

УДК 612.55:612.59:616—003.96

В. А. Лекаx

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ КРЫС ПРИ АДАПТАЦИИ К ПОВТОРНЫМ ТЕПЛОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

До настоящего времени не уделялось специального внимания проблеме индивидуальных различий в адаптационных способностях особей одного и того же вида. Соответственно не ставилась задача выявления показателей, которые коррелировали бы с эффективностью индивидуальной адаптации, развивающейся по мере повторных воздействий того или иного фактора. Между тем, обнаружение таких показателей имеет несомненное значение как в теоретическом плане, так и для практических целей, например, для прогнозирования эффективности последующей адаптации по ранним ее стадиям и для разработки оптимальных режимов индивидуального адаптирования.

Известно, что индивидуальные особенности реакций регуляторных систем организма на функциональные нагрузки проявляются, в частности, в различном протекании переходных процессов в этих системах.

В задачу настоящего исследования входило выяснить на примере тепловой адаптации крыс, существуют ли характеристики переходного процесса в системе терморегуляции, которые значимо коррелировали бы с изменениями тепловой устойчивости в ходе повторных воздействий высокой температуры среды и, следовательно, могли бы иметь прогностическое значение при определении потенциальных адаптационных возможностей организма.

Методика исследований

Исследование проведено на десяти нелинейных белых крысах обоего пола, весом 170—190 г. Каждую крысу содержали в отдельной клетке на стандартном рационе [1]. Вначале на всех животных ставили тестирующий опыт для определения исходной тепловой устойчивости; затем каждую крысу в течение 2 нед 4—5 раз подвергали 1 ч воздействию высокой температуры (тренировочный опыт), после чего снова проводили тестирующий опыт для определения изменений тепловой устойчивости и т. д. Всего на каждом животном поставлено по 33—35 экспериментов с воздействием высокой температуры, из них по 7 тестирующих. Тепловая экспозиция во всех случаях проводилась при температуре внешней среды 42 °C. В условиях высокой температуры среды у крыс и некоторых других видов животных происходит первоначальное повышение температуры тела на несколько градусов с последующим сохранением нового установившегося уровня («плато») [7, 9, 13—15]. Вторичное повышение температуры тела (срыв «плато») заканчивается быстрой гибелью животного, если тепловая нагрузка не прекращается. Нами было установлено [2], что адекватным показателем тепловой устойчивости крысы является продолжительность сохранения плато в условиях высокой внешней температуры. Для проведения тестирующего опыта крысу помещали в термостат при температуре 42 °C и выдерживали ее в этих условиях до тех пор, пока температура тела не превышала уровень, на котором первоначально устанавливалось плато. В случае отсутствия плато тепловую нагрузку продолжали до тех пор, пока температура тела не достигала 42 °C. У всех животных измеряли температуру тела в прямой кишке на глубине 5 см с помощью электротермометра. Измерения повторяли каждые 2 мин, что позволяло с достаточной точностью построить кривую переходного процесса. Выделение слюны и размазывание ее по поверхности тела является основным механизмом теп-

лоотдачи у крыс при температурах среды, превышающих 36 °С [7, 8, 10], поэтому мы использовали станок специальной конструкции, в котором фиксировали только хвост и крестец крысы, оставляя переднюю часть тела полностью подвижной. Ректальный датчик температуры находился в прямой кишке на протяжении всего опыта, его кабель приматывали к хвосту липкой лентой.

Результаты исследований

В предварительных экспериментах было установлено, что при тепловом воздействии переходный процесс температуры тела крыс включает несколько основных стадий (рис. 1). В обычных температурных

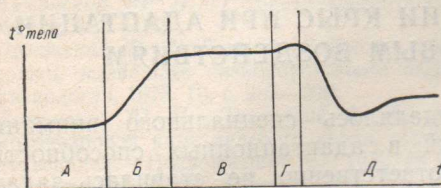


Рис. 1. Общий вид кривой переходного процесса в системе терморегуляции крыс (изменения температуры тела) в условиях теплового воздействия.

