

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЯДРА И ОБОЛОЧКИ НА ТЕПЛОВОЙ
ГОМЕОСТАЗИС НЕКОТОРЫХ ЖИВОТНЫХ

Ю.И. ЛУЧАКОВ*, П.Д. ШАБАНОВ*, А.А. НЕСМЕЯНОВ**, А.А. ХАДАРЦЕВ***

*Институт физиологии РАН им. И.П. Павлова, наб. Макарова, 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 199034

**Военно-медицинская академия, ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, Россия,

***Тульский государственный университет, пр-т Ленина, д. 92, г. Тула, Россия, 300012

Аннотация. В работе исследовался процесс терморегуляции в термонеutralной зоне кролика и коровы. Изучали также процессы теплопередачи при испарении воды в различных объемах и с разными поверхностями на матричных инфракрасных камерах со скоростными компьютерными системами захвата и обработки изображений с программным обеспечением. Были использованы как экспериментальные, так и модельные исследования на животных. Установлено, что в тканях ядра поддерживается тепловой гомеостазис при изменении температуры среды в пределах термонеutralной зоны за счет механизма изменения размеров ядра и оболочки, а не за счет изменения энергоемких процессов теплопродукции и теплоотдачи. Это постоянство температуры ядра подтверждается установлением фрактальных процессов теплообмена, зависящих от фазы адаптационного процесса. Показано, что большая величина у такого крупного животного как корова, по сравнению с кроликом, обусловлена большей величиной её оболочки, за счет которой и происходят изменения размеров ядра.

Ключевые слова: тепловой гомеостазис, терморегуляция, термонеutralная зона, механизмы адаптации, инфракрасные камеры.

THE INFLUENCE OF THE RATIO OF THE CORE SIZE AND SHELL ON HEAT HOMEOSTASIS OF
SOME ANIMALS

YU. LUCHAKOV*, P.D. SCHABANOV*, A.A. NESMEYANOV**, A.A. KHADARTSEV***

*Institute of physiology I.P.Pavlov of RAS, nab. Makarova, 6, St. Petersburg, Russia, 199034

**Military medical Academy, Academician Lebedev street, 6, St. Petersburg, Russia

***Tula state University, Prospekt Lenina 92, Tula, Russia, 300012

Abstract. This paper presents the results of study of the thermoregulation in the thermo-neutral zone in rabbit and cow, also the processes of heat transfer during the evaporation of water in different sizes and with different surfaces on matrix infrared cameras with high-speed computer systems capture and image processing software. Experimental and modelling studies on animals were used. It was established that in the tissues of kernel the heat homeostasis is supported when the temperature of the environment within the thermo-neutral zone due to the mechanism of changing the size of the kernel and the shell, not by changing the energy-intensive processes of heat production and heat loss. This consistency of core temperature is confirmed by the determination of the fractal processes of heat exchange, depending on the phase of the adaptation process. It is shown that a large magnitude in such a big animal like a cow, in comparison with a rabbit, due to the larger size of its sheath, through which changes the size of the nucleus.

Key words: heat homeostasis, heat regulation, thermo-neutral zone, mechanisms of adaptation, infrared camera.

Поддержание постоянной температуры организм теплокровного животного и человека осуществляется с помощью химической и физической регуляции. При пониженных температурах среды включается внутренний механизм защиты организма от охлаждения, в результате чего увеличивается теплопродукция (повышается тонус мышц, возникает дрожь). При слишком больших температурах среды в организме наоборот усиливается теплоотдача (увеличивается выделение пота, частота дыхания). Однако существует зона внешних температур, так называемая *термонеutralная зона* (термонеutralной зоне), когда, несмотря на изменение температуры среды, при фактически постоянных процессах теплопродукции и теплоотдачи, температура гомойотермных животных неизменна. В границах этой зоны функционирование системы терморегуляции, а также других физиологических систем организма, осуществляется с наименьшими энергетическими затратами, из-за чего эта температурная зона является благоприятной для жизнедеятельности человека и гомойотермных животных [22, 23, 26, 31]. Изменения температуры среды в этой зоне бывают достаточно большими. Так по данным [2, 7, 32] для крупных млекопитающих ТНЗ может достигать 10 и более градусов. При этом температура тела животного не меняется, несмотря на фактически неизменную теплопродукцию и теплоотдачу.

В адаптивных процессах работают два контура, первый из которых связан с энергетически расточительными процессами, обеспечивающими поиск нового решения или выхода из создавшейся ситуации. Второй контур реализуется во внутренней среде и связан с активацией неспецифических механизмов адаптации (*кататоксических* или *синтоксических*), проявляющихся стандартным комплексом метаболических и физиологических изменений (активацией или торможением адренореактивных структур мозга, активацией или депрессией антиоксидантных и противосвертывающих механизмов крови с явлениями иммуносупрессии или иммуноактивации) [14].

Доказано, что воздействие холодом сопровождается стадийностью развития адаптации. Для первой фазы (фазы активации) адаптивного процесса к криовоздействию характерно доминирование *кататоксических программ адаптации*, проявляющихся развитием стресс-реакции с активацией адренореактивных структур мозга, депрессией клеточного и активацией гуморального иммунитета. Для второй фазы – фазы повышенной устойчивости адаптивного процесса к холоду, характерно доминирование *синтоксических программ адаптации*, проявляющихся активацией холинореактивных структур мозга, антиоксидантных и противосвертывающих механизмов крови с депрессией клеточного и гуморального иммунитета. Для третьей фазы адаптивного процесса (фазы истощения) на холод характерен возврат *кататоксических программ* с явлениями депрессии антиоксидантных и противосвертывающих механизмов крови и развитием вторичного иммунодефицита [20].

