

М. А. ЯКИМЕНКО, Е. Я. ТКАЧЕНКО, К. П. ИВАНОВ, А. Д. СЛОНИМ

О ПОВЫШЕНИИ ТЕПЛОПРОДУКЦИИ МЫШЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ
ПОД ВЛИЯНИЕМ НОРАДРЕНАЛИНА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 7 XII 1970)

Показано (¹⁻⁸), что введение норадреналина белым крысам и некоторым другим животным вызывает повышение теплообразования и температуры тела. Этот эффект особенно четко проявляется на белых крысах, предварительно адаптированных к пребыванию при низкой температуре (0—4°). Повышение теплопродукции при этом объясняют интенсификацией «несократительного термogenesis» скелетной мускулатуры и внутренних органов.

Нами было обнаружено, что после адаптации к холоду возрастает температурный эффект мышечных сокращений при движениях, холодовой дрожи и терморегуляторном тонусе (^{9, 10}). В настоящей работе проведены аналогичные исследования после введения животным норадреналина.

10 крыс адаптировали к температуре 2—4° в течение 6 недель. 10 крыс служили в качестве контроля. Они содержались 2 месяца при температуре 24—25°. Для опыта животные отсаживались в специальные узкие клеточки. В шейную мышцу вводилась тонкая медно-константановая термopapa. Непосредственно у спая термopapы располагались электроды для регистрации мышечной активности, так что в одной точке мышцы одновременно измерялась температура и электрическая активность мышцы. Животные помещались в термокамеру с температурой 22°. Норадреналин вводился подкожно в дозе 200 мкг на 1 кг веса. До и после введения норадреналина подвергались анализу явления сократительной активности мышц, а именно: при движениях головы, при редких приступах холодовой дрожи и при кратковременных (несколько секунд) повышениях терморегуляторного тонуса. Исследовались отношения между интенсивностью сократительной активности (по интегралу площади биопотенциалов мышцы) и температурным эффектом мышечного сокращения (по максимальному приросту температуры данной мышцы в месте отведения биопотенциалов). Максимальная чувствительность нашего термоизмерительного прибора 0,0003°/мм. Постоянная времени не превышала 0,4 сек. Технические подробности описаны ранее (¹¹).

Так как температура шейной мышцы крысы равна или даже несколько превышает температуру «ядра» тела (⁹), предполагалось, что повышение температуры мышцы при сокращении не зависит от изменений кровотока. Всего на 20 животных, контрольных и адаптированных к холоду, зафиксировано 579 сократительных реакций. Результаты обрабатывались статистически: вычислялись коэффициенты корреляции и уравнения регрессии.

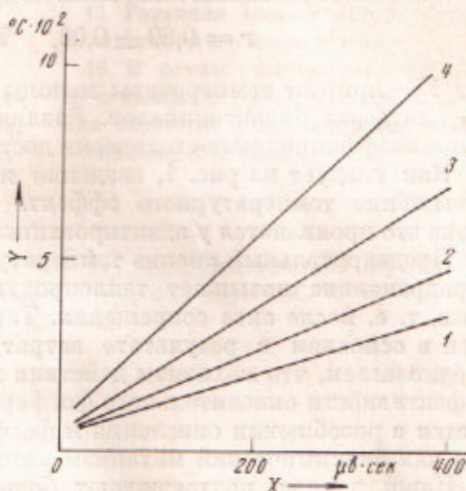


Рис. 1. Зависимость прироста температуры мышцы (Y) от величины сократительной активности (X): для контрольных животных (1), с введением норадреналина (2), для адаптированных к холоду животных (3), то же с введением норадреналина (4)

На рис. 1 изображены полученные линии регрессии для контрольных животных до и после введения норадреналина и для адаптированных к холоду животных также до и после введения норадреналина. Ниже приводятся коэффициенты корреляции (r) и уравнения регрессии для контрольных животных до введения норадреналина

$$r = 0,8 \pm 0,08, \quad Y = 40,8 + 0,85 X; \quad (1)$$

для контрольных животных после введения норадреналина

$$r = 0,88 \pm 0,06, \quad Y = 24,3 + 1,16 X; \quad (2)$$

для адаптированных животных до введения норадреналина

$$r = 0,87 \pm 0,09, \quad Y = 44,7 + 1,66 X; \quad (3)$$

для адаптированных животных после введения норадреналина

$$r = 0,89 \pm 0,08, \quad Y = 68,1 + 2,5 X, \quad (4)$$

где Y — прирост температуры мышцы в десятитысячных долях градуса и X — интеграл биоэлектрических потенциалов. Различия между соответствующими угловыми коэффициентами статически достоверны ($P > 0,05-0,001$).

