

ПЕРЕНОС ТЕПЛА В ТКАНЯХ ГОМОЙОТЕРМНОГО ОРГАНИЗМА

Ю.И. ЛУЧАКОВ

Институт физиологии им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург

В работе исследован процесс переноса тепла в тканях организма человека, который характерен и для многих гомойотермных животных. Показано, что температурное распределение в тканях организма определяется не только процессами теплопродукции и теплоотдачи, но и механизмом теплопереноса в тканях. Исследование процесса переноса тепла в тканях организма из-за его сложности проведено на математических моделях, используя экспериментальные данные биологических процессов. Показано, что во внутренних областях организма перенос тепла осуществляется в основном за счет тока крови. На периферии организма перенос тепла осуществляется в основном кондуктивным образом, за счет градиента температуры между ядром организма и кожей.

Ключевые слова: математическая модель, конвективный теплоперенос, кондуктивный теплоперенос.

Температура тканей организма определяется несколькими процессами, и прежде всего величиной теплопродукции органов, тканей и величиной теплоотдачи. Однако, как показывают наши исследования, и процессы обмена теплом внутри организма могут влиять на распределение температуры в тканях организма. В соответствии с физическими представлениями перенос тепла в организме происходит за счет механизмов конвекции (с током крови) или за счет механизма кондукции (из-за градиента температуры между двух точек в ткани) или за счет совместного действия этих механизмов. Конечно, при определенных условиях теплоперенос в тканях организма может осуществляться и совместным действием этих механизмов. Исследование кондуктивного процесса требует знания градиентов температуры в различных областях организма, что крайне затруднительно в связи с динамическими изменениями теплопродукции органов и тканей. Еще более сложный процесс переноса тепла осуществляется кровотоком, который зависит от архитектоники кровеносного русла, скорости кровотока, размеров сосуда и пр. Экспериментально проанализировать процесс переноса тепла в различных областях представляет фактически неразрешимую задачу, поэтому исследование переноса тепла в организме было проведено на математических моделях, основываясь на экспериментальных данных по распределению температуры [5, 6].

Целью работы являлось исследование процессов теплопереноса в организме, а задачей — определение механизма переноса тепла как внутри организма, так и в оболочке.

Результаты и их обсуждение. В организме человека различные органы и ткани вырабатывают различное количество тепла при своём функционировании. Так, теплопродукция печени составляет величину 15.78 ккал/ч, количество тепла, производимое мозгом, составляет 12.5 ккал/ч, другие органы функционируют с меньшей интенсивности. В легких теплопродукция уже составляет 3.4 ккал/ч, а в коже в покое вырабатывается тепла в 10 раз меньше, чем печени. При таком разбросе теплопродукции можно думать и распределение температуры в тканях очень разнообразно. Однако температура в тканях гомойотермного организма распределена не хаотично, а строго закономерно. Экспериментально показано, что во внутренних областях организма, несмотря на разнообразие теплопродукции различными органами, температура тканей почти не изменяется (изменение температуры не превышает 1°C, [2, 3, 11]). На периферии организма температура снижается по направлению от ядра к коже.

Для выяснения такой закономерности распределения температуры в тканях гомойотермного организма были изучены способы теплопереноса в тканях организма. В работе для исследования этого вопроса была использована модель человека в виде цилиндра. Как показывают многочисленные исследования [10, 14, 15, 17] представление тепловой модели гомойотермного организма в виде цилиндра в целом вполне адекватно имитирует теплообмен реального организма со средой. В модели выделен внутренний цилиндр, имитирующий внутренние ткани организма (ядро организма), и внешний цилиндр, имитирующий оболочку организма (рис. 1, А).