Цель исследования – изучение теплового гомеостаза у теплокровных животных в их термонейтральной зоне и выяснения причин большого различия величины этой зоны у больших (корова) и малых животных (кролик).

Объекты и методы исследования. В работе были использованы как экспериментальные, так и модельные исследования. Экспериментальные работы проводились на кроликах породы шиншилла, вес которых составлял 2,5-3 кг. Измерения проводили в специально оборудованной тепловой камере, в которой с помощью холодильных и нагревательных аппаратов температура – или поддерживалась на определенном уровне, или изменялась в заданном режиме. Для проведения опытов кролики предварительно приучались к условиям экспериментов, поэтому при их осуществлении – они спокойно сидели в течение всего времени эксперимента.

В экспериментах измеряли температуру тела на поверхности спины, живота, головы, лап и ушей животного, а также ректальную температуру. Для этого термометру помещали в тонкий полиэтиленовый чехол и вводили перед началом опытов в прямую кишку животного на глубину не менее чем 5 см и лейкопластырем фиксировали у корня хвоста животного. Температуру в термокамере измеряли на расстоянии 15-20 см от тела животного. Для измерения глубинной температуры оболочки животного использовалась методика [17, 18]. Для этого кожа и подкожные слои собирались в складку и приподнимались над телом животного, после чего тонкой иглой эта складка прокалывалась на определенной глубине, а в просвет иглы вводили термометр. Потом медленно извлекали иглу из внешних тканей кролика, а термометры оставляли в сформированном тканевом канале. Это позволяло измерять как поверхностную, так и глубинную температуру.

Кроме того, изучили процессы теплопередачи при испарении воды в различных объемах и с разными поверхностями. В работе также использовались матричные *инфракрасные* (ИК) камеры двух типов:

– *охлаждаемые камеры* типа *JADE* на основе матрицы КРТ-фотоприемников размером 320x240, и типа *TITANIUM* на основе матрицы фотоприемников из антимоноида индия размером 320x256, обе камеры на спектральный диапазон 3-5 мкм, фирмы *CEDIP*, Франция;

– *неохлаждаемая микроболометрическая камера* типа *JADE UC* (той же фирмы) на диапазон 8-12 мкм, оснащенная системой термостабилизации матрицы фотоприемников размером 384x288.

Все камеры были оснащены скоростными 14-разрядными компьютерными системами захвата и обработки изображений с программным обеспечением «ALTAIR».

Температурный эквивалент шума (NEdT), рассчитанный по всему полю регистрации, при использовании охлаждаемых камер на диапазон 3-5 мкм не превышал 0,015°C при скорости регистрации 200 кадров в секунду, и 0,08°C при использовании неохлаждаемой камеры на диапазон 8-12 мкм, при скорости регистрации 50 кадров в секунду. Температурная чувствительность могла быть улучшена до 0,002°C при компьютерной обработке ИК изображений за счет процедур накопления и усреднения сигналов.

В открытых поверхностных слоях жидких сред образуются неоднородные по пространственному распределению температур структуры, которые формируются из-за поверхностного температурного градиента, возникающего из-за испарения жидкости. Невидимые в оптическом диапазоне, термоструктуры отчетливо регистрируются в ИК диапазонах 3-5 и 8-12 мкм. Доказано, что конвективные термоструктуры формируются за счет температурного градиента [5, 10, 11].

Как показывают многочисленные исследования [16, 24, 25, 28-30, 33], представление тепловой модели гомойотермного организма в виде *цилиндра* адекватно имитирует теплообмен реального организма со средой. Для анализа гомеостаза организма кролика и коровы в работе тоже была использована такая модель, адекватно отражающая основные терморегуляционные характеристики. В наших исследованиях тепловая модель кролика соответствовала по размерам теплопроводности теплофизической модели, применявшейся в работах [8, 18, 26].

Для анализа теплорегуляции организма коровы с окружающей средой также использовалась тепловая модель в виде цилиндра. Вес взрослого животного колеблется от 300 до 500 кг и больше, поэтому тепловая модель коровы в наших исследованиях представляла собой цилиндр радиусом 36 см, а длиной 140 см, что соответствует весу «цилиндра-коровы» в 570 кг. В соответствие с расчетами по аллометрическим формулам [3, 19, 21, 27] теплопродукция «цилиндра-коровы» в наших исследованиях была принята равной 300 Вт. Величина ТНЗ, в соответствие с данными [12, 15], может варьировать в широком диапазоне и составлять 10 и более градусов. В нашем случае ТНЗ составляла 10°C, в пределах температуры среды от 13 до 23°C.

В гомойотермном организме при оценке обмена тепла принято выделять *ядро* (внутреннюю часть) и *оболочку* (внешнюю часть) [1, 9]. В *ядро* входят внутренние ткани и органы, а также мозг и частично мышцы. В этой области в комфортной зоне вырабатывается основное количество тепла, а также находится преобладающая масса крови, циркулирующей в организме. В связи с интенсивным кровотоком в *ядре* температура в его тканях поддерживается во всех точках одинаковой [4, 13]. Математически такое условие можно описать в следующем виде: $T_1 = \text{const}$ при $0 < R < R_1$, где T_1 – температура во внутренней области, а R_1 – радиус, определяющий внутреннюю область в цилиндре. Теплоперенос во второй области осуществляется кондуктивно за счет градиента температуры, и его можно описать дифференциальным уравнением второго порядка типа:

$$\lambda_2 \cdot \left(\frac{d^2 T_2}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dT_2}{dR} \right) + q_2 = 0, \quad R_1 \leq R \leq R_2$$

где λ_2 – коэффициент теплопроводности в тканях второй области в «цилиндре-кролике»; q_2 – теплопродукция единицы ткани во второй области.