Как следует из рис. 1, введение животным норадреналина вызывает повышение температурного эффекта мышечных сокращений. Особенно резко это проявляется у адаптированных к холоду животных.

Предварительный анализ температурных кривых показал, что введение норадреналина повышает теплопродукцию мышцы в восстановительной фазе, т. е. после акта сокращения. Так как в этой фазе тепло освобождается в основном в результате затрат энергии на ресинтез макроэргов, предполагаем, что механизм действия норадреналина состоит в изменении эффективности окислительного фосфорилирования. Возможно, дело заключается в разобщении окисления и фосфорилирования, часто рассматриваемое как биохимический механизм химической терморегуляции (¹²⁻¹⁵).

Наши данные подтверждают более ранние исследования о значении симпатической нервной системы в терморегуляции (¹⁶⁻¹⁸). Они, однако, позволяют совершенно по-новому представить действие симпатических медиаторов в повышении теплопродукции мышц. Это действие состоит в усилении теплопродукции не в покое, а при сокращении мышц адаптированных к холоду животных. Таким образом, вопреки широко распространенному мнению (¹⁻⁸), можно полагать, что после адаптации к холоду сократительный термогенез остается основным источником теплообразования при химической терморегуляции.

Институт физиологии
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
30 XI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ F. Derocas, *Canad. J. Biochem. Physiol.*, **38**, 107 (1960). ² O. Héroux, *Canad. J. Biochem. Physiol.*, **39**, 1829 (1961). ³ T. Davis, *Federat. Proc.*, **22**, 777 (1963). ⁴ L. Jansky, J. Hart, *Canad. J. Biochem. Physiol.*, **41**, 953 (1963). ⁵ L. Jansky, *Acta univ. caroliniae biologica*, № 1, 1 (1965). ⁶ K. Brück, B. Wünnenberg, *Federat. Proc.*, **25**, 1332 (1966). ⁷ M. Tanche, A. Thermanias, *Federat. Proc.*, **28**, 1257 (1969). ⁸ К. Брюк, В. Вюнненберг, Е. Цейсбергер, *Терморегуляция. Адаптация к холоду. Матер. симпозиума: Адаптация организма человека и животных к экстремальным природным факторам среды*, Новосибирск, 1970. ⁹ К. П. Иванов, Е. Я. Ткаченко, М. А. Якименко, *Физиол. журн. СССР*, **56**, № 10, 1438 (1970). ¹⁰ Е. Я. Ткаченко, К. П. Иванов, *Физиол. журн. СССР*, **57**, № 1, 111 (1971). ¹¹ М. А. Якименко, *Физиол. журн. СССР*, **56**, № 12, 1861 (1970). ¹² K. Smith, A. Fairhurst, *Federat. Proc.*, **17**, 151 (1958). ¹³ С. А. Нейфах, *Тр. IX съезда физиологов, биохимиков, фармакологов*, Изд. АН СССР, 1959, стр. 193. ¹⁴ В. П. Скулачев, С. П. Маслов, *Биохимия*, **25**, 1058 (1960). ¹⁵ В. П. Скулачев, *Аккумуляция энергии в клетке*, «Наука», 1969. ¹⁶ H. Freund, S. Janssen, *Pflüg. Arch.*, **200**, 96 (1923). ¹⁷ W. Cannon, H. Newton et al., *Am. J. Physiol.*, **89**, 84 (1929). ¹⁸ Л. А. Орбели, А. В. Тонких, *Физиол. журн. СССР*, **24**, 243 (1938).