Пояснения в тексте.

условиях температура тела после фиксации крысы в станке находится на постоянном уровне (А), а после начала теплового воздействия повышается (Б) до нового установившегося уровня (плато), на котором

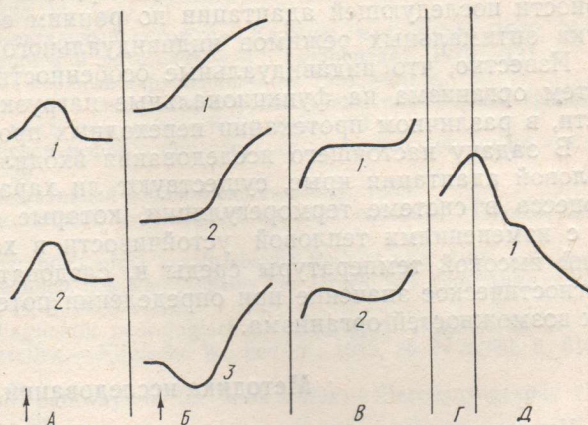


Рис. 2. Индивидуальные вариации участков кривой переходного процесса в системе терморегуляции крыс.

Стрелками обозначено введение ректального датчика (А) и начало теплового воздействия (Б). Пояснения в тексте.

удерживается (В) некоторое время. После окончания (срыва) плато происходит вторичное повышение температуры тела (Г) вплоть до летального исхода. Поэтому в момент срыва плато, как уже указывалось, тепловое воздействие всегда прекращалось, после чего температура тела быстро снижалась (Д).

Благодаря тому, что в наших исследованиях температура тела крыс измерялась каждые 2 мин на протяжении всего эксперимента, удалось обнаружить, что кривая переходного процесса, приведенная в общем виде на рис. 1, имеет ряд особенностей, которые неодинаково проявляются у разных животных (рис. 2).

Прежде всего само введение ректального датчика, как правило, вызывает повышение температуры тела, иногда до 1,5 °С с последующим возвращением ее к исходному уровню (А1) или стабилизацией на более высоком уровне (А2). Подобное явление описано рядом авторов [6, 12] и свидетельствует о том, что при измерениях ректальной температуры у крыс исследование можно начинать только после окончания периода, связанного с реакцией на введение датчика.

Наиболее существенно с начальной стадией здесь возможны три типа реакции: 1) температура тела сразу же после фиксации животного и лишь после этого происходит ее повышение; 2) температура тела сразу же после фиксации животного и лишь после этого происходит ее повышение; 3) температура тела сразу же после фиксации животного и лишь после этого происходит ее повышение.

После установившегося уровня: в виде прямой (называем «вырожденной») — температура тела продолжает возрастать, превышая критический уровень, поддерживающий жизнь.

Наконец, в стадии плато была обнаружена характерная особенность: температура тела крысы на некоторое время происходит ее повышение, а затем происходит ее снижение (перелом, который является началом восстановления (Д1)). Температура тела продолжает возрастать.

После установившегося уровня, так и ее индивидуальность сопоставить эти особенности с теплоустойчивостью.

Было подтверждено, что в условиях тепловой устойчивости крысы в тестирующем опыте индивидуальные особенности отсутствовали как в плато, так и в остальных. Из остальных плато в ходе повторных экспериментов разной степени, а у некоторых животных — вообще отсутствовали. Таким образом, у одних животных плато не наблюдается, у других — оно может быть оптимальным, у третьих — оно может быть оптимальным.

Исходя из поставленной задачи, мы попытались выяснить, можно ли кривой переходного процесса, а также в целом было выделено несколько типовых кривых (СПТУ) за время

Наиболее существенная особенность переходного процесса связана с начальной стадией теплового воздействия. Было установлено, что здесь возможны три типа кривой: постепенное повышение температуры тела сразу же после начала экспозиции животного в термостате (*B1*), сохранение температуры в течение нескольких минут на постоянном уровне и лишь последующее ее повышение (*B2*) и, наконец, реакция, которую в термодинамике открытых систем принято обозначать как переход по типу ложного старта [4]: начальное снижение температуры тела в первые минуты теплового воздействия и повышение ее на последующем этапе (*B3*). Как будет показано ниже, именно реакция по типу ложного старта, а также по типу *B2*, который можно рассматривать как «вырожденный» ложный старт, наиболее показательны в прогностическом отношении.