На границе соприкосновения кожи со средой происходит интенсивный теплообмен по закону Ньютона, в соответствии с разницей температур между кожей и внешней средой. Поэтому граничные условия на границе кожи с внешней средой можно описать в виде:

$$-\lambda_2 \cdot \left. \frac{dT_2}{dR} \right|_{R_2} = \alpha \cdot (T_2 - T_{cp}) \Big|_{R_2},$$

где T_{cp} – температура среды; α – коэффициент теплоотдачи с кожи в среду. Решение такой системы уравнений можно описать в виде:

$$(4.2) \quad T_2 = \frac{q_2}{4 \cdot \lambda} \cdot (R_2^2 - R^2) + C_1 \cdot \ln \frac{R}{R_2} + \frac{\lambda}{\alpha} \cdot \left(\frac{q_2}{2 \cdot \lambda} \cdot R_2 - \frac{C_1}{R_2} \right) + T_{cp}$$

при $R_1 < R < R_2$

$$\text{где } C_1 = \frac{q_2}{2 \cdot \lambda} \cdot R_1^2 - \frac{Q_1}{\lambda_2 \cdot S_1} \cdot R_1$$

Результаты и их обсуждение. Распределение температуры в верхних слоях воды и многокомпонентные водные растворы были изучены при помощи высокочувствительной фокусной ИК камеры со спектральным окном чувствительностью 3-5 микрон. Температурная чувствительность была лучше, чем 15 мк при 200 положениях в секунду. Визуализировались различия между чистой и смешанной водой, наблюдалась динамика неоднородных структур в поверхностных слоях водных и многокомпонентных водных растворов. Из-за относительно высокой энергии испарения поверхностная температура на 0,4-0,6° ниже по сравнению с температурой 0,2-0,5 мм ниже поверхности. Благодаря конвекции воды в поверхностных слоях срабатывает механизм самоорганизации, который ассоциируется с хаосом – нарушением порядка в присутствии температурных градиентов. При сравнительном анализе формирования автоволновых структур при изменении температуры и в процессе высыхания на макроуровне и микроуровне (ув.×360) – показано их сходство, объясняемое фрактальным отображением макро- и микропроцессов, как объективной реальностью (рис. 1).

Первоначально при проведении экспериментов в термокамере, для испытуемого кролика устанавливали термонеutralную температуру. В соответствие с литературными данными [7] ТНЗ для кроликов составляет ~21-25°C. Однако ее ширина может изменяться при различных условиях: от сезона года, акклиматизации животных, широты местожительства и т.д.

Комфортная зона определялась по терморегуляторному ответу организма животного в ответ на изменение внешних температур. При высокой температуре среды кролик отвечал резким увеличением температуры уха, что показывало наличие верхней границы комфортной зоны. При низкой температуре среды в организме животного резко увеличивалась дрожь, что свидетельствовало о наличии нижней границы комфортной зоны, которая у наших экспериментальных кроликов находилась в пределах температур от 22°C до 25°C. Поэтому можно считать, что температура 23,5°C из диапазона 22-25°C – является оптимальной температурой среды для теплового гомеостаза организма животного. В связи с этим, в начале эксперимента

устанавливали температуру среды равную 23,5°C и при этих условиях производились измерения температуры различных областей тканей кролика. Средние температуры представлены в табл. 1.

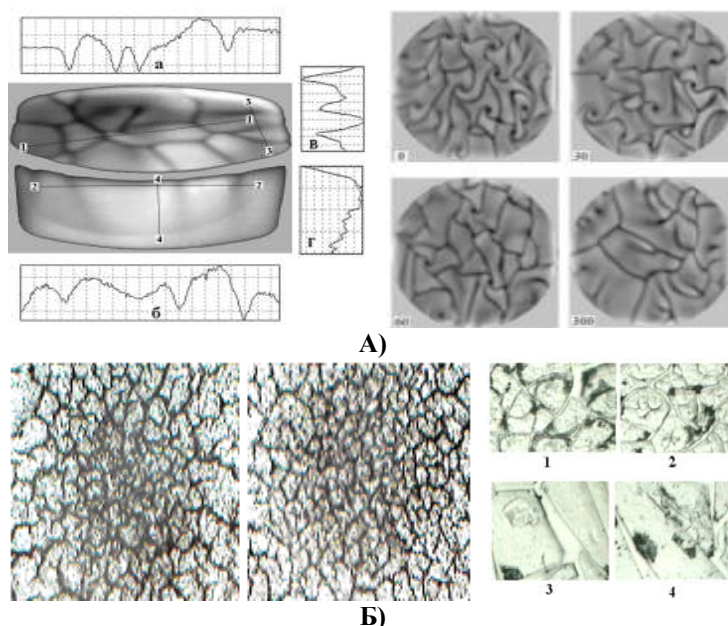


Рис. 1. Термограммы при остывании воды (А) и терзиграммы при высыхании микрообъекта биологической жидкости (крови) – Б (ув. x360) [11]

Как следует из этих показателей, самая высокая температура на поверхности тела животного устанавливается на голове и туловище – 33,5 и 32,8°C, соответственно, что свидетельствует о большой метаболической активности тканей в этих областях. На коже конечностей температура уменьшалась. Так, на бедре температура поверхности равняется 31,2 ± 0,8°C, а на голени – 30,9 ± 1,0°C. Исходя из данных табл. 1 следует, что по мере углубления тканей внутрь тела кролика температура растет, пока не сравняется с температурой ядра. Так, если на коже спины температура равнялась 32,7°C, то на глубине 1,5 мм – 33,2°C, а на глубине 3,5-4,5 мм – 34,0°C.

