

В.І. Соболев, Т.В. Москалец

Енергетика ізометричного скорочення м'яза білих щурів за умов тиреоїдектомії

В експериментах in situ изучали эффект тиреоидэктомии на показатели энергетики изометрического сокращения передней большеберцовой мышцы белых крыс. Показано, что экспериментальный атиреоз существенно удлиняет латентный период сокращения мышцы (+95 %), значительно снижает (в 5,5 раза) скорость ее сокращения в начальной фазе сократительного акта, а также значительно увеличивает время (+37 %), которое необходимо для развития максимальной силы сокращения. Тиреоидэктомия при общем негативном влиянии на эрготропные характеристики изометрического сокращения мышцы существенно уменьшает расходы тепловой энергии на единицу максимальной силы сокращения (-17 %) или единицу среднего изометрического напряжения (-9,3 %).

ВСТУП

Енергетика м'язового скорочення залишається предметом інтенсивних досліджень у галузі загальної та прикладної фізіології [4, 7–9, 11]. Відомо, що гормони щитоподібної залози є природними модуляторами енергетики як цілісного організму, так і його систем, окремих органів і тканин [3, 10, 12, 13]. У літературі є достатньо публікацій, присвячених дослідженню характеру впливу тиреоїдного статусу на ерготропну функцію м'язової системи. Зокрема, вважається постульованим положення про підвищення при тиреотоксикозі енергетичної вартості фізичної роботи; при гіпотиреозах знижується фізична працездатність [1, 3, 6, 12]. Проте переважна більшість подібних досліджень була виконана на цілісному організмі в умовах in vivo, що не дає змоги ідентифікувати значення кожної з окремих функціональних ланок (ВНД, ЦНС, стани нервово-м'язової передачі, системи постачання субстратами окиснення, нарешті, скелетного м'яза тощо), що зрештою здатність м'яза до виконання роботи при різному тиреоїдному статусі.

© В.І. Соболев, Т.В. Москалец

Особливий інтерес викликає і питання про характер м'язового скорочення в перші мілісекунди скоротливого акту.

Метою роботи було вивчення в умовах in situ деяких показників енергетики ізометричного тетанічного скорочення великого-мілкового м'яза білих щурів за умов експериментального гіпотиреозу (атиреозу).

МЕТОДИКА

Серед численних підходів, що використовуються при вивченні біоенергетики скорочення скелетних м'язів, обрали методи ергографії та вимірювання так званої температурної вартості викликаного м'язового скорочення [5, 9]. Суть методу полягає у паралельному вимірюванні сили скорочення м'яза та приросту його температури. В експериментах використовували установку, що складається з двох каналів: термометричного та ергометричного. Перший був представлений термопарою. Сигнал термо-електрорушійної сили посилювали фотопідсилювачем Ф-359 та записували на комп'ютер. Для вимірювання сили скорочення м'яза використовували

тензометричний перетворювач, підсилювач і комп'ютер, що дало змогу провести аналіз реєстрованих показників з кроком вимірювання до 1 мс.

Досліди проведено на дорослих білих безпородних щурах-самцях масою близько 300 г. Усі тварини були розділені на дві групи. У тварин I групи ($n = 10$) за 30 діб до досліду видаляли щитоподібну залозу (тиреоїдектомія, атиреоз). Щури II групи ($n = 10$) були контрольними.

Перед дослідженням тварин наркотизували внутрішньоочеревинним введенням етаміналу натрію у дозі 50 мг/кг та фіксували у верстаті установки. Потім відпрепарували малогомілковий нерв, який поміщали на електроди. Без порушення природної теплоізоляції відсікали дистальне сухожилля переднього великогомілкового м'яза. За допомогою сталевий гнучкої тяги сухожилок кріпили до тензодатчика. В усіх дослідах електричне подразнення було таким: тривалість імпульсів – 5 мс, частота стимуляції – 60 Гц, час нанесення подразнення – 10 с.