После установления плато возможны два варианта его поддержания: в виде прямой (*B1*) и в виде дуги (*B2*). Последний вариант мы называем «вырожденным» плато, при нем температура тела в ходе продолжающегося теплового воздействия несколько снижается, а затем возрастает, превышая в конечном счете уровень, на котором первоначально поддерживалось плато.

Наконец, в стадии восстановления на кривой температуры тела была обнаружена характерная особенность, наблюдавшаяся у всех без исключения животных. После прекращения тепловой экспозиции температура тела крысы начинает быстро снижаться. При этом через некоторое время происходит кратковременная — на 1—2 мин задержка. Температура тела в этот момент остается постоянной, а на кривой наблюдается перелом, который мы обозначаем как первый минимум стадии восстановления (*D1*). После прохождения первого минимума температура тела продолжает снижаться, однако уже с другой скоростью.

После установления как общего вида кривой переходного процесса, так и ее индивидуальных особенностей, мы предприняли попытку сопоставить эти особенности с характером индивидуальных изменений тепловой устойчивости крыс в ходе повторных тепловых воздействий.

Было подтверждено, что основным показателем повышения тепловой устойчивости крысы является увеличение продолжительности плато в тестирующем опыте (табл. 1). Однако, при этом отмечаются существенные индивидуальные особенности. Так, у двух крыс из десяти плато отсутствовало как в первом опыте с тепловой нагрузкой, так и во всех остальных. Из остальных восьми крыс у шести продолжительность плато в ходе повторных тепловых воздействий увеличилась, причем в разной степени, а у двух — не только не возросла, но даже уменьшилась. Таким образом, в ходе адаптирования тепловая устойчивость у одних животных повысилась, а у других снизилась. Полученные данные свидетельствуют о том, что один и тот же режим адаптации не может быть оптимальным для всех животных даже в пределах относительно небольших выборок.

Исходя из поставленной в данном исследовании задачи, мы попытались выяснить, можно ли среди показателей, получаемых при анализе кривой переходного процесса температуры тела в условиях тепловой нагрузки, выделить такие, которые значимо коррелировали бы с эффективностью тепловой адаптации, определяемой по изменениям продолжительности плато. С этой целью при обработке кривой переходного процесса, а также при анализе результатов исследования в целом было выделено 34 показателя. Далее вся экспериментальная выборка была ранжирована по степени повышения тепловой устойчивости (СПТУ) за весь период адаптирования (табл. 1) с одной сто-

роны и по каждому из упомянутых 34 показателей — с другой. Затем были вычислены коэффициенты ранговой корреляции Спирмена R для полученных рядов. Из 34 коэффициентов 3 оказались значимыми и еще 2 были близкими к 5 % уровню значимости. Ниже приводятся значения коэффициентов с указанием пар сравниваемых показателей.

Таблица 1

Изменения тепловой устойчивости белых крыс в ходе повторных воздействий высокой температуры среды (42°C)

№ крысы	Продолжительность плато в среднем (мин)		Разность	Ранг
	Первые три тестирующих опыта	Последние три тестирующих опыта		
1	134	99	—35	10
2	90	68	—22	9
3	155	230	75	5
4	0*	0*	0	7,5
5	0*	0*	0	7,5
6	124	223	99	3
7	113	350	237	2
8	75	144	69	6
9	—*	366	366	1
10	95	176	81	4

* — плато отсутствовало

1. СПТУ — количество опытов, в которых отмечался ложный старт (в процентах от общего числа опытов с тепловым воздействием) $R=0,71$ ($p<0,02$).