Таблица 1

Средняя температура различных областей тела кролика при T_{cp}= 23,5 °C

N	1	2	3	4	5	6	7	8
Область измерения	Голова	Спина	Живот	Бедро	Голень	На глуб. 1,5÷2 мм	На глуб. 3,5÷4,5 мм	Ректальная
T°C	33,5±0,7	32,7±0,6	32,8±0,9	31,2±0,8	30,9±1,0	33,2±0,5	34,0±0,4	38,5±0,2

Далее температура среды была медленно увеличена с 23,5°C до 25°C, после чего изменился температурный портрет тканей организма кролика. Средние величины температур в различных областях тела кролика приведены в табл. 2. Как следует из экспериментов, температура уха мало изменилась при таком небольшом увеличении температуры среды.

Таблица 2

Средняя температура различных участков тела кролика при T_{cp}=25°C

N	1	2	3	4	5	6	7	8
Область измерения	Голова	Спина	Живот	Бедро	Голень	На глуб. 1,5÷2 мм	На глуб. 3,5÷4,5 мм	Ректальная
T°C	34,1±0,5	33,2±0,7	33,4±0,6	32,0±0,8	31,5±1,0	33,9±0,	34,5±0.3	38,5±0.1

Температура кожи головы и туловища увеличилась и составила 34,1±0,7 и 33,2±0,7°C, соответственно. Температура конечностей тоже увеличилась и, если для бедра она составляла 32,0±0,8°C, то для голени –

31,5±1,0°C. Температура же *ядра* осталась постоянной. Соответственно, и в глубине ткани произошли изменения температуры. Если на глубине 1,5 мм температура составила 33,9±0,4°C, то на глубине 3,5-4,5 мм температура выросла до 34,5±0,3°C. Надо отметить, что при последующем увеличении температуры среды происходило расширение сосудов уха кролика и, соответственно, резкое увеличение его температуры с 25°C до 33°C. Таблица дает представление о распределении температуры в теле кролика перед началом терморегуляционной реакции его ушей в ответ на повышение температуры среды.

В следующей серии экспериментов мы осуществили понижение температуры среды по отношению к оптимальной температуре среды для кролика (23,5°C), но до границы возникновения дрожи. Эта температура среды в наших экспериментах составила 22°C, что привело к соответствующему снижению температуры практически во всех периферических тканях организма. Средние величины температур в различных областях тела кролика при температуре среды 22° представлены в табл. 3. Как следует из этих данных, температура кожи головы и туловища снизилась и составила величины, равные 32,9±0,6°C и 32,0±0,5°C, соответственно. Температура кожи конечностей еще больше снизилась и на голени составила значение, равное 30,3±0,7°C. Однако ректальная температура не изменилась.

Таблица 3

Средняя температура различных участков тела кролика при T_{сп}=22°C

N	1	2	3	4	5	6	7	8
Область измерения	Голова	Спина	Живот	Бедро	Голень	На глуб. 1,5÷2 мм	На глуб. 3,5÷4,5 мм	Ректальная
T°C	32,9±0,6	32,0±0,5	32,0±0,5	30,7±0,7	30,3±0,7	32,7±0,4	33,5±0,3	38,5±0,1

Уменьшение температуры произошло и в глубине тканей животного. Если на глубине 1,5 мм температура составила 32,7°C, то на глубине 3,5-4,5 мм температура уже была 33,5°C. Как и в предыдущем случае, было осуществлено дальнейшее понижение температуры в камере, где сидело животное. При этом возникла терморегуляционная реакция у кролика в виде дрожи. Табл. 3 дает представление о распределении температур в тканях организма кролика перед началом терморегуляционной реакции в виде дрожи.

Исходя из выше приведенных экспериментальных данных, даже в комфортной зоне происходят динамические изменения температуры в периферийных областях организма при колебаниях температуры среды, но температура внутренних тканей остается без изменений. Чтобы установить механизм поддержания температуры *ядра* на постоянном уровне при колебаниях температуры среды в пределах ТНЗ без изменения процессов теплопродукции и теплоотдачи, – были проведены исследования процесса теплообмена между организмом и средой на соответствующих математических моделях.

Для анализа теплообмена организма кролика с окружающей средой тепловую модель животного помещали в те же условия, которые были использованы в наших экспериментах. Первоначально температура среды, в которой находилась тепловая модель кролика в виде цилиндра, соответствовала «срединной» температуре 23,5°C в его ТНЗ. В соответствии с имеющимися данными [19], мощность метаболического тепла, выделяемого организмом животного, составила примерно 8 Вт. Радиус *ядра* кролика определяли, исходя из того, что температура внутренних тканей организма животного в норме составляет около 38,5°C. Как следует из расчетов, при всех тех параметрах модели, которые были заданы ранее, радиус *ядра* будет составлять 5,2 см. Температура в модели «цилиндр-кролик» в центральных областях – постоянная и достаточно высокая – 38,5°C.

