

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ

УДК 612.745.5

М. В. Сидоренко

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ М'ЯЗОМ ПРИ ПОВТОРНИХ ІЗОТОНІЧНИХ ТЕТАНУСАХ

Ефективність роботи м'язів при одиничних скороченнях оцінюється по змінах ККД, який обчислюється за формулою $\frac{W}{H+W}$ де W — виконана м'язом робота, $H+W$ — сума початкового теплоутворення та роботи [10].

При ізотонічних тетанусах такий підхід до оцінки ефективності роботи м'яза має два обмеження. По-перше, процеси гліколізу та окислювального фосфорилування активуються ще в ході тетанусу, що значно утруднює визначення початкового теплоутворення та його суми з величиною роботи. Крім того, при ізотонічних тетанусах різної тривалості необхідно ураховувати крім динамічної, ще й різну статичну роботу м'язів при тетанусі.

Було запропоновано [2] оцінювати ефективність роботи м'язів при ізотонічних тетанусах однакової тривалості та різному навантаженні на м'яз за величиною його теплоутворення на одиницю ваги вантажу та одиницю переміщення: $E\phi = \frac{Q}{P \cdot l}$, де Q — загальне теплоутворення (в Дж), P — вага вантажу (в г) та l — скорочення м'яза [в см]. За даними автора, найбільш ефективно м'яз використовує енергію при середніх, близько $0,25-0,5 P_0$, навантаженнях, що узгоджується з літературними даними [11].

При необхідності оцінювати ефективність роботи м'язів не тільки залежно від величини навантаження, а й від тривалості тетанусу, доводиться ураховувати різну для кожного скорочення статичну роботу. Відомо [13], що обидві складові роботи м'яза при ізотонічному тетанусі, при визначені швидкості скорочення м'яза з вантажем, можуть бути представлені в однакових одиницях — діносекундах, що дає змогу ураховувати всю виконану м'язом роботу та оцінити її ефективність. Однак, визначення швидкості скорочення м'яза потребує спеціальної апаратури і в першому наближенні можна обмежитись введенням в знаменник запропонованої [2] формулі для обчислення ефективності величини t — часу стимуляції.

В даному повідомленні наведені результати досліджень ефективності роботи ізольованих літкових м'язів при одиничних та повторних ізотонічних тетанусах, яку обчислювали за формулою: $E\phi = \frac{Q}{P \cdot l \cdot t}$, де Q — загальне теплоутворення на грам ваги м'яза (в $1 \cdot 10^{-3}$ Дж), P — навантаження (10 г), l — скорочення (в мм) та t — час подразнення (в с).

Методика дослідження

В дослідах визначали теплоутворення та виконану роботу ізольованих літкових м'язів жаб *R. esculenta* при одиничних та повторних тетанусах (50 имп/с), в ізотонічних умовах (навантаження — 10 г), при тривалості подразнення 1 та 4 с. Повторний тетанус викликали після вихідного через 15,30 с, 1, 2, 5, 8 та 10 хв відпочинку. В усіх дослідах м'яз подразнювали не більше як два рази: одиничний тетанус або одиничний + повторний тетанус через вказані проміжки часу.

Теплоутворення реєстрували на термоелектричному диференціальному мікрокалориметрі [4] при загальній чутливості установки до $1,556 \cdot 10^{-3}$ Дж на 1 см² стрічкової діаграми ЕПП-09. Роботу м'яза реєстрували на установці, яка складалась з ємкісного датчика переміщення, генераторного блока, шлейфного осцилографа Н-700, та цифрового вольтметра — Ф-200/1. Чутливість установки (в розрахунку на виконану роботу) — $1 \cdot 10^{-5}$ Дж на 1 мм фотокіограмми. Результати оброблено статистично.

Ефективність використання

Результат

Ефективність використання середньому $2,35 \pm 0,09$, а для нового випадку зменшується тажу, одиницю переміщення

Великий фізіологічний утворення та енергетичного закономірність використання початку тетанусу відносно зростається за рахунок зниження швидкості виділення лабільної фракції термогенезу підтримується. Очевидно, така початка запропонованого коефіцієнта ефективності при переході в ізотонічних скороченнях до 4 с вільно пояснюється наявністю

Ефективність роботи ізольованих літкових м'язів при повторних (а) та 4 с (б) ізотонічних тетанусах (50 имп/с).

двох фракцій термогенезу. При повторних тетанусах змінюється залежно від тривалості.

Так, на 15 с після 1 с ізотонічної діяльності значно зростається тепловиробництво відповідно до вторинній діяльності (1,60 ± 0,04 мДж/г·мм·с). Дедалі відповідно зростає змінній

Зміни ефективності роботи м'язів залежно від тривалості. На рисунку, б. Становляча при тривалості на 15 с відповідно до первинній діяльності (1,60 ± 0,04 мДж/г·мм·с). Дедалі відповідно зростає змінній