По многим литературным данным во внутренних областях организма человека и гомойотермных организмов в покое температура тканей достаточно высокая и у человека она составляет 37.3°C , поэтому и температура внутреннего цилиндра считаем равной 37.3°C . При этом, как в реальном организме, где температура внутренних тканей фактически неизменна, так и по всем областям внутреннего цилиндра считаем температуру фактически неизменной. В периферийных областях организма температура падает по направлению от ядра к коже. Само распределение температуры по тканям организма и в модели можно представить в виде графика представленного на рис. 1, Б. Как следует из рисунка, внутренние области организма человека — красный цилиндр, а периферийные области — зеленый цилиндр. Во внутреннем цилиндре температура тканей считается постоянной, а на периферии температура снижается от внутреннего цилиндра к поверхности зеленого цилиндра. В нашем случае тепловая модель человека представляла собой цилиндр с теплопродукцией 90 Вт. Считаем, что с актом дыхания и неощутимой перспирацией в среду уходит 20% тепла, а остальное тепло, вырабатываемое всем организмом, уходит в среду через кожу за счет градиента температуры между кожей и окружающей средой. Радиус цилиндра 12 см, длина 155 см, поэтому вес цилиндра составляет 70.8 кг. Тепловая модель цилиндр-человек помещена в воздушную среду с температурой равной 28°C . Величина теплосодержания организма вполне определяется количеством теплопродукции и теплоотдачи. Однако представленное экспериментальное распределение температуры по тканям организма не определяется только величиной теплопродукции и величиной теплоотдачи. Распределение тепла в самом цилиндре, имитирующем организм человека, при этих условиях будет определяться ещё способом распространения тепла. В представленной модели возможно имитировать различные способы переноса тепла во всем организме, сравнивая с реальным распределением тепла в организме представленном на рис. 1, Б. Математически процесс переноса тепла в цилиндре описывается с помощью системы дифференциальных уравнений. Благодаря модели возможно описать транспорт тепла в теле-цилиндре с помощью различных механизмов теплопереноса. Первоначально считали, что тепло в организме распространяется только кондуктивно за счет градиента температуры между различными точками в тканях организма. В этом случае процесс теплопереноса в тканях цилиндр-человек становится анало-

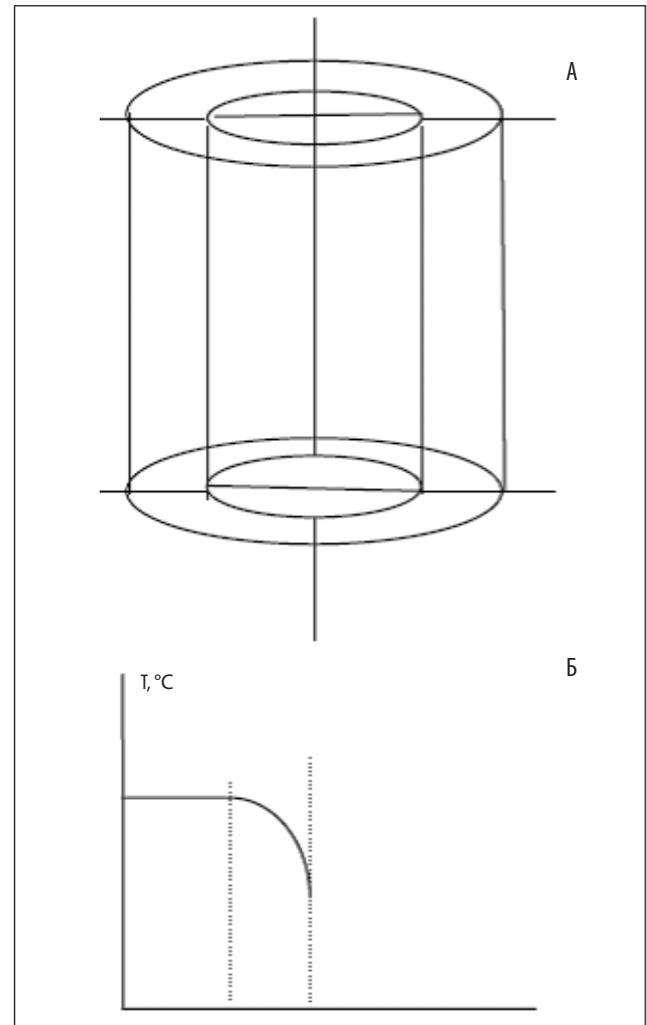


Рис. 1. А — Цилиндр-человек, где красным цветом изображены внутренние области организма, а зеленым — периферийные области организма. Б — распределение температуры по радиусу цилиндров внутреннего и внешнего.