Во второй области, где теплоперенос осуществляется с помощью кондуктивного механизма, температура изменяется по нисходящей кривой от 38,5°C до 35,2°C. Важным моментом является соотношение размеров *ядра* и *оболочки* в организме. Исходя из полученных данных на тепловой модели, *оболочка «цилиндра-кролика»* располагается между радиусом 5,2 см и 7 см. Поэтому объем тканей *оболочки* можно рассчитать по формуле: $W_{об} = \pi \cdot H \cdot (R_2^2 - R_1^2) = 1172.2 \text{ см}^3$. Объем тканей *ядра* можно рассчитать по формуле $W_{я} = \pi \cdot R_1^2 \cdot H = 1443.4 \text{ см}^3$. Поэтому, объем *ядра «цилиндра-кролика»* при температуре среды 23,5° составляет 55% от всего веса тела кролика, а объем *оболочки* – 45%.

Далее, тепловая модель кролика была помещена в среду с температурой 25°C, как и в наших экспериментах на реальных кроликах. Если считать, что изменение размеров *ядра* при увеличении температуры среды не происходит, то, согласно расчетам, распределение температуры по радиусу «цилиндра-кролика» будет характеризоваться увеличением температуры с 38,5°C до величины 40°C. Температура кожи тоже увеличивалась при этих условиях и составила 36,7°C.

При снижении температуры среды с 23,5 до 22°C и при условии, что размеры *ядра* и *оболочки* не изменяются, температурное распределение внутри «цилиндра-кролика», исходя из наших расчетов, будет соответствовать снижению температуры *ядра* с 38,5°C до 37°C, а средняя температура кожи уменьшится до величины равной 33,7°C. Так как в исследованиях размеры *ядра* и *оболочки* не изменялись, то и их процентное соотношение также не изменилось.

Таким образом, даже небольшие колебания температуры внешней среды от оптимального уровня (23,5°C) приводили бы к значительному изменению внутренней температуры организма «цилиндра-кролика». Так как внешняя среда «цилиндра-кролика» меняется в пределах ТНЗ, то ни теплопродукция, ни теплоотдача у исследуемого объекта – не изменяется. Большие колебания температуры внутренних областей «цилиндра-кролика», при изменениях температуры среды в пределах ТНЗ – не реальны. Действительно, и в наших экспериментах на кроликах (табл. 2 и 3), при изменениях температуры внешней среды в пределах ТНЗ ректальная температура (или температура *ядра*) оставалась неизменной.

В реальных экспериментах на кроликах было показано, что при увеличении температуры среды увеличивается температура тканей прилегающих к *ядру* и относящихся ко второй области (области *оболочки*). Вследствие этого температура части ткани *оболочки* приобретает температуру *ядра*, что и приводит к расширению его тканей, т.е. происходит расширение размеров *ядра* за счет *оболочки*. Для проверки этого утверждения были проведены расчеты, считая, что с увеличением температуры среды увеличиваются размеры *ядра*, но температура тканей *ядра* «цилиндра-кролика» должна остаться неизменной. Результаты расчетов показали, что при этом температура кожи тоже увеличивается с 35,2°C до 36,7°C. Однако температура *ядра* при этом не изменилась. Произошло перераспределение тепла внутри «цилиндра-кролика». Радиус его *ядра* увеличился с 5,2 см до 5,9 см. Процентное соотношение между объемом *ядра* и объемом *оболочки* составило 71% к 29%.

В противоположную сторону происходит перераспределение тепла между *ядром* и *оболочкой* при понижении температуры среды. Исходя из расчетов на модели, при температуре среды 22°C – температура внутри «цилиндра-кролика» будет соответствовать следующей динамике: с уменьшением температуры среды уменьшаются и размеры *ядра*, но температура тканей *ядра* «цилиндра-кролика» остается неизменной. При этом температура поверхности кожи уменьшится с 35,2°C до 33,7°C. Для того чтобы температура *ядра* оставалась на прежнем уровне, радиус *ядра* «цилиндра-кролика» должен сократиться с 5,2 см до 4,8 см. Величина тканей *ядра* и *оболочки* при этом составит соотношение 47% к 53%.

Таким образом, изменяя размеры *ядра* и *оболочки* гомойотермного организма путем вазодилатации или вазоконстрикции на их границе, можно поддерживать тепловой гомеостазис тканей *ядра* тела при изменении температуры среды в пределах ТНЗ.

Как следует из литературных данных [6-8] с ростом веса животного увеличивается и величина ТНЗ. Такая закономерность в поведении ширины этой зоны требует объяснения. Просто разными размерами животных это явление объяснить невозможно. Действительно, чем больше животное, тем больше его теплоемкость и соответственно тем медленнее оно будет изменять температуру тела при изменении температуры среды. Однако, эта характеристика никак не определяет величину ТНЗ, т.к. в понятие ширины ТНЗ входят статические, а не динамические параметры. Поэтому был исследован процесс терморегуляции в ТНЗ не только достаточно небольшого животного как кролик, но и такого большого как корова, вес которой составляет более 300 кг, на основании действия механизма изменения размеров *ядра* и *оболочки*.

Для анализа терморегуляции организма коровы с окружающей средой тепловая модель коровы опять была взята в виде цилиндра. Как в тепловых моделях кролика в модели «цилиндр-корова» разбиваем сам цилиндр на две области. Первая область представляет собой внутренние ткани, где существует интенсивный кровоток, в связи с чем температура в этих тканях постоянна. Вторая область, это область, где существует кондуктивный теплоперенос. В соответствии с такими представлениями о механизмах теплопереноса внутри тела коровы для описания процесса терморегуляции в организме коровы можно применить систему уравнений, приведенную выше. Как показывают исследования на модели, для того, что бы у такого животного как корова сохранялся тепловой гомеостазис при изменении температуры среды в пределах от ТНЗ необходимо, чтобы толщина *оболочки* составляла 6,5 см.