Початкове розтягування м'яза проводили вантажем масою 100 г. Термопару вводили в середню частину м'яза. Всі експерименти проводили при 25–27°C.

У період обробки отриманих результатів обчислювали силу скорочення та середню силу ізометричного скорочення за 10 с тетанічного скорочення ($H_{\text{серед.}}$). Вимірювали також латентний період скорочення м'яза, швидкість розвитку скорочення, час розвитку максимальної сили скоротливого акту та приріст температури м'яза, викликаний його скороченням ($+\Delta T^{\circ}\text{C}$). Наведені показники енергетики скорочення м'яза дали змогу розрахувати так звану [5] температурну вартість м'язового скорочення (ТВМС-1 і ТВМС-2). У першому випадку її розраховували як відношення приросту температури м'яза до максимальної сили ($H_{\text{макс.}}$) його ізометричного скорочення ($+\Delta T^{\circ}\text{C}/H_{\text{макс.}}$), а в другому – як

відношення до середньої сили скорочення ($+\Delta T^{\circ}\text{C}/H_{\text{серед.}}$). Результати обробляли загальноприйнятими методами варіаційної статистики. При проведенні досліджень дотримувалися правил роботи з експериментальними тваринами.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Видалення щитоподібної залози викликало зміни показників енергетики ізометричного скорочення великогомілкового м'яза. Аналіз результатів показав, що, по-перше, ефект атиреозу відобразився на тривалості латентного періоду скорочення (таблиця). Так, значення цього показника для великогомілкового м'яза щурів дослідної групи було $88 \text{ мс} \pm 5 \text{ мс}$ (у контролі $45 \text{ мс} \pm 3 \text{ мс}$), тобто латентний період подовжився у 1,95 раза ($P < 0,05$).

По-друге (див. таблицю, рис.1), максимальна сила, яку розвиває м'яз, при ізометричному тетанічному скороченні, у щурів досліджуваних груп була практично однаковою: $1,93 \pm 0,04$ (контроль) і $1,87 \text{ Н} \pm 0,05 \text{ Н}$ (дослід). Проте час, протягом якого розвивалася максимальна сила, у щурів дослідної групи було істотно нижчим (на 37 %, $P < 0,05$).

По-третє, певні відмінності між тваринами контрольної та дослідної груп відзначалися з боку динаміки 10-секундного

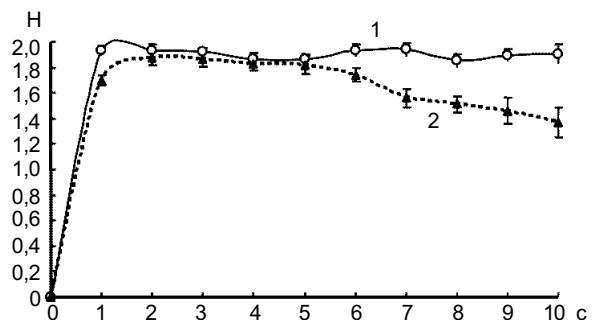


Рис. 1. Динаміка ізометричного скорочення великогомілкового м'яза білих щурів з різним тиреоїдним статусом: 1 – контроль, 2 – атиреоз. За віссю абсцис – тривалість ізометричного скорочення м'яза, за віссю ординат – сила скорочення м'яза

Вплив експериментального атиреозу на деякі показники енергетики ізометричного скорочення великогомілкового м'яза білих щурів (M±n, n = 10)