2. СПТУ — величина отношения продолжительности периода ложного старта к продолжительности последующего периода выхода на плато (в среднем из всех опытов с тепловым воздействием). $R=0,81$ ($p<0,005$).

3. СПТУ — разность между уровнем температуры тела в момент окончания теплового воздействия и уровнем первого минимума (в среднем из всех опытов с тепловым воздействием). $R=0,66$ ($p<0,05$).

4. СПТУ — скорость изменения температуры тела при снижении ее до уровня первого минимума (в среднем из всех опытов с тепловым воздействием). $R=0,59$ ($p<0,1$).

5. СПТУ — количество опытов, в которых плато носило вырожденный характер (в процентах от общего количества тестирующих опытов). $R=0,64$ ($p<0,1$).

В табл. 2 приведены подробные сведения по каждому из первых трех перечисленных показателей, а в табл. 3 — значения коэффициентов ранговой корреляции между всеми парами этих показателей и степенью повышения тепловой устойчивости в ходе адаптации.

Из полученных данных следует, что для прогнозирования изменений тепловой устойчивости в ходе адаптирования информативными показателями являются наличие выраженного ложного старта в начальной стадии экспозиции животного при высокой температуре и относительно быстрое появление первого минимума в восстановительном периоде, т. е. при сравнительно меньшем снижении температуры тела. Наиболее существенным, по-видимому, является наличие ложного старта. Как видно из табл. 3, отношение продолжительности периода ложного старта к продолжительности последующего периода выхода температуры тела на плато дает величины, позволяющие разделить животных на две группы — с потенциально высокой адаптивной способностью (величина отношения больше 15 %) и с потенциально низкой (величина отношения меньше 15 %). Единственное исключение

представляет крыса № исследования оставалась величина отношения

Показатели переходного периода белых крыс

№ крысы	Количество опытов (в %), в которых имел место ложный старт	
	Значение показателя	Ранг
1	37	9
2	14	10
3	81	5
4	40	8
5	45	7
6	64	6
7	43	8
8	50	7
9	78	4
10	58	6

Корреляция (величина СПТУ) в ходе адаптации

Сравниваемые показатели	Среднее значение
СПТУ	
1	0
2	0
3	0

Примечание. * p — см. текст.

Для дополнительного исследования были вычислены значения отношения продолжительности ложного старта к продолжительности последующего периода выхода температуры тела на плато. Это отношение говорит о высокой адаптивной способности животного.

Обсуждение

Полученные данные позволяют предположить, что животные с высокой адаптивной способностью имеют прогностически значимые изменения температуры тела в ходе адаптации к тепловым воздействиям.

представляет крыса № 4, у которой тепловая устойчивость в ходе всего исследования оставалась на исходном низком уровне, в то время как величина отношения составила в среднем 17,7 %.

Таблица 2

Показатели переходного процесса (в среднем из всех опытов) в системе терморегуляции белых крыс при воздействии высокой температуры среды

№ крысы	Количество опытов (в %), в которых имел место ложный старт		Величина отношения продолжительности периода ложного старта к продолжительности последующего периода выхода на плато (в %)		Разность между уровнем температуры тела в момент окончания теплового воздействия и уровнем первого минимума (°C)	
	Значение показателя	Ранг	Значение показателя	Ранг	Значение показателя	Ранг
1	37	9	11,6	9	3,93	2
2	14	10	10,4	10	3,77	3
3	81	1	21,4	2	2,83	10
4	40	8	17,7	5	3,64	5
5	45	6	14,0	8	4,02	1
6	64	3	20,2	3	3,32	8
7	43	7	16,0	6	3,39	6
8	50	5	15,2	7	3,36	7
9	78	2	27,5	1	3,25	9
10	58	4	18,3	4	3,72	4

Таблица 3

Корреляция (величина R) между степенью повышения тепловой устойчивости (СПТУ) в ходе индивидуальной адаптации и некоторыми показателями переходного процесса в системе терморегуляции белых крыс

Сравниваемые показатели	СПТУ	1	2	3
СПТУ		0,70*	0,81*	0,66*
1	0,70*		0,88***	0,77**
2	0,81**	0,88***		0,82**
3	0,66*	0,77**	0,82**	

Примечание. * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$. Значения показателей — см. текст.