Таким образом, из полученных данных следует, что у кролика, вес которого составляет 2,5 кг и который имеет ТНЗ равную 3°C, величина *оболочки* составляет 2,5 см, а у такого животного как корова, вес которого составляет 300 кг и имеет ТНЗ 10°C, величина *оболочки* составляет 6,5 см. Почти в 3 раза величина *оболочки* у кролика меньше чем у коровы. Исходя из полученных данных, тепловой гомеостазис теплокровных животных в их ТНЗ обусловлен механизмом изменения размеров *ядра* и *оболочки*. Величина *ядра* организма только за счет тканей *оболочки* способно изменять свои размеры, поддерживая температуру тканей на постоянном уровне при изменении температуры среды в пределах ТНЗ. Как следует из наших исследований ширина *оболочки* у кролика почти в 3 раза меньше у коровы. Отсюда и величина изменения размеров *ядра* у коровы за счет тканей *оболочки* будет гораздо больше. Чем больше существуют возможности изменения размеров *ядра*, тем в большем диапазоне температуры среды (т.е. ТНЗ) организм способен поддерживать на постоянном уровне температуру тканей *ядра*.

Заключение. Исходя из полученных данных, тепловой гомеостазис теплокровных животных в их *термонейтральной зоне* обусловлен механизмом изменения размеров *ядра* и *оболочки*. Организм изменяя размеры *ядра* за счет тканей *оболочки* способен, поддерживать температуру тканей на постоянном уровне при изменении температуры среды в пределах *термонейтральной зоны*. Как следует из наших исследований, ширина *оболочки* у коровы почти в 3 раза больше чем у кролика. Отсюда и величина изменения размеров *ядра* у коровы за счет тканей *оболочки* будет гораздо больше. Чем больше существуют возможности

изменения размеров ядра, тем в большем диапазоне температуры среды организм способен поддерживать на постоянном уровне температуру тканей ядра не изменяя процессы теплопродукции и теплоотдачи.

Полученные результаты свидетельствуют о значимости выделения в биологических объектах ядра и оболочки, поскольку общее содержание воды составляет 60% массы тела человека, а клеточной и внутриклеточной жидкости – соответственно 40% и 20% массы тела. Внутриклеточная жидкость состоит из интерстициальной (15%), и из внутрисосудистой (5%) воды. Таким образом, у мужчины весом 70 кг общий объем воды – 42 л, клеточной жидкости – 28 л и внутриклеточной жидкости – 14 л. Интерстициальная вода составляет 10,5 л и внутрисосудистая (плазма крови) – 3,5 л.

Постоянство температуры в ядре, содержащем 60% воды, обусловлено фрактальными процессами теплообмена и меняется в зависимости от фазы адаптационного процесса, протекающего с активацией либо симпатического, либо парасимпатического звена вегетативной регуляции.

Литература

1. Брюк К. Тепловой баланс и регуляция температуры тела. М., Мир, 1986. С. 18–45.
2. Владимирова И.П., Зотин А.И. Кривые терморегуляции и определяющие их факторы // Успехи физиологических наук. 1989. Т.20. №3. С. 21–42.
3. Дольник В.Р. Биоэнергетика современных животных и происхождение гомойотермии // Журн. Общ. Биологии. 1981. Т.42. №1. С. 60–74.
4. Дымникова Л.П., Хорева Е.В., Куликова О.В. Перенос тепла кровью в венозных сосудах кролика в различных температурных условиях // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 1992. Т.78. №1. С.72–79.
5. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Новые методы изучения интервалов устойчивости биологических динамических систем в рамках компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий. 2004. № 3. С. 5–6.
6. Зотин А.И., Владимирова И.Г. Макросистематика млекопитающих по критериям энергетического метаболизма // Известия АН, сер. Биолог. 1991. № 1. С. 59–69.
7. Зотин А.И., Владимирова И.Г., Кирпичников А.А. Энергетический метаболизм и направление эволюционного прогресса в классе млекопитающих // Журн. Общ. Биолог. 1990. Т. 51. № 6. С. 760–767.
8. Зотин А.И., Владимирова И.П. Макросистематика млекопитающих по критериям энергетического метаболизма // Известия АН, сер. Биолог. 1991. №1. С. 59–69.
9. Иванов К.П. Основы энергетике организма. 1990. Т. 1, 2004.
10. Исаева Н.М., Субботина Т.И., Хадарцев А.А., Яшин А.А. Код Фибоначчи и «золотое сечение» в экспериментальной патофизиологии и электромагнитобиологии: Монография / Под ред. Т.И. Субботиной и А.А. Яшина.– Москва – Тверь – Тула: ООО «Издательство «Триада», 2007. 136 с.
11. Кидалов В.Н., Хадарцев А.А. Тезисы о физиологии крови и биологических жидкостей / Под ред. А.А. Хадарцева. Тула: Тульский полиграфист, 2009. 244 с.
12. Костин А.П. Адаптация животных к экстремальным факторам внешней среды. Физиол. сельскохозяйственных животных. Л., 1978. С. 587–599
13. Лучаков Ю.И., Ноздрачев А.Д. Механизм теплопереноса в различных областях тела человека // Известия РАН Серия биологическая. 2009. №1. С. 64–69.
14. Морозов В.Н., Хадарцев А.А., Ветрова Ю.В., Гуськова О.В. Неспецифические (синтоксические и кататоксические) механизмы адаптации к длительному воздействию холодного раздражителя // Вестник новых медицинских технологий. 2000. Т. 7. № 3-4. С. 100–105.
15. Надольяк Е.А., Стояновский С.В. Энергетический обмен у сельскохозяйственных животных // Физиология сельскохозяйственных животных. Л., 1978. С. 255–280.
16. Румянцев Г.В. Распределение температур и температурных градиентов в теплофизической модели тела кролика при внутренних и внешних температурных возмущениях // Рос. Физиол. ж. им. И.М. Сеченова. 2002. Т 75. № 4. С. 596–598.
17. Слепчук Н.А., Иванов К.П. Величины температурных градиентов в коже и их значение для терморегуляции // Физиол. журн. СССР им И.М. Сеченова. 1992. Т.78. № 1. С. 80–84.
18. Слепчук Н.А., Румянцев Г.В. Температурные градиенты в коже и теплоотдача при различной окружающей температуре // Физиол. ж., СССР им И.М. Сеченова. 1974. Т.60. № 3. С. 427–433.
19. Флиндт Р. Биология в цифрах. М. 1992. 303 с.
20. Хадарцев А.А., Морозов В.Н., Гусак Ю.К., Карасева Ю.В., Дармограй В.Н., Зилов В.Г. Явление стимуляции синтаксической и кататоксических механизмов адаптации, находящихся в структурах гипоталамуса человека и животных // Диплом за открытие № 301 от 7.02.2006.
21. Эккерт Р., Ренделл Д., Огастин Дж. Физиология животных. 1992. Т.2. 343 с.
22. Attia M., Beateis J., Bligh J. Glossary of terms for thermal physiology // Phlogers Arch. 1987. V.410. N 4-5. P. 941.
23. Fanger P.O. Thermal comfort. Copenhagen. 1970. 244 p.
24. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. Computer prediction of human Thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions // Int J Biometeorol. 2001. V. 45. P. 143–159.

