

Ю. С. АЛЮХИН, К. П. ИВАНОВ

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ СЕРДЦА ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 22 X 1973)

После длительной адаптации к холоду увеличивается расход энергии и повышается теплопродукция мышечных сокращений (¹⁻⁴). Происходит своеобразное понижение коэффициента полезного действия (к.п.д.) мускулатуры относительно механической работы. Это позволяет организму более эффективно повышать теплопродукцию с помощью холодовой мышечной дрожи и терморегуляционного мышечного тонуса при защите от холода.

В настоящей работе сделана попытка выяснить, происходят ли подобные сдвиги к.п.д. внутренних органов. Исследованы изменения теплопродукции к.п.д. сердца после адаптации животных к теплу или к холоду. Объектом исследования служили работающие препараты изолированного сердца белых крыс (самцы линии Вистар, вес 230–360 г). Были поставлены опыты на 12 крысах, которые содержались в течение 5–7 недель при температуре 25–28°, на 46 крысах, постоянно содержащихся при температуре 18–22° (контроль), и на 26 крысах, находившихся 5–7 недель в одиночных клетках при 1–3°. Перфузия производилась в специальной установке. В качестве перфузата использовался бикарбонатный буферный раствор Кребса – Гензеляйта, насыщенный смесью 5% CO₂ и 95% O₂, с рН 7,4. Температура перфузата постоянно поддерживалась на уровне 37°. Жидкость подавалась в левое предсердие и выталкивалась левым желудочком через отрезок аорты в вертикальную трубку высотой 70 см, откуда она изливалась в мерную бюретку. При этом некоторая часть жидкости из аорты поступала в систему коронарных сосудов сердца благодаря давлению, создаваемому в аорте. Пройдя коронарные сосуды, эта часть перфузата изливалась в полость камеры, в которой находился препарат, и оттуда в мерную бюретку. Сумма обеих частей перфузата за 1 мин. составляла минутный объем сердца. Механическая работа сердца рассчитывалась как произведение минутного объема сердца на среднее давление в левом желудочке в период изгнания. Это давление определялось путем синхронной записи колебаний давления в левом желудочке и в аорте с помощью датчиков электроманометра ЭМ2-01, тензометрического усилителя УТ4-1 и осциллографа Н700. Один из датчиков соединялся с полостью левого желудочка посредством полой иглы, введенной через верхушку сердца, другой – с трубочкой, отходящей от аортальной канюли непосредственно у аорты. Оба канала настраивались на одинаковую чувствительность, благодаря чему давление в левом желудочке в период изгнания представляло собой часть кривой давления в левом желудочке, заключенной между точками пересечения кривых давления в левом желудочке и в аорте (рис. 1). Среднее давление в левом желудочке в период изгнания рассчитывалось как отношение площади фигуры, ограниченной указанной кривой (сверху) и нулевой линией (снизу), к длительности периода изгнания. Численно данная площадь представляла собой интеграл давления по времени. Она измерялась взвешиванием вырезки этой фигуры из бумажной ленты осциллографа Н700.

Общий расход энергии изолированным сердцем определялся по потреблению кислорода. Последнее рассчитывалось по объему коронарной перфузии за единицу времени и различию концентраций O_2 в перфузате, притекающем к сердцу, и перфузате, оттекающем из системы коронарных сосудов. Концентрация O_2 измерялась непрерывно с помощью двух полярографических ячеек с закрытыми платиновыми электродами. Одна ячейка располагалась на пути притока перфузата к сердцу, другая — на пути оттока перфузата из коронарных сосудов. К.п.д. сердца рассчитывался

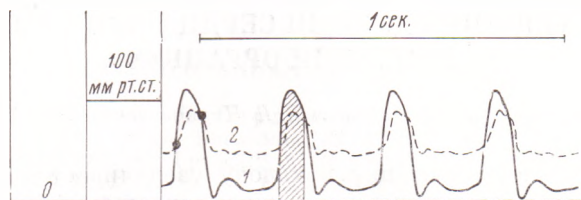


Рис. 1. Осциллограмма давления в левом желудочке и в аорте в условиях работающего препарата изолированного сердца крысы. 1 — давление в левом желудочке, 2 — давление в аорте. Точками на левом комплексе изображены начало и конец периода изгнания. Площадь заштрихованной фигуры равна интегралу давления в левом желудочке в период изгнания по времени

как отношение механической работы, выполненной сердцем (в калориях), к общему количеству энергии, затраченной при этом (также в калориях). Аналогичная методика подробно описана в работе Нили с соавторами (5). Обычно на одном препарате определения работы сердца и потребления кислорода сердцем производились однократно, но в некоторых опытах делалось два измерения при различных уровнях работы сердца. В ряде опытов потребление кислорода определялось после остановки сердца цитратом натрия или новокаином.

