

УДК 612.745-612.4

БИОЭНЕРГЕТИКА ИЗОТОНИЧЕСКОГО МЫШЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ГИПОТИРЕОЗЕ (миотермическое исследование *in situ*)

В.И.Соболев, Г.И.Чирва, М.Е.Резник

Энергетика мышечного сокращения по-прежнему является предметом многочисленных исследований [1, 2, 6]. Среди многочисленных аспектов данной проблемы большой интерес вызывает вопрос о гормональной регуляции тепловой эффективности мышечного сокращения, в частности изучение роли гормонов щитовидной железы как природных ее регуляторов. В литературе имеются многочисленные доказательства, свидетельствующие о повышении теплообразовательной функции сокращающейся мышцы при гипертиреозах и тиреотоксикозах [5, 8, 9]. Вместе с тем остается практически неизученным характер влияния гипотиреоза на энергетику сократительного акта.

В настоящей работе проведена оценка состояния теплового эффекта вызванного мышечного сокращения у белых крыс при экспериментальном гипотиреозе (тироидэктомии) с помощью миотермического метода в условиях *in situ* провести оценку.

Материалы и методы

Эксперименты были проведены на 20 взрослых белых крысах-самцах. У животных 1-й группы (11 особей) за 30-40 суток до опытов была удалена щитовидная железа (тироидэктомия). Вторая группа из девяти крыс была контрольной. Среди многочисленных подходов, используемых при изучении биоэнергетики сокращения скелетных мышц, нами был выбран метод определения так называемого температурного эффекта вызванного мышечного сокращения. В основу используемой методики положен миотермический метод, суть которого состоит в сопоставлении прироста температуры сокращающейся мышцы с развиваемой силой либо выполненной работой. Проводилась оценка тепловой эффективности мышечного сокращения на условную единицу механической работы.

Экспериментальная установка состоит из двух измерительных каналов: термометрического и эргометрического. Первый состоит из датчика температуры (медь-константановая термопара), фотоусилителя типа Ф-116, цифрового вольтметра В7-21А, самописца НЗ030-3. Термопара выполнена из тонкой проволоки диаметром 50 мкм. В ходе опыта ее прошивали через исследуемую мышцу. Перед началом эксперимента термометрический канал калибровался. Разрешающая способность канала устанавливалась на уровне 0,01°С.

Эргометрический канал представлен тензометрическим преобразователем. Сигнал разбаланса от системы датчика усиливался фотоусилителем типа Ф-359 и регистрировался на самописце параллельно с термограммой; имелась возможность цифровой индикации измеряемого параметра (вольтметр В7-21А). Эргометрический канал позволял измерять силу вызванного мышечного сокращения в широких пределах, вплоть до 500Г, с точностью 1,3%.

Животное к опыту готовилось следующим образом. Крыса наркотизировалась путем внутрибрюшинного введения этаминала натрия (50 мг/кг), а затем фиксировалась в станке установки. Далее отпрепаровывался малоберцовый нерв, который в дальнейшем помещался в погружной электрод. Без нарушения естественной теплоизоляции

отсекалось дистальное сухожилие передней большеберцовой мышцы. При помощи стальной гибкой тяги сухожилие крепилось к механодатчику. Во всех опытах величина электрического раздражения (стимулятор ЭСЛ-1, длительность импульсов 0,5 мс, частота 60 Гц) выбиралась выше пороговой, что позволяло мышце сокращаться с предельной силой. Время нанесения раздражения и пауза между каждой последующей стимуляцией составляли по 1 с. Всего на мышцу наносилось 5 раздражений. Термопара вводилась в среднюю область переднеберцовой мышцы. Исходное растяжение мышцы проводилось грузом массой 100 г.

В ходе обработки полученных данных вычислялась развиваемая сила, величина прироста температуры мышц и так называемый температурный эффект мышечного сокращения (ТЭМС), численно равный отношению прироста температуры мышцы к развиваемой силе ($\Delta T^{\circ}C/\Gamma$).

Все эксперименты проводились при окружающей температуре 25-27 $^{\circ}C$. После завершения эксперимента животное умерщвлялось эфиром.

