної змінити, і взагалі змінити, умови середовища, в якому вона здійснює свою діяльність. Тому залишається один фактор, що визначає параметри рухів, який підлягає постійній корекції – це режим функціонування кісткових м'язів. Як ми бачимо, параметри функціонування кісткової мускулатури є в більшості випадків свідомого руху людини еквівалентом цього руху, тобто, зовнішні характеристики (швидкість, потужність, траєкторія руху, переміщення самої людини в просторі, переміщення їм різних предметів) є підсумком роботи скелетної мускулатури. Узагалі ж найбільший обсяг активної взаємодії з навколишнім середовищем, впливу на середовище, освоєння і підкорення навколишнього простору здійснюється за рахунок роботи скелетної мускулатури (визначений обсяг дій щодо освоєння навколишнього середовища лю-

дина робить з використанням різних механізмів, рушійної сили тварин). І практично робота всіх органів і систем людини спрямована на забезпечення даного процесу, головним виконавчим механізмом якого є скелетні м'язи. Це відзначав і І. А. Аршавський [12], сформулювавши енергетичне правило скелетних м'язів: «Розвиток нервової системи, рівень діяльності вегетативної системи різних органів дихання, кровообігу, виділення, навіть травлення й особливості утворення фенотипічних рис соматотипів знаходяться у прямій залежності від особливостей функціонування і розвитку скелетних м'язів, регуляція діяльності якої в усі вікові періоди ґрунтується на принципі домінанти» [13]. Це пояснюється тим, що найбільше навантаження в процесі нормальної життєдіяльності ці органи й системи випробовують у періоди інтенсивної рухової активності, а такі системи, як видільна та травна, підтримують і забезпечують функціонування даних функціональних систем. Навіть свідома діяльність людини значною мірою спрямована на освоєння навколишнього світу і останнім часом все більше без істотної участі в цьому процесі скелетних м'язів.

Висновки:

1. При роботі скелетних м'язів параметри функціонування інших ланок домінуючої функціональної системи залежать від параметрів, що характеризують роботу самих м'язів: загальна кількість м'язових волокон, залучених до роботи; інтенсивність функціонування кожного з них; загальна тривалість роботи (при стомленні можуть рекрутуватися додаткові рухові одиниці), співвідношення в загальному обсязі різних робочих волокон типів (зокрема ПС-волокон, ШСа- і ШСб-волокон), фенотипічні особливості волокон.

2. Крім екзогенних факторів середовища, склад домінуючої в адаптації функціональної системи та розподіл навантаження на її ланки визначаються фенотипічними особливостями

всіх її ланок. Так зміна стану однієї якої-небудь ланки, за умови, що система повинна функціонувати з однаковими характеристиками, спричиняє обов'язкову зміну структури даної системи та розподілу навантаження на функціонуючі ланки. Причому, якщо на органному і тканинному рівнях це може виявлятися тільки зміною навантаження (при незначних зрушеннях), без зміни якісного складу, то на субклітинному та молекулярному рівні й кількісними і якісними змінами.

3. При недостатньому розвитку аеробних механізмів енергозабезпечення у волокнах скелетних м'язів недостатній рівень АТФ у роботі компенсується гликолітичним механізмом ресинтезу АТФ і меншою мірою міокиназною реакцією. Саме тому під час бігу з максимальною інтенсивністю якої-небудь однакової дистанції різними людьми з різним рівнем тренуваності, або спортсменами, які спеціалізуються з бігу на різні дистанції, чи одним і тим самим спортсменом, але в стані стомлення чи відновлення домінуючої в даному випадку системи, тобто в осіб з різними фенотипічними рисами даних систем, внесок основних механізмів енергозабезпечення в загальний потенціал енергії для роботи робочих м'язів буде неоднаковим. Однак загальні норми з урахуванням біохімічних і фізіологічних особливостей для функціонування різних механізмів енергозабезпечення вже встановлені. Вони і визначають ті характеристики навантажень за потужністю, інтенсивністю і тривалістю, а також характер відпочинку, що використовуються для розвитку тих чи інших структур, відповідальних за забезпечення енергією скорочення кісткових м'язів.

Перспективами подальших досліджень є детальне вивчення функціональної системи кваліфікованих легкоатлеток, які спеціалізуються з бігу на середні дистанції.