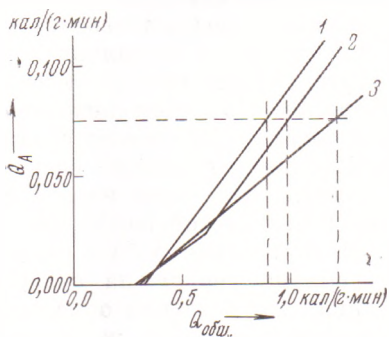


Рис. 2. Зависимость механической работы изолированного сердца крысы (Q_A) от общего расхода энергии работающим сердцем ($Q_{\text{общ}}$) у крыс, адаптированных к теплу (1), в контроле (2) и у крыс, адаптированных к холоду (3). Регрессия в 1-й группе рассчитывалась по 21 точке, во 2-й — по 47 точкам, в 3-й — по 31 точке. Прерывистыми линиями изображены различия в $Q_{\text{общ}}$ у трех групп крыс при одном и том же уровне механической работы сердца 0,075 кал/(г·мин)

Основные результаты опытов представлены на рис. 2 в виде линий регрессии механической работы сердца по величине общего количества энергии, затраченной работающим сердцем. Различия между линиями регрессии статистически значимы ($P < 0,01$). К.п.д. сердца на этом рисунке определяется как отношение ординат к абсциссам. Согласно результатам наших опытов к.п.д. оказывается наибольшим для сердец животных, адаптированных к теплу, и наименьшим для сердец животных, адаптированных к холоду. Физиологическое значение этих сдвигов наилучшим образом обнаруживается на конкретном примере. Возьмем случай, когда сердце выполняет работу 0,075 кал/(г·мин). Горизонтальная прерывистая линия, проведенная на рис. 2 от соответствующей точки на оси ординат, и проекции точек пересечения этой линии с линиями регрессии на ось абсцисс показывают, что для выполнения работы такой величины затраты

энергии изолированными сердцами крыс первой, второй и третьей групп составят соответственно 0,90; 0,99; 1,22 кал/(г·мин). Тепло, освобождаемое при сокращении сердца, окажется равным: $0,900 - 0,075 = 0,825$; $0,990 - 0,075 = 0,915$; $1,220 - 0,075 = 1,145$ кал/(г·мин). К.п.д. механической работы изолированных сердец в тех же группах будет равен соответственно 8,3; 7,6; 6,1%. Следовательно, изолированное сердце крысы, адаптированной к холоду, имеет более низкий к.п.д. и при одной и той же величине работы освобождает тепла в среднем на 36% больше, чем изолированное сердце крысы, адаптированной к относительно высокой температуре среды. Следует специально подчеркнуть, что данные различия проявляются только при работе. Проведенные нами опыты показали, что покоящиеся изолированные сердца всех трех групп животных имеют практически одинаковое потребление кислорода ($P > 0,2$).

Снижение к.п.д. механической работы сердца и повышение его теплопродукции при длительном действии низкой температуры окружающей среды на организм и обратные явления при действии высокой температуры могут рассматриваться как результат физиологической адаптации, способствующей поддержанию температурного гомеостаза организма. Следовательно, эффект изменения к.п.д. в процессе температурной адаптации имеет место не только в скелетных мышцах, но и во внутренних органах, по крайней мере в одном из них — в сердце. Это позволяет предполагать, что изменение к.п.д. является общим физиологическим принципом регуляции теплопродукции организма.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
30 VIII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ К. П. Иванов, Мышечная система и химическая терморегуляция, «Наука», 1965. ² К. П. Иванов, Биоэнергетика и температурный гомеостазис, «Наука», 1972. ³ К. П. Иванов, Е. Я. Ткаченко, М. А. Якименко, Физиол. журн. СССР, 56, 1438 (1970). ⁴ Е. Я. Ткаченко, К. П. Иванов, Физиол. журн. СССР, 57, 111 (1971). ⁵ J. R. Neely, H. Liebermeister et al., Am. J. Physiol., 212, 804 (1967).