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных показал, что при отсутствии в организме белых крыс гормонов щитовидной железы наблюдаются выраженные изменения со стороны энергетики вызванного мышечного сокращения. Такой вывод основывается на результатах анализа двух параметров, характеризующих, с одной стороны, силу, развиваемую мышцей при вызванном сокращении. А с другой – абсолютную величину прироста ее температуры.

Действительно, средняя сила сокращения у тироидэктомированных крыс составляла $153 \pm 16 \Gamma$ (см. табл.) и в этом плане статистически достоверно не отличалась от показателя контрольных животных (+ 5%, $p > 0,05$). В то же время средний прирост температуры мышцы, связанный с сокращением, у тироидэктомированных животных был существенно ниже контрольного уровня. Так, у крыс с эутиреоидным статусом и при экспериментальном атиреозе (тироидэктомии) значения данного параметра были соответственно равны $1,1 \pm 0,13$ и $0,53 \pm 0,009^{\circ}C$. Следовательно, можно полагать, что при тироидэктомии и выбранном режиме сокращения сила, развиваемая мышцей, не меняется. Однако термогенный (температурный) эффект значительно понижается.

Таблица. Значения некоторых показателей, характеризующих энергетику мышечного сокращения, у контрольных животных и крыс с экспериментальным атиреозом (тироидэктомия)

Группа	Сила, развиваемая мышцей при сокращении, Γ	Прирост температуры мышцы, $\Delta T^{\circ}C$	Температурный эффект мышечного сокращения, $\Delta T^{\circ}C/\Gamma$
Контроль, $n = 9$	148 ± 21	$1,10 \pm 0,13$	$0,0074 \pm 0,0017$
Тироидэктомия, $n = 11$	153 ± 16	$0,53 \pm 0,09$	$0,0035 \pm 0,0006$
Разница к контролю	$+ 7 \pm 26$ $+ 5\%$ $p > 0,05$	$- 0,37 \pm 0,16$ $- 48\%$ $p < 0,05$	$- 0,0039 \pm 0,0018$ $- 53\%$ $p < 0,05$

Вызывает интерес такой расчетный показатель, использованный в нашей работе, как температурный эффект мышечного сокращения. Данный показатель характеризует термогенную эффективность сократительного акта, а в общем случае позволяет судить

о коэффициенте полезного действия мышечного сокращения. Цифровой материал, представленный в таблице, показывает, что величина ТЭМС при тиродэктомии была существенно (-53%, $p < 0,05$) ниже, чем у крыс с эутиреоидным статусом. Например, у контрольной группы животных ТЭМС был равен $0,0074 \pm 0,0017^\circ\text{C}/\text{Г}$, тогда как у крыс, лишенных щитовидной железы, значение данного показателя соответствовало $0,0035 \pm 0,0006^\circ\text{C}/\text{Г}$.

Таким образом, полученные результаты указывают не только на характер действия атиреоза на тепловую эффективность мышечного сокращения, но позволяют говорить о механизме этого феномена. По-видимому, в отсутствие гормонов щитовидной железы при выбранных условиях эксперимента (*in situ*, продолжительность состояния гипотиреоза, сила раздражения и его режим и др.) нарушаются не “силовые” характеристики сократительного акта, а процессы трансформации энергии при мышечном сокращении [1, 5, 9].

В качестве конкретных механизмов, снижающих тепловую эффективность вызванного сокращения мышцы при гипотиреозе, можно назвать механизмы, связанные со способностью тиреоидных гормонов модулировать процессы диссоциации энергии, например путем изменения эффективности работы Са-АТфазы, сменой характера субстратов окисления в скелетной мышце, изменением липидного состава мембран, запуска работы “бесполезных” циклов типа “гидролиз-реэстерификация” триглицеридов, “окисление-ресинтез” жирных кислот, разобщением дыхания и фосфорилирования и др. [3-5, 7].

Приведенные в настоящей работе данные позволяют сделать следующее заключение. Тиреоидные гормоны являются природными регуляторами энергетики мышечного сокращения. Удаление щитовидной железы у белых крыс снижает термогенный эффект (“выход” тепла) изотонического мышечного сокращения на единицу развиваемой силы.

