

С. М. РУТКЕВИЧ

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ РАСТЯЖЕНИЯ СЕРДЦА
НА ТЕРМОИНОТРОПНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ МИОКАРДА
ЖЕЛУДОЧКА ПЛОТВЫ

(Представлено академиком С. С. Шварцем 27 IX 1972)

Еще сто лет назад было известно, что при понижении температуры сила сердечных сокращений возрастает (¹). К настоящему времени это подтверждено на многих объектах как пойкилотермных, так и гомойотермных (²⁻⁴). Крутизна этой (термоинотропной) характеристики меняется от объекта к объекту, а также подвержена значительным сезонным изменениям. Несмотря на это, термоинотропная характеристика (т.-и.х.) представляет интерес для термодинамического анализа работы сократительной клетки. Кроме того, показано, что т.-и.х. в значительной степени определяется температурной предысторией организма и может служить термоакклимационным критерием (⁵). Методическая значимость т.-и.х. требует определения диапазона действия различных факторов, в которых эта характеристика стационарна. Одним из физиологических воздействий, меняющим т.-и.х. миокарда, является начальное (диастолическое) растяжение мышцы, которое в организме определяется степенью наполнения сердца.

Опыты проводились в изометрическом режиме на изолированной полоске миокардиальной ткани желудочка плотвы *Rutilus rutilus lacustris* (Pall.) в аэрируемом растворе Рингера для холоднокровных (NaCl 140, KCl 5,7, CaCl₂ 2,2, NaHCO₃ 1,2 мМ), ионный состав которого приблизительно соответствует составу плазмы крови пресноводных костистых рыб (⁶⁻⁸).

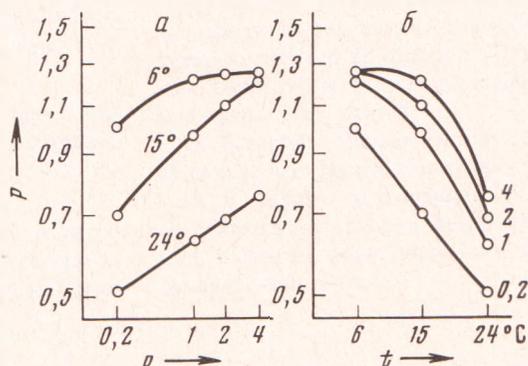
На рис. 1а приведены зависимости относительной силы сокращений (P) от начального растяжения (p) (двойной логарифмический масштаб) при различных температурах. Видно, что при понижении температуры крутизна кривой сначала увеличивается, а затем уменьшается и, кроме того, отклонение от прямой (т. е. от гиперболической зависимости) увеличивается и при 6° происходит насыщение при p около 2 кН/м². На рис. 1б построено семейство т.-и.х. при различной величине p . При малом p кривая имеет приблизительно экспоненциальный характер с Q_{10} примерно одинаковым во всем исследуемом температурном диапазоне (Q_{10} в диапазоне 6–15° составляет $1,49 \pm 0,05$, а в диапазоне 15–24° $1,42 \pm 0,05$). При увеличении p крутизна характеристики меняется, уменьшаясь при низких температурах и увеличиваясь при высоких (при $p = 4$ кН/м² Q_{10} соответственно составляет $1,03 \pm 0,05$ и $1,70 \pm 0,07$). При $p < 0,2$ кН/м² крутизна т.-и.х. практически не меняется, а при $p > 4$ кН/м² характеристика становится экстремальной.