25. Fiala D., Lomas K.J., Stohrer M. First principles modeling of thermal responses in steady – state and transient conditions // ASHRAE Trans. 2003. V. 109. P. 118–179.
26. Hey E. Thermal neutrality // Brit. Med. Bull. 1975. V. 31. № 1. P.69.
27. Kleiber M. The fire of life. Introduction to animal energetics. Wiley and Sons. N.Y.-L. 1961.
28. Lichtenbelt W.D.M., Frijns A.J.H., Fiala D., Javssen A.M.J., and Steenhoven A.A. Effect of individual characteristics on mathematical model of human thermoregulation // J Thermal Biology. 2004. V. 29. P. 577–581.
29. Lichtenbelt W.D.M., Frijns A.J.H., Ooijen M.J., Fiala D., Kester A.M., Steenhoven A.A. Validation of an individualised model of human Thermoregulation for predicting responses to cold air // J of Biometeorology. 2007. V 51. № 3. P. 169–179.
30. Lichtenbelt W.D.M., Schranwen P., Kerckhove S.D., and Westerterp –Plantenga M.S. Individual variation inbody temperature and energy expenditure in response to mild cold // Am J Physiol Endocrinol Metab. 2002. V. 285. № 5. P. E1077–E1083.
31. Stowell R.R. Heat stress relief and supplemental cooling. Dairy Housing Equipment Systems Conference Proceedings Publ. No. 129 of Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES). Agricultural and Biological Engineering Department, Cornell University, Ithaca, NY. 2000.
32. Taylor C.R., Lyman C.P. A comparative study of the environmental physiology of an East African antelope, the eland, and the Hereford streer // Physiol Zool. 1967. V.40. N3. P. 280–295.
33. Werner J. Biophysics of heat exchange between body and environment. In: Physiology and Pathophysiology of Temperature Regulation, edited by Blatteis C.M. Farrer Road, Singapore: World Scientific. 1998. P. 25–45