РЕЗЮМЕ

В экспериментах на білих щурах в умовах *in situ* за допомогою міотермічної методики вивчався температурний ефект скорочення переднього великого м'язу. Про величину теплової ефективності скорочувального акту робили висновок на підставі співвідношення між приростом температури під час скорочення і його силою.

Показано, що при експериментальному гіпотиреозі (30-40 діб після тироїдектомії) значно зменшується вихід тепла на одиницю розвиненої сили.

SUMMARY

In the experiments on white rats under *in situ* conditions, by means of isothermal method temperature effect of muscle contracting was tested.

A conclusion was drawn regarding the value of thermal effectiveness of a contractive act on the grounds of correlation between the temperature increase during the contraction and its force. The obtained results show that under the experimental hypothyroidism heat irradiation per a unit of developed force considerably decrease.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болдырев А.А. Биологические мембраны и транспорт ионов. – М.: МГУ, 1985. – 207 с.
2. Иванов К.П. Основы энергетики организма: теоретические и практические аспекты: Т. 1. Общая энергетика. Теплообмен и терморегуляция. – Л.: Наука, 1990. – 307 с.
3. Медведев Л.Н. Убаин-чувствительное дыхание и Na, K-АТФаза скелетных мышц и бурого жира у адаптированных к холоду крыс – Физиол. журн. СССР. – 1983. – 69 – № 10. – С.1321-1326.
4. Медведев Л.Н. Закономерности влияния акклимации к холоду на систему активного транспорта катионов Na и K – автореферат докт. дисс. – Л., 1988. – 42 с.
5. Султанов Ф.Ф., Соболев В.И. Гормональные механизмы температурной адаптации – Ашхабад: Ылым, 1991. – 216 с.
6. Alexander McNeil The work that muscles can do // Nature (Gr Brit.). – 1992. – 357, № 6377/ – P.360-361.
7. Sobolev V.I. Influence of alpha- and beta-adrenoblockers on the calorogenic effect of epinephrine in rats with experimental hyperthyroidism // Neurosci. Behav. Physiol. – 1981. – 11, № 4. – P.389-391.
8. Sobolev V.I. Thyroid control of thermoregulation // 5 th Meeting of Regional Thermoregulatory Group. 9 th-10 th May. Bechlingen, 1990. – P.20.
9. Sobolev V.I., Gaydarova E.V., Machsudov M.S., Merchelevich L.G. The role of thyroid hormones in thermoregulation // Life in cold environments: studies in applied and comparative physiology. Int. Symp. in Costamus, Karelia, Russian fed., Oct. 27-28, 1992. Oulu: 1992. – P.35.

Надійшла до редакції 07.10.1997 р.

УДК 502.7:528.5:634.16

ФИТООПТИМИЗАЦИЯ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С.П.Швиндлерман

Горнодобывающая промышленность, столь развитая в Донбассе, приводит к изъятию из природного кругооборота и нарушению значительной части поверхности земли. Антропогенное воздействие на природную среду начинается с геологоразведочных работ, в результате которых происходят загрязнения воздуха, воды и почвы, первоначальные изменения элементов ландшафта. Уже с этого этапа начинается отрицательное влияние на биосферу (рис. 1).

Подземная добыча угля, последующий этап антропогенного воздействия, обуславливает геомеханические, гидрологические, химические и физико-механические причины нарушений окружающей природной среды. Нарушения элементов природных ландшафтов отражены на рис. 2. Достаточно отметить, что шахты и обогатительные фабрики Донбасса ежегодно складировуют в отвалах 70 млн.т породы, требующей отвода земель до 500 га в год, а зоны затопления и заболачивания занимают около 20 тыс. га (Колоколов, Хоменко, 1986).

Как уже установлено (Швиндлерман и др., 1993), наименее вредное воздействие из всех видов и форм отвалов оказывают плоские породные отвалы. При этом формы техногенного рельефа могут быть представлены: плоскими (платообразными) одноярусными, плоскими (платообразными) террасированными, плоскими с односторон-