Для дополнительной проверки прогностического значения данного показателя были вычислены коэффициенты ранговой корреляции между величиной отношения в среднем из первых двух, трех, четырех и пяти тестирующих опытов и степенью повышения тепловой устойчивости, достигнутой каждым животным к концу исследования. Полученные значения коэффициента равны соответственно 0,72; 0,70; 0,66; 0,77, что говорит о высокой прогностической достоверности рассматриваемого показателя.

Обсуждение результатов исследований

Полученные данные свидетельствуют о том, что некоторые показатели переходного процесса в системе терморегуляции крыс могут иметь прогностическое значение для определения характера индивидуальных изменений тепловой устойчивости организма в ходе повторных тепловых воздействий.

Пока мы не можем говорить о конкретных механизмах, лежащих в основе обнаруженных зависимостей. Однако некоторые общие соображения целесообразно высказать уже на данном этапе исследования. Прежде всего корреляцию с тепловой устойчивостью следует искать среди показателей именно переходного процесса, отражающего изменения **выходной** переменной [11] данной системы регулирования. Применительно к системе терморегуляции такой величиной является температура тела. Не случайно при попытках сопоставлять тепловую устойчивость с другими показателями, не имеющими прямого отношения к выходной переменной, были получены очень низкие и незначимые коэффициенты корреляции [3].

Что касается найденных нами показателей переходного процесса, то они, видимо, отражают какие-то особенности кинетики реакций, лежащих в основе перестройки терморегуляции в условиях функциональной нагрузки. Действительно, реакция по типу ложного старта является одним из трех основных типов перехода открытой системы от одного стационарного состояния к другому [4]. Обнаруженное же нами явление перелома (первого минимума) на кривой изменения температуры тела в восстановительном периоде, возможно, отражает момент, когда одна ведущая реакция сменяется другой [5], т. е. момент переключения в работе регуляторных механизмов. Оба эти показателя таким образом могут косвенным путем характеризовать кинетические параметры систем.

Резюмируя, можно высказать следующие два основных положения. Во-первых, кривая переходного процесса, отражающая изменения температуры тела крысы при переходе системы терморегуляции от одного стационарного состояния к другому (что наблюдается в условиях воздействия высокой температуры среды), обладает характерными индивидуальными особенностями. При анализе переходного процесса можно выделить показатели, позволяющие прогнозировать предстоящие изменения индивидуальной тепловой устойчивости в ходе повторных воздействий высокой температуры среды. На этом основании в каждой группе животных можно разграничить особей, обладающих потенциально высокой и потенциально низкой способностью к повышению тепловой устойчивости в ходе повторных воздействий теплового фактора.

Во-вторых, указанные особенности переходного процесса связаны, очевидно, со специфической кинетикой реакций, лежащих в основе функциональной перестройки организма как при реагировании на однократную нагрузку, так и при адаптации к повторным воздействиям.

Литература

1. Западнюк И. П., Западнюк В. И., Захария Е. А. Лабораторные животные. Киев: Высшая школа, 1974. 303 с.
2. Леках В. А. Критерии тепловой устойчивости и индивидуальные особенности.—Физиол. журн., СССР, 1978, 64, № 6, с. 835—842.
3. Максимович В. А., Гребняк В. П., Золотаренко В. П. Определение информативных признаков для прогнозирования тепловой устойчивости человека.—Врачебное дело, 1975, № 7, с. 135—137.
4. Пасынский А. Г. Биофизическая химия. М.: Высшая школа, 1963. 432 с.
5. Тарусов Б. Н. / ред., Биофизика. М.: Высшая школа, 1968. 467 с.
6. Castrova A., Pekarek J., Svejcar I. Some conditions for measuring the rectal temperature in rats.—Z. Versuchstierkunde, 1966, 8, N 5, S. 300—312.
7. Hainsworth F. R. Saliva spreading, activity and body temperature regulation in the rat.—Amer. J. Physiol., 1967, 212, N 6, p. 1288—1292.
8. Hainsworth F. R. Evaporative water loss from rats in the heat.—Amer. J. Physiol., 1968, 214, N 5, p. 979—982.
9. Hainsworth F. R., Stricker E. M., Epstein A. N. Water metabolism of rats in the heat: dehydration and drinking.—Amer. J. Physiol., 1968, 214, N 5, p. 983—989.