References

1. Bryuk K. Teplovoy balans i regulyatsiya temperatury tela. Moscow: Mir; 1986. Russian.
2. Vladimirova IP, Zotin AI. Krivye termoregulyatsii i opredelyayushchie ikh faktory. Uspekhi fiziologicheskikh nauk. 1989;20(3):21-42. Russian.
3. Dol'nik VR. Bioenergetika sovremennykh zhivotnykh i proiskhozhdenie gomoyotermii. Zhurn. Obshch. Biologii. 1981;42(1):60-74. Russian.
4. Dymnikova LP, Khoreva EV, Kulikova OV. Perenos tepla krov'yu v venoznykh sosudakh krolika v razlichnykh temperaturnykh usloviyakh. Ros. fiziol. zhurn. im. I.M.Sechenova. 1992;78(1):72-9. Russian.
5. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Novye metody izucheniya intervalov ustoychivosti biologicheskikh dinamicheskikh sistem v ramkakh kompartmentno-klasternogo podkhoda [New methods of investigation of biological dynamic systems' stability according to compartmental-cluster approach]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. 2004;3:5-6. Russian.
6. Zotin AI, Vladimirova IG. Makrosistematika mlekopitayushchikh po kriteriyam energeticheskogo metabolizma. Izvestiya AN, ser. Biolog. 1991;1:59-69. Russian.
7. Zotin AI, Vladimirova IG, Kirpichnikov AA. Energeticheskiy metabolizm i napravlenie evolyutsionnogo progressa v klasse mlekopitayushchikh. Zhurn. Obshch. Biolog. 1990;51(6):760-7. Russian.
8. Zotin AI, Vladimirova IP. Makrosistematika mlekopitayushchikh po kriteriyam energeticheskogo metabolizma. Izvestiya AN, ser. Biolog. 1991;1:59-69. Russian.
9. Ivanov KP. Osnovy energetiki organizma. 1990. T. 1; 2004. Russian.
10. Isaeva NM, Subbotina TI, Khadartsev AA, Yashin AA. Kod Fibonachchi i «zolotoe sechenie» v eksperimental'noy patofiziologii i elektromagnitobiologii: Monografiya / Pod red. T.I. Subbotinoy i A.A. Yashina.– Moscow – Tver' – Tula: OOO «Izdatel'stvo «Triada»; 2007. Russian.
11. Kidalov VN, Khadartsev AA. Teziografiya krovi i biologicheskikh zhidkostey / Pod red. A.A. Khadartseva. Tula: Tul'skiy poligrafist; 2009. Russian.
12. Kostin AP. Adaptatsiya zhivotnykh k ekstremal'nym faktoram vneshney sredy. Fiziol. sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. L.; 1978. Russian.
13. Luchakov Yul, Nozdrachev AD. Mekhanizm teploperenosa v razlichnykh oblastiakh tela cheloveka. Izvestiya RAN Seriya biologicheskaya. 2009;1:64-9. Russian.
14. Morozov VN, Khadartsev AA, Vetrova YuV, Gus'kova OV. Nespetsificheskie (sintoksicheskie i katoxicheskie) mekhanizmy adaptatsii k dlitel'nomu vozdeystviyu kholodovogo razdragitelya [Nonspecific (syn-toxic and catatoxic) mechanisms of an adaptation to a long -term exposure to a chilling irritant]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2000;7(3-4):100-5. Russian.
15. Nadol'yak EA, Stoyanovskiy SV. Energeticheskiy obmen u sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. Fiziologiya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh. L.; 1978. Russian.
16. Rummyantsev GV. Raspredelenie temperatur i temperaturnykh gradientov v teplofizicheskoy modeli tela krolika pri vnutrennikh i vneshnikh temperaturnykh vozmushcheniyakh. Ros. Fiziol. zh. im. I.M. Sechenova. 2002;5(4):596-8. Russian.
17. Slepchuk NA, Ivanov KP. Velichiny temperaturnykh gradientov v kozhe i ikh znachenie dlya termoregulyatsii. Fiziol.zhurn. SSSR im I.M. Sechenova. 1992;78(1):80-4. Russian.
18. Slepchuk NA, Rummyantsev GV. Temperaturnye gradienty v kozhe i teplootdacha pri razlichnoy okruzhayushchey temperature. Fiziol. zh., SSSR im I.M. Sechenova. 1974;60(3):427-33. Russian.

19. Flindt R. *Biologiya v tsifrah*. Moscow; 1992. Russian.
20. Khadartsev AA, Morozov VN, Gusak YuK, Karaseva YuV, Darmogray VN, Zilov VG. Yavlenie stimulyatsii sintaksicheskoy i katatoksicheskikh mekhanizmov adaptatsii, nakhodyashchikhsya v strukturakh gipotalamusa cheloveka i zivotnykh. Diplom za otkrytie № 301 ot 7.02.2006. Russian.
21. Ekkert R, Rendell D, Ogastin Dzh. *Fiziologiya zivotnykh*; 1992. V.2. Russian.
22. Attia M, Beateis J, Bligh J. Glossary of terms for thermal physiology. *Phlugers Arch*. 1987;410(4-5):941.
23. Fanger PO. *Thermal comfort*. Copenhagen; 1970.
24. Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M. Computer prediction of human Thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol*. 2001;45:143-59.
25. Fiala D, Lomas KJ, Stohrer M. First principles modeling of thermal responses in steady – state and transient conditions. *ASHRAE Trans*. 2003;109:118-79.
26. Hey E. Thermal neutrality. *Brit. Med. Bull*. 1975;31(1):69.
27. Kleiber M. *The fire of life. Introduction to animal energetics*. Wiley and Sons. N.Y.-L; 1961.
28. Lichtenbelt WDM, Frijns AJH, Fiala D, Javssen AMJ, Steenhoven AA. Effect of individual characteristics on mathematical model of human thermoregulation. *J Thermal Biology*. 2004;29:577-81.
29. Lichtenbelt WDM, Frijns AJH, Ooijen MJ, Fiala D, Kester AM, Steenhoven AA. Validation of an individualised model of human Thermoregulation for predicting responses to cold air. *J of Biometeorology*. 2007;51(3):169-79.
30. Lichtenbelt WDM, Schranwen P, Kerckhove SD, Westerterp –Plantenga MS. Individual variation in body temperature and energy expenditure in response to mild cold. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2002;285(5):E1077-83.
31. Stowell RR. Heat stress relief and supplemental cooling. Dairy Housing Equipment Systems Conference Proceedings Publ. No. 129 of Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES). Agricultural and Biological Engineering Department, Cornell University, Ithaca, NY; 2000.
32. Taylor CR, Lyman CP. A comparative study of the environmental physiology of an East African antelope, the eland, and the Hereford steer. *Physiol Zool*. 1967;40(3):280-95.
33. Werner J. Biophysics of heat exchange between body and environment. In: *Physiology and Pathophysiology of Temperature Regulation*, edited by Blatteis C.M. Farrer Road, Singapore: World Scientific; 1998.