Показник	Контроль	Атиреоз	Різниця
Латентний період скорочення м'яза, мс	45±3	88±5	+43±5,8 +95%, P<0,05
Максимальна сила ізометричного скорочення (H _{макс.})	1,93±0,04	1,87±0,04	-0,06±0,06 -3%, P>0,05
Час розвитку максимальної сили скорочення, мс	973±16	1335±12	+362±20 +37%, P<0,05
Приріст температури з а весь період скорочення (+ΔT°C)	0,25±0,011	0,20±0,009	-0,05±0,014 -20%, P<0,05
Середня сила ізометричного скорочення м'яза за 10 с скорочення (H _{середн.})	1,80±0,051	1,59±0,068	-0,21±0,08 -12%, P<0,05
Температурна вартість скорочення м'яза			
ТВМС-1 (+ΔT°C/H _{макс.})	0,129±0,0052	0,107±0,0049	-0,022±0,0071 -17%, P<0,05
ТСМС-2 (+ΔT°C/H _{середн.})	0,139±0,0041	0,126±0,0031	-0,013±0,0051 -9,3%, P<0,05

ізометричного тетанічного скорочення. Як видно з рис. 1, криві ергограм у діапазоні від 1 до 5 с у щурів контрольної та дослідної груп розташовувалися поряд, і лише пізніше сила скорочення м'яза щурів дослідної групи ставала меншою. Так, до закінчення періоду скорочення дослідної групи, була на 28 % меншою від контролю.

По-четверте, видалення щитоподібної залози якісно змінювало швидкість розвитку скорочення на його початковій фазі. Цей показник у нашій роботі визначався як відношення dH_i / dt_i ізометричного скорочення. Як видно з рис.2, великогомілковий м'яз дослідних щурів скорочувався з невеликою швидкістю, тоді як у тварин контрольної групи швидкість скорочення м'яза характеризувалася наявністю різко вираженого піка на 40 мс скорочення (16,5 Н/с ± 1,2 Н/с). У цьому разі швидкість скорочення була в 5,5 раза вищою (P<0,05) у порівнянні з дослідною групою. У тварин цієї групи найбільша швидкість скорочення

була відзначена на 80 мс скорочення (5,0 Н/с ± 0,5 Н/с).

Паралельно з вимірюванням сили скорочення реєстрували температуру м'яза, що дало змогу розрахувати температурну вартість м'язового скорочення (ТВМС-1 і ТВМС-2, див. таблицю). Виявилось, що у щурів дослідної групи значення ТВМС-1 (тобто $+ΔT^0C/H_{макс.}$) було на 17 % менше від контролю. Цей результат говорить про те, що м'язи дослідних щурів при тетанічному ізометричному скороченні продукували меншу кількість тепла.

Слід зазначити, що цей коефіцієнт розраховували як відношення приросту температури м'яза за весь період скорочення до максимальної сили ($+ΔT^0C/H_{середн.}$), яка розвивається м'язом протягом його скорочення. Разом з тим як видно з рис.1, сила ізометричного скорочення м'яза щурів дослідної групи протягом 10 с була не сталою, а неухильно знижувалася. У зв'язку з цим на наш погляд, більш точним

показником теплової ефективності м'язового скорочення може бути відношення приросту температури м'яза (ТВМС-2) до середньої сили ізометричного скорочення ($H_{\text{середн.}}$) за весь період скорочення (10 с). Остання становила у контрольних щурів $1,9 \pm 0,051$ і $1,67 \text{ Н} \pm 0,068 \text{ Н}$ у дослідних тварин, тобто була на 12 % меншою ($P < 0,05$). З урахуванням розрахунків величина температурної вартості м'язового скорочення (ТВМС-2) для щурів контрольної та дослідної груп була відповідно $0,139 \pm 0,0041$ і $0,126 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Н} \pm 0,0031 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Н}$, тобто також була меншою від контролю (-9,3 %, $P < 0,05$).

Таким чином, тиреоїдектомія знижувала теплову вартість одноразового ізометричного тетанічного скорочення скелетного м'яза білих щурів. Підкреслимо, що такий висновок стосується використаних у роботі умов і режиму скорочення м'яза (ізометричний тип скорочення, метод розрахунку теплової ефективності скорочення, тривалість скоротливого акту тощо).