гичным процессу теплопереноса в однородном цилиндрическом стержне при наличии распределенного источника тепла, а математическое описание этого процесса в соответствии с данными [4] будет описываться следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\lambda \cdot \left(\frac{d^2 T}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dT}{dR} \right) + q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dT}{dR} \Big|_{R=0} = 0, \quad -\lambda \cdot \frac{dT}{dR} \Big|_{R=R_u} = \alpha \cdot (T - T_{cp})$$

$$0 \leq R \leq R_u$$

где T — текущая температура в тканях цилиндра; R_u — радиус цилиндра; λ — коэффициент теплопроводности в тканях (при кондуктивном процессе теплопереноса $\lambda = \lambda_u = 0.6$ Вт/м·К [1]); α — коэффициент теплоотдачи в среду; q — мощность теплопродукции единицы объема ткани; T_{cp} — температура среды.

Решение этой системы дифференциальных уравнений можно представить в виде следующей формулы в соответствии с данными [4] —

$$T = \frac{q}{4 \cdot \lambda} \cdot (R_u^2 - R^2) + \frac{q}{2 \cdot \alpha} \cdot R_u + T_{cp} \quad (2)$$

Линия, описывающая распределение температуры в туловище-цилиндре, исходя из этой формулы, представлена, кривой 2 (рис. 2). Как видно из рисунка, при наличии только кондуктивного механизма теплопереноса температурное распределение в организме имеет форму колокола, где в центре существует максимальная температура тела. Исходя из рисунка, даже в термонеutralной зоне при наличии только кондуктивного механизма теплопереноса температура в центре составляет $\sim 41^\circ\text{C}$, а в теле даже во внутренних областях существует резкий перепад температур. Конечно, такое представление о механизме теплопереноса в организме физиологически не оправдано. В теле человека при нормальных физиологических условиях и температуре окружающего воздуха 28°C не может быть столь высокой температуры тканей ядра, а внутри тела нет столь резких перепадов температур. Такое распределение температуры по не совпадает с распределением температуры на рис. 1, Б, которое соответствует экспериментальным данным.

В противоположном варианте предполагаем наличие только конвективного теплопереноса во всем организме от центра до внешнего края кожи. В этом случае, как ранее было показано, распространение тепла в теле будет во много раз быстрее, что в модели можно учесть путем увеличения коэффициента теплопроводности в тканях ($\lambda = 10 \cdot \lambda_n$). Однако сам процесс можно описывать той же системой уравнений (1), а значит и решение можно представить в виде формулы (2). При этом, как показывают расчеты, распределение температуры в теле будет соответствовать кривой 2 (рис. 2). Как следует из рисунка, распределение температуры почти равномерное от центра до внешнего края кожи. Градиент температуры между центром и периферией составит всего 0.5°C . Максимальная температура внутри организма при окружающей температуре воздуха в 28°C составляет всего 35.5°C . Поэтому и в этом случае такое представление о механизме теплопереноса в организме физиологически не оправдано. Во-первых, потому что в теле человека при нормальных физиологических условиях и температуре окружающего воздуха 28°C невозможна столь низкая температура в центре тела. Во-вторых, даже в термонеutralной зоне температура ядра больше темпе-