Отже, для 1 с тетануса енергетичного зростає змінній

Інтерпретацію цієї закономірності відповідно зростає змінній

Відомо [5, 8, 12], що зростає змінній

Зростає змінній

Отже, ефективність роботи м'язів зростає змінній

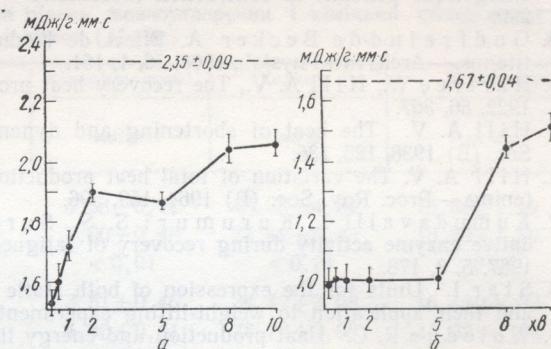
1. Аллік Т. А. Увеличеність теплоутворення в м'язах при ізотонічному тетанусі // Бюлл. экспер. біол. и мед. 1966, 11, 4, 7.
2. Горбань Е. Н. Мікрофізіологічні дослідження в м'язах // Мікрофізіологія. Вісник Академії наук України. 1966, 11, 4, 7.
3. Ломов И. А. Термопротонденти. Біофізика, 1966, 11, 4, 7.

Результати дослідження та їх обговорення

Ефективність використання енергії м'язом при однійчих 1 с тетанусах становить у середньому $2,35 \pm 0,09$, а для 4 с скорочень $1,67 \pm 0,04$ мДж/г·мм·с (тобто, для останнього випадку зменшується кількість тепла, яке виділяє м'яз, на одиницю ваги вантажу, одиницю переміщення та одиницю часу підтримання тетанусу).

Великий фізіологічний та біохімічний матеріал, присвячений дослідженням теплоутворення та енергетичного обміну ізольованих скелетних м'язів, свідчить про певну закономірність використання енергії м'язом в ході тетанусу [3, 6, 9, 14]. Маючи на початку тетанусу відносно низьке значення, дедалі ефективність роботи м'яза підвищується за рахунок зниження швидкості видлення лабільної фракції термогенезу підтримання, тоді як амплітуда тетанусу утримується. Очевидно, така поведінка запропонованого коефіцієнта ефективності при переході від 1 с тетанічних скорочень до 4 с задовільно пояснюється наявністю

Ефективність роботи ізольованих літкових м'язів при повторних 1 с (a) та 4 с (b) ізотонічних тетанусах (50 им/с).



двох фракцій термогенезу підтримання та відповідає вже одержаним даним.

При повторних тетанічних скороченнях ефективність роботи м'язів закономірно змінюється залежно від тривалості відпочинку між вихідним та повторним тетанусом.

Так, на 15 с після 1 с скорочення (див. рисунок, a) ефективність роботи м'яза при повторній діяльності значно вища і становить $1,53 \pm 0,02$ мДж/г·мм·с. На 30 с відпочинку вже відзначається тенденція до зниження ефективності роботи м'язів при повторній діяльності ($1,60 \pm 0,07$ мДж/г·мм·с), яка й надалі продовжує змінюватись у цьому напрямку. До 8 та 10 хв відпочинку ефективність використання енергії м'язом досягає $2,03 \pm 0,15$ та $2,05 \pm 0,19$ мДж/г·мм·с відповідно.

Зміни ефективності роботи м'язів при 4 с тетанічних скороченнях наведені на рисунку, б. Становлячи при вихідному тетанусі $1,67 \pm 0,04$ мДж/г·мм·с, при повторній діяльності на 15 с з відпочинку ефективність роботи м'язів значно вища ($0,99 \pm 0,04$ мДж/г·мм·с). Дедалі ефективність використання енергії м'язом не зазнає вірогідних змін і лише після 5 хв вона зменшується до $1,45 \pm 0,03$ мДж/г·мм·с.

Отже, для 1 с тетанусів в цілому характерна лабільна динаміка ефективності використання енергії м'язом безпосередньо після діяльності (15 с — 5 хв відпочинку). Для більш тривалих тетанічних скорочень (4 с) до 5 хв відпочинку не спостерігається змін ефективності роботи м'язів.

Інтерпретацію цієї закономірності можна дати, якщо припустити залежність швидкості відновлення лабільної фракції термогенезу підтримання від активності процесів енергетичного метаболізму.

Відомо [5, 8, 12], що тривалі та інтенсивні тетанічні скорочення супроводжуються тимчасовим пригніченням реакцій енергетичного метаболізму, що, можливо, є обумовлене інертне відновлення лабільної фракції термогенезу підтримання та відповідні зміни ефективності роботи м'язів при повторній діяльності. Навпаки, для 1 с тетанусів, як результат активуючого впливу такої діяльності [1, 7] на процеси енергетичного обміну, спостерігається зменшення ефективності роботи м'язів внаслідок швидкого відновлення лабільної фракції термогенезу підтримання безпосередньо після діяльності.

Отже, ефективність використання енергії ізольованими літковими м'язами жаб після діяльності зазнає закономірних змін, характерних для тетанічних скорочень різної тривалості.

Література

- Аллик Т. А. Увеличение содержания АТФ в работающей скелетной мышце.— Бюлл. экспер. биол. и мед. 1965, 4, 39.
- Горбань Е. Н. Микрокалориметрическое исследование теплопродукции скелетных мышц. Автор. канд. дисс. Київ, 1970.
- Ломов И. А. Теплопродукция при тетанусе прямой брюшной мышцы лягушки.— Біофізика, 1966, 11, 4, 715.