Література

1. Анохин П. К. Достижения современной физиологии. Обзорные чтения Московского физиологического общества / П. К. Антохин; Всесоюз. физиологич. о-во им. И.П. Павлова при АН СССР; Моск. физиол. о-во. – М.: Наука, 1970. – 315 с.
2. Аршавский И. А. Функциональные особенности сердца при физических нагрузках в возрастном аспекте / И. А. Аршавский. – Ставрополь, 1977. – 167 с.
3. Белоцерковский З. Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов / З. Б. Белоцерковский. – М.: Сов. спорт, 2005. – 312 с.
4. Березов Т. Т. Биологическая химия: учеб. для студ. мед. ин-тов / Т.Т. Березов, Б. Ф. Коровкин / Т. Т. Березов, Б. В. Коровкин; под ред. С.С. Дебова. – М.: Медицина, 1983. – 752 с.
5. Козлов В. И. Микроциркуляция при мышечной деятельности / В. И. Козлов, И. О. Тупицын. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 135 с.
6. Методы клинических и функциональных исследований в физкультуре и спорте: метод. рек. / сост. С. Н. Афанасьев, О. Л. Луковская, Е. П. Мызников. – Днепропетровск, 2012. – 45 с.
7. Павлов С. Е. Физиологические основы подготовки квалифицированных спортсменов: учеб. пособ. для студ. вузов физ. культуры / С. Е. Павлов; МГАФК. – Малаховка, 2010. – 88 с.

8. *Платонов В. Н.* Общая теория подготовки спортсменов в олимпийском спорте / В. Н. Платонов. – К.: Олимп. лит., 1997. – 583 с.
9. *Петер Я.* ЧСС, лактат и тренировки на выносливость / Я. Петер; пер. с англ. – Мурманск: Тулома, 2006. – 160 с.
10. *Ухтинский А. А.* Собрание сочинений / А.А. Ухтинский. – Л.: Изд-во Ленун-та., 1954. – Т. IV. – 230 с.
11. *Wilmore J. H.* Physiology of sport and exercise / J. H. Wilmore, D. L. Costill. – Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2004. – 726 p.
12. *De Vries H. A.* Physiology of Exercise / H. A. Vries, T. I. Housh. – Madison, Wisconsin: WSB Brown and Denmark Publ., 1994. – 636 p.
13. *Huijing P. A.* Elastic Potential of Muscle / P. A. Huijing // Strength and Power in Sport. – Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1992. – P. 151 – 168.

References

1. *Anokhin P. K.* The achievements of modern physiology. Reviewing readings of Moscow physiological Society / P. K. Anokhin / I. P. Pavlov All-Union. Physiological society at the Academy of Sciences of the USSR; Moscow physiological society. – Moscow: Nauka, 1970. – 315 p.
2. *Arshavskii I. A.* Functional features of heart under physical loads with relation to the age / I. A. Arshavskii. – Stavropol, 1977. – 167 p.
3. *Belotserkovskii Z. B.* Ergometric and cardiac criteria of physical performance in athletes / Z. B. Belotserkovskii. – Moscow: Soviet sport, 2005. – 312 p.
4. *Berezov T. T.* Biological chemistry: textbook. for students of medical institutes / T. T. Berezov, B. F. Korovkin / ed. by S. S. Debov. – Moscow: Meditsina, 1983. – 752 p.
5. *Kozlov V. I.* Microcirculation during muscular activity / V. I. Kozlov, I. O. Tupitcin. – Moscow: Fizkultura i sport, 1982. – 135 p.
6. *Methods for clinical and functional studies in physical education and sport: methodical recommendations* / Composed by S. N. Afanasiev, O. L. Lukovskaia, E. P. Myznikov. – Dnepropetrovsk, 2012. – 45 p.
7. *Pavlov S. E.* Physiological basis for the preparation of qualified athletes: textbook for students of physical education universities / S. E. Pavlov; MGAFK. – Malakhovka, 2010. – 88 p.
8. *Platonov V. N.* General theory of athletes' training in the Olympic sports / V. N. Platonov. – Kiev: Olympic literature, 1997. – 583 p.
9. *Peter Ya.* Heart rate, lactate and endurance training / Peter Ya. Transl. from English. – Murmansk: Tuloma, 2006. – 160 p.
10. *Ukhtinskii A. A.* Collected Works / A. A. Ukhtinskii. – Leningrad: Publ. house of Leningrad university, 1954. – Т. IV. – 230 p.
11. *Wilmore J. H.* Physiology of sport and exercise / J. H. Wilmore, D. L. Costill. – Champaign, Illinois: Human Kinetics, 2004. – 726 p.
12. *DeVries H. A.* Physiology of exercise: For physical education, athletics and exercise science / H. A. DeVries, T. J. Housh. – Madison, Wisconsin: WSB Brown & Benchmark Publ. , 1994. – 636 p.
13. *Huijing P. A.* Elastic potential of muscle / P. A. Huijing // Strength and power in sport / ed. by P. V. Komi. – Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1992. – P. 151–168.