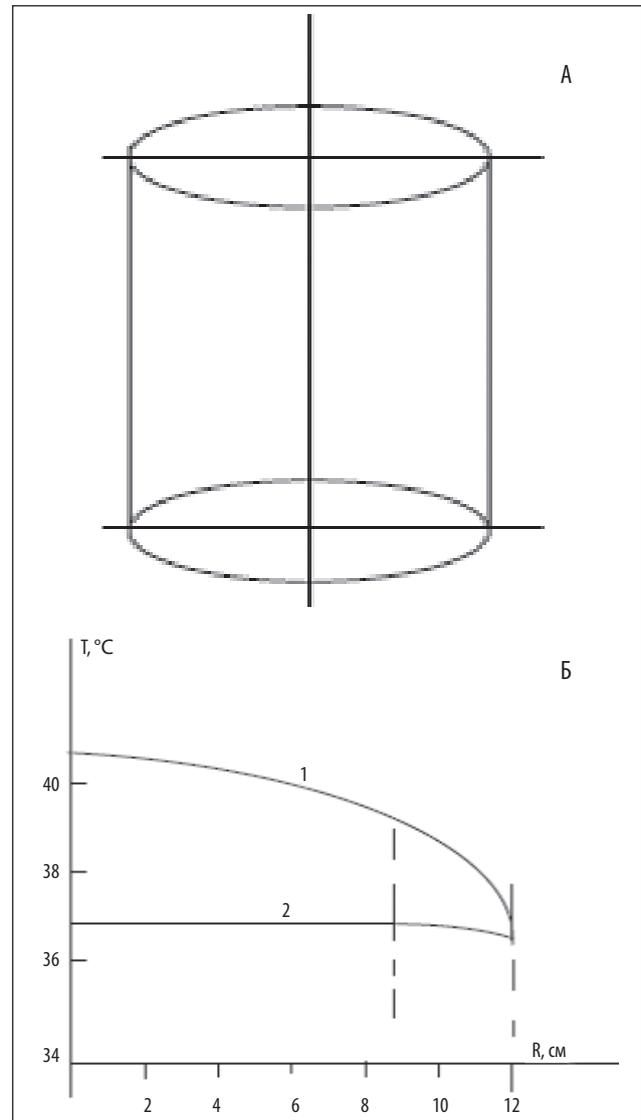


Рис. 2. Схематическое изображение организма человека в виде цилиндра (А); распределение T в тканях (Б) его при $T_{cp} = 28^\circ\text{C}$ и при $\lambda = \lambda_n$ (1) при $\lambda = 10 \cdot \lambda_n$ (2).

ратуры кожи на величину гораздо большую чем 0.5°C [8, 9]. В-третьих, такое распределение не соответствует установленному в практике распределению, показанному на рис. 1, Б.

Таким образом, наличие в организме только кондуктивного или только конвективного механизмов теплопереноса не приводит к адекватному соответствию температурного портрета физиологическим данным, распределению температуры в тканях организма, которое приведено на рис. 1, Б.

Однако, существование в организме ядра, где температура тканей мало изменяется, и оболочки, где существует резкий перепад температуры, позволяет предположить, что в теле в этих областях организма действует различные процессы теплопереноса. При этом математическое описание различных процессов

теплопереноса в ядре и оболочке требует уже наличие двух дифференциальных уравнений. Одно уравнение должно описывать теплоперенос в первой области с помощью одного способа теплопереноса, а другое уравнение должно описывать теплоперенос в другой области с помощью другого способа переноса тепла. Смешанный тип теплопереноса обычно не существует т.к. наличие развернутого конвективного механизма нивелирует кондуктивный механизм теплопереноса, как показывают наши исследования.

Математическое описание процесса теплопереноса в теле-цилиндре, где существует как конвективный, так и кондуктивный способ в различных областях можно представить в виде следующей системы дифференциальных уравнений

$$\lambda_{я} \cdot \left(\frac{d^2 T_{я}}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dT_{я}}{dR} \right) + q_{я} = 0, \text{ при } 0 < R < R_1 \quad (3)$$

$$\lambda_{об} \cdot \left(\frac{d^2 T_{об}}{dR^2} + \frac{1}{R} \cdot \frac{dT_{об}}{dR} \right) + q_{об} = 0, \text{ при } R_1 < R < R_2$$

$$\left. \frac{dT_{я}}{dR} \right|_{R=0} = 0 \quad T_{я} \Big|_{R_1} = T_{об} \Big|_{R_1}$$

$$\left. \frac{dT_{я}}{dR} \right|_{R_1} = \left. \frac{dT_{об}}{dR} \right|_{R_1} \quad -\lambda_{об} \cdot \left. \frac{dT_{об}}{dR} \right|_{R_{об}} = \alpha \cdot (T_{об} - T_{cp}) \Big|_{R_{об}},$$