Результати наших досліджень дають змогу обговорювати вплив тиреоїдектомії на основні показники енергетики ізометричного скорочення скелетного м'яза білого щура. Перш за все, викликають інтерес факти істотного подовження латентного періоду скорочення (+95 %), зниження (у 5,5 раза) швидкості скорочення (особливо в початковій фазі), а також збільшення часу

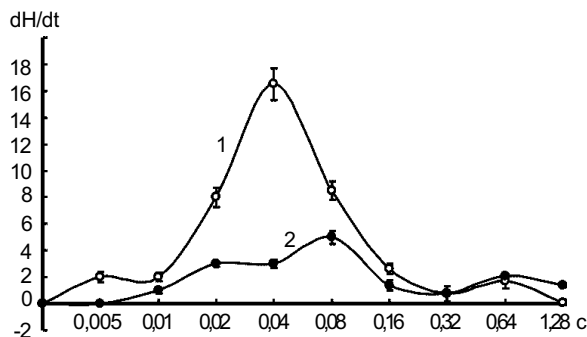


Рис. 2. Швидкість розвитку ізометричної напруги великогомілкового м'яза білих щурів: 1 – контроль, 2 – тиреоїдектомія. За вісю абсцис – тривалість скорочення, за вісю ординат – швидкість розвитку ізометричного скорочення

(+37 %), необхідного для розвитку максимальної сили скорочення м'яза. Ці результати свідчать, про погіршення функціональних показників скоротливого акту. Пояснення цього феномену може бути пов'язано з можливою атрофією скелетного м'яза при тиреоїдектомії та порушеннями обміну речовин у м'язі. Дійсно, Сеене та співавт. [6] відзначили зменшення числа одиниць ДНК у всіх типах м'язових волокон чотириголового м'яза стегна щурів з метилтіоурациловим гіпотиреозом, зниження вмісту РНК, цитохромів a_3 , міофібрилярних білків і білків саркоплазматичного ретикулума. Такого роду зміни можуть викликати ослаблення ерготропної функції скелетного м'яза, що ми і спостерігали при аналізі швидкісних особливостей його скорочення, а також здатності зберігати тривалий час високу силу ізометричного скорочення.

Подовження латентного періоду скорочення м'яза при тиреоїдектомії (на 95 %), дає змогу припускати можливість порушення механізму нервово-м'язової передачі при гіпотиреозі.

Особливий інтерес становлять результати оцінки теплової вартості ізометричного скорочення м'яза (ТВСМ-1 і ТВСМ-2). Так, при розрахунку цих показників (приросту температури м'яза до максимальної сили і середньої сили за весь цикл скорочення) виявилось, що тепла ефективність скоротливого акту при гіпотиреозі зменшувалася. Аналогічна залежність спостерігалась і при розрахунку температурної вартості скорочення м'яза на одиницю середньої ізометричної напруги (-9,3 %) за весь цикл скорочення. Слід зазначити, що в наших експериментах використовувалася оцінка температурної ефективності одноразового скорочення, коли скелетний м'яз ще не був стомлений. Крім того, тривалість скорочення м'яза сягала значного значення (10 с). У зв'язку з цим основний внесок у тепловий "вихід" скорочення, який ми реєстрували, належить

первинній фазі теплоутворення, яка, як відомо, пов'язана з хемо-механічним з'єднанням скоротливого акту. Цей механізм може змінюватися лише за певних умов [2, 13].

Таким чином, результати наших досліджень дозволяють говорити про якісні зміни з боку ерготропної функції скелетного м'яза білих щурів при ізометричному тетанусі та значне збільшення енерготрат скоротливого акту, що наступають при експериментальному гіпотиреозі.

V.I. Sobolyev, T.V. Moskaletz

ENERGETICS OF ISOMETRIC MUSCLE CONTRACTION IN WHITE RATS UNDER THYROIDECTOMY.