Сделаем два предположения: 1) при увеличении p увеличивается количество ионов Са, поступающих к сократительному аппарату во время возбуждения (Са), причем, поскольку длительность потенциала действия (τ) мало зависит от температуры (⁹⁻¹¹), увеличение Са пропорционально τ , т. е. экспоненциально падает с повышением температуры; 2) при увеличении p происходит увеличение числа кальциевых «мест» в тропомиозиновом комплексе (Н), пропорциональное удлинению мышцы, причем зависимость удлинения от p логарифмическая и, кроме того, с увеличением температуры удлинение на единицу растягивающей силы растет (¹⁰). При малом p

мышца работает с дефицитом Са, т. е. фактором, ограничивающим силу сокращений, является Са, а Н достаточно велико. Это следует из того, что при увеличении концентрации Са вне клетки сила сокращений возрастает при любой температуре, причем следует заметить, что прирост силы, связанный с увеличением внеклеточной концентрации ионов Са, уменьшается с понижением температуры.

При увеличении p Са растет быстрее, чем Н, и, поскольку Са(p) и Н(p) имеют разнозначные температурные зависимости, существует критическое

Рис. 1. Зависимость относительной силы стационарных изометрических сокращений от начального растяжения p (кн/м²) при различных температурах (°С) (а) и от температура при разных p (кн/м²) (б). Среднеквадратичное отклонение во всех точках не превышает 0,05 ($n = 24$)



значение $p - p_0$ (очевидно, большее для большей температуры), при превышении которого лимитирование силы сокращений переходит от Са к Н. Таким образом, зависимость силы от p должна быть гиперболической при $p < p_0$ и меняться на логарифмическую при $p > p_0$. Для представленных экспериментальных данных $p_0(6^\circ) \approx 1$ кн/м². Приведенная гипотеза хорошо объясняет не только изменение вида зависимости силы сокращений от p при $p > p_0$, но и изменение вида т.-и.х. от монотонного с отрицательной крутизной при малом p до экстремального при большом p .

Очевидно, для выяснения вопроса о виде т.-и.х. in vivo необходимо оценить величину p миокарда при работе сердца в организме. В первом приближении это можно сделать, исходя из венозного давления и размеров желудочка сердца (¹², ¹³): (венозное давление) · (\varnothing желудочка) = $4p$ · (толщина стенки желудочка). Привяв максимальное венозное давление равным 20 мм Н₂O (⁸), диаметр желудочка 6 мм и толщину стенки желудочка 1,5 мм, получим для миокарда плотвы $p = 200$ н/м². Следовательно, при работе сердца в организме растяжение миокарда не достигает величин, существенно влияющих на т.-и.х., и она является падающей с отрицательной кривизной.

Институт экологии растений и животных
Уральского научного центра Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
27 IX 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. Цион, Курс физиологии, 1, СПб, 1873, стр. 133. ² S. Hajdu, A. Szent-Georgy, Am. J. Physiol., 168, 159 (1952). ³ G. A. Langer, A. J. Brady, J. Gen. Physiol., 52, 682 (1968). ⁴ L. A. Yetman, W. W. Parmley, E. H. Sonnenblick, Am. J. Physiol., 217, 1030 (1969). ⁵ Г. Прехт, В сборн. Клетка и температура среды, «Наука», 1964, стр. 206. ⁶ C. P. Hickman, R. A. McNabb et al., Canad. J. Zool., 42, 577 (1964). ⁷ C. L. Prosser, W. Mackey, K. Kato, Physiol. Zool., 43, 81 (1970). ⁸ D. P. Toews, C. P. Hickman, Comp. Biochem. Physiol., 29, 905 (1969). ⁹ R. L. Kaufmann, A. Fleckenstein, Pflüg. Arch., 285, 1 (1965). ¹⁰ R. L. Kaufmann, M. J. Lab et al., Pflüg. Arch., 324, 100 (1971). ¹¹ M. J. Lab, S. Afr. J. Med. Sci., 33, 60 (1968). ¹² Р. Александр, Биомеханика, М., 1970, стр. 170. ¹³ R. H. McDonald, R. R. Taylor, H. E. Cingalani, Am. J. Physiol., 211, 667 (1966). ¹⁴ J. C. Mott, In: Physiology of Fishes, N. Y., 1, 1963, p. 91.