10. Hainsworth F. R., Stricker E. M. Salivation.—Amer. J. Physiol., 1967, 212, N 6, p. 1288—1292.
11. Milsum J. H. (1966).—Quart. Rev. Biol., 1968, 501 с.
12. Poole S., Stephenson J. A. Salivary gland measurements.—Physiol. Zool., 1968, 41, N 1, p. 1—10.
13. Sticker E. M., Hainsworth F. R. Water loss from the tail.—Quart. Rev. Biol., 1968, 43, N 1, p. 1—10.
14. Schmidt-Nielsen K. (1966).—Quart. Rev. Biol., 1968, 43, N 1, p. 1—10.
15. Wright G., Knecht E. A. Thermal resistance and heat loss.—Physiol., 1977, 43, N 1, p. 1—10.

Кафедра нормальной физиологии
Донецкого медицинского университета

PECULIARITIES OF RATS' ADAPTATION TO HIGH TEMPERATURE

Investigations carried out in the Department of Normal Physiology, Donetsk Medical University, have shown that the curve of the transition process, reflecting changes in body temperature of a rat when the system of thermoregulation passes from one stationary state to another (which is observed under the influence of high temperature of the environment), possesses characteristic individual features. It is possible to distinguish certain indicators which make it possible to predict the forthcoming changes in individual thermal stability in the course of repeated actions of high temperature of the environment. On this basis it is possible to distinguish in each group of animals individuals possessing a potentially high and a potentially low capacity for increasing thermal stability in the course of repeated actions of the thermal factor.

Department of Normal Physiology,
Institute, Donetsk Medical University

10. Hainsworth F. R., Stricker E. M. Evaporative cooling in the rat, effect of partial desalivation.— Amer. J. Physiol., 1969, 217, N 2, p. 494—497.
11. Milsum J. H. (1966). Милсум Дж. Анализ биологических систем управления. М.: Мир, 1968. 501 с.
12. Poole S., Stephenson J. D. Core temperature: some shortcoming of rectal temperature measurements.— Physiol. and Behav., 1977, 18, N 2, p. 203—205.
13. Sticker E. M., Hainsworth F. R. Evaporative cooling in the rat, interaction with heat loss from the tail.— Quart J. Exp. Physiol., 1971, 56, N 4, p. 231—241.
14. Schmidt-Nielsen K. (1972). Шмидт-Нильсен К. Как работает организм животного. М.: Мир, 1976. 141 с.
15. Wright G., Knecht E., Wasserman D. Colonic heating patterns and the variation of thermal resistance among rats.— J. Appl. Physiol., Respir. Environ. and Exercise Physiol., 1977, 43, N 1, p. 59—64.

Кафедра нормальной физиологии
Донецкого медицинского института

Поступила в редакцию
25.VIII 1978 г.

V. A. Lekakh

PECULIARITIES OF TRANSITION PROCESS IN THE SYSTEM
OF RATS THERMOREGULATION UNDER INDIVIDUAL
ADAPTATION TO REPEATED HEAT EFFECTS

Summary

Investigations carried out with albino rats show that under repeated effects of the environmental high temperature (42 °C) there occurs an increase in heat stability of most animals due to adaptation. The shape of the transition process curve of the rat body temperature under heat effect and in the recovery period is different in animals with different level of adaptation shifts. The indices of the transition process which permit the efficiency of heat adaptation to be predicted are found by means of correlation analysis.

Department of Normal Physiology, Medical
Institute, Donetsk