где $T_{я}$ и $T_{об}$ — температура в ядре и оболочке, соответственно; $q_{я}$ и $q_{об}$ — теплопродукция единицы тканей ядра и оболочки; $\lambda_{я}$ и $\lambda_{об}$ — коэффициенты теплопроводности в тканях ядра и оболочки. Решение такой системы дифференциальных уравнений имеет следующий вид

$$T_{об} = \frac{q_{об}}{4 \cdot \lambda_{об}} \cdot (R_{об}^2 - R^2) + C_3 \cdot \left(\ln \frac{R}{R_{об}} - \frac{\lambda_{об}}{\alpha \cdot R_{об}} \right) + \frac{q_{об}}{2 \cdot \alpha} \cdot R_{об} + T_{cp} \quad (4)$$

$$T_{я} = \frac{q_{я}}{4 \cdot \lambda_{я}} \cdot (R_я^2 - R^2) + \frac{q_{об}}{4 \cdot \lambda_{об}} \cdot (R_{об}^2 - R_я^2) + C_3 \cdot \left(\ln \frac{R}{R_{об}} - \frac{\lambda_{об}}{\alpha \cdot R_{об}} \right) + \frac{q_{об}}{2 \cdot \alpha} \cdot R_{об} + T_{cp}$$

$$C_3 = \frac{R_я^2}{2 \cdot \lambda_{об}} \cdot (q_{я} - q_{об})$$

Если считать, что механизм теплопереноса в ядре в основном осуществляется кондуктивно, за счет перепада температур, а в оболочке, наоборот, конвективно, за счет переноса тепла кровью, то распределение температуры в теле-цилиндре, как следует из расчетов по формуле 4, будет соответствовать кривой 1 (рис. 3). Как сле-

дует из рисунка, температура в центре организма достигает уровня $\sim 41^\circ\text{C}$ при температуре среды 28°C . В ядре организма перепад температур составляет уже около 6°C . Совершенно неестественная картина распределения температуры наблюдается в оболочке тела, где теплоперенос осуществляется только конвективным образом (кривая 1, рис. 3). В этом случае в любой точке оболочки температура тканей фактически остается постоянной. Конечно, и нет никакого совпадения распределения температуры с реальным распределением, приводимое на рис. 1, Б. Поэтому представление о том, что внутри организма существует только кондуктивный теплоперенос, а в оболочке конвективный физиологически не оправдано.

Далее, считаем в модели наличие во внутреннем цилиндре только конвективного теплопереноса, а во внешнем существование только кондуктивного переноса тепла. В этом случае, по расчетам на модели, распределение температуры по радиусу цилиндра — человека будет выглядеть как на рис. 3, Б (кривая 2). Как следует из рисунка, внутри тела температура почти равномерно распределена и в центре составляет величину, равную 37.4°C . В оболочке тела кривая распределения температуры имеет вид ниспадающей кривой от внутренних областей к поверхности тела. Если на границе ядра и оболочки температура составляла 37°C , то на поверхности 35°C . Такое распределение температуры внутри тела полностью совпадает с распределением температуры, полученное экспериментальным образом.

Важно отметить, что при всевозможных рассматриваемых видах теплопереноса и одной и той же мощности теплопродукции, температура поверхности тела цилиндра остается одной и той же что в нашем случае определяет одинаковую теплоотдачу во всех рассматриваемых вариантах. Поэтому при одной и той же мощности теплопродукции и одной и той же мощности теплоотдачи (которая определяется в нашем случае температурой поверхности цилиндра и остается во всех рассматриваемых случаях постоянной) распределение температуры в тканях тела-цилиндра может быть различным. Определяющим моментом в закономерности распределения температур в тканях, как следует из приведенных выше исследований, является процесс теплопереноса.