The effect of thyroidectomy on parameters of energetics of isometric contractions of front shin – bone muscle of white rats is studied in in situ experiments. It is shown that experimental atiriosis lengthen considerably the latent period of muscle contractions (+95%) considerably reduce (in 5,5 times) the speed of it contraction in first phase of contraction act and also considerably increase the time (+37%), which necessary for developing maximum strength of contraction. Thyroidectomy with general negative influence on ergothropic characteristics of isometric muscle contraction decrease considerably the expenditure of thermal energy on maximum strength of contraction unit (-17%) or on middle isometric tension unit (-9,3%).

Donetsk National University, Ukraine

ВИСНОВКИ

1. Експериментальний атиреоз істотного подовжує латентний період ізометричного скорочення великогомілкового м'яза білих щурів *in situ* (+95 %), суттєво знижує (у 5,5 раза) швидкість його скорочення в початковій фазі скоротливого акту, а також значно збільшує час (+37 %), який необхідний для розвитку максимальної сили ізометричного скорочення м'яза.

2. Тиреоїдектомія при загальному негативному впливі на ерготропні характеристики ізометричного скорочення м'яза істотно збільшує витрати теплової енергії на одиницю максимальної сили скорочення

(-17 %) або одиницю середньої ізометричної напруги (-9,3 %).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алюхин Ю.С. Коэффициент полезного действия мышцы и составляющие расхода энергии в мышцах // Успехи физиол. наук. – 1987. – **18**, № 8. – С. 98–113.
2. Болдырев А.А. Биологические мембраны и транспорт ионов. – М., 1985. – 207с.
3. Ганонг В.Ф. Физиология людини. – Львів: Бак, 2002. – 784 с.
4. Пичурина Н.В. Энергетика изометрического тетанического сокращения мышцы при разных моделях экспериментального гипертиреоза // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона: Межведом. сб. науч. работ / Отв. ред. С.В. Беспалова. – Донецк: ДонНУ, 2005. – Вып. 5. – С. 214–223.
5. Соболев В.И., Махсудов М.С., Мерхелевич Л.Г. и др. Влияние 2,4-динитрофенола на температурный эффект мышечного сокращения при экспериментальном гипертиреозе // Физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 1995. – №3. – С. 80–84.
6. Сээнэ Т.П., Алев К.П., Томсон К.Э., Виру А.А. Роль щитовидной железы при адаптации скелетных мышц к повышенной двигательной активности // Там же. – 1981. – № 2. – С. 299–305.
7. Труш В.В. Зміна м'язової роботи в процесі розвитку експериментального гіпертиреозу. – В кн.: Матеріали міжнар. наук. конф. «Каразінські природознавчі студії». – Харків, 2004. – С. 245–246.
8. Труш В.В., Капланец И.В., Турчин В.В. Влияние умеренного гипертиреоза и тиреотоксикоза на работоспособность скелетной мышцы белых крыс // IV з'їзд Українського біофізичного товариства (Донецьк, 19–21 грудня): Тези доп. – Донецьк: ДонНУ, 2006. – С. 141–142.
9. Шлыкова С.Г., Соболев В.И. Энергетика сокращения скелетной мышцы у белых крыс в холоде развития экспериментального гипертиреоза // Вісн. проблем біології і медицини. – 2006. – Вип. 3. – С. 39–45.
10. Чин У.У., Йен П.М. Молекулярные механизмы внутриядерного действия тиреоидных гормонов. – В кн.: Болезни щитовидной железы. – М.: Медицина. – 2001. – С. 1–17.
11. Cakir Mehtar, Samanci Nehir, Balci Nilufer, Balci Mustafa Kemal. Musculoskeletal manifestations in patients with thyroid disease // Clin. Endocrinol. – 2003. – **59**, № 2. – P. 162–167.
12. Hulbert A.J. Thyroid hormones and their effects: a new perspective // Biol. Rev. Cambridge Philosoph. Soc. – 2000. – **75**, № 4. – P. 519–631.
13. Wolege R.C., Curtin N.A., Hompsheer E. Energetic aspect of muscle contraction. – New York; London, 1983. – 290 p.

Матеріал надійшов до редакції 23.01.2007