Важно, что при всевозможных рассматриваемых видах теплопереноса и одной и той же мощности теплопродукции, температура поверхности тела цилиндра остается одной и той

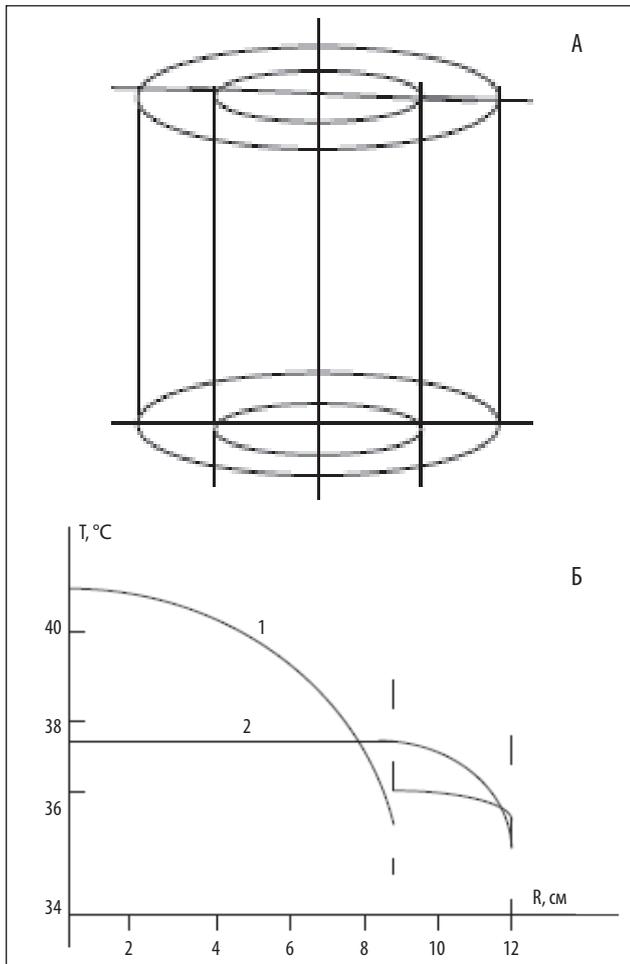


Рис. 3. Схематическое изображение организма человека в виде цилиндра (А); распределение температуры по радиусу при $T_{cp} = 28^\circ\text{C}$: $\lambda = \lambda_n$ в ядре, а в оболочке $\lambda = 10 \cdot \lambda_n$ (1) и при $\lambda = 10 \cdot \lambda_n$ в ядре, а в оболочке $\lambda = \lambda_n$ (2) (Б), где λ_n коэффициент теплопереноса в тканях в норме

же что в нашем случае определяет одинаковую теплоотдачу во всех рассматриваемых вариантах. Поэтому при одной и той же мощности теплопродукции и одной и той же мощности теплоотдачи (которая определяется в нашем случае температурой поверхности цилиндра и остается во всех рассматриваемых случаях постоянной) распределение температуры в тканях тела-цилиндра может быть различным. Определяющим моментом в закономерности распределения температур в тканях, как следует из приведенных выше исследований, является процесс теплопереноса.

Таким образом, только при конвективном теплопереносе внутри организма и кондуктивном в оболочке организма наблюдается совпадение распределения температуры по тканям организма.

Такой вывод определяет наличие переноса тепла в ядре организма в основном кровотоком, а на периферии организма в основном кондук-

тивно, а периферии в основном кондуктивным образом, за счет градиента температуры в различных точках ткани.

Надо отметить, что существование в ядре организма главным образом конвективного механизма теплопереноса не является неожиданностью (из-за наличия большого количества циркулирующей крови и разветвленного сосудистого русла, что приводит к развитому конвективному механизму теплопереноса). Более того, так как в тканях ядра кровотоки значительно интенсивнее, то, по нашим расчетам, и всякие тепловые изменения в них должны нивелироваться. Для примера, нами была оценена скорость изменений температуры почки и сердца человека. Процесс теплообмена любого органа и протекающей по нему кровью можно представить в виде следующего дифференциального уравнения:

$$-dQ_T = dQ_{kp}, \text{ или}$$

$$-c_1 \cdot m_1 \cdot \frac{dT_1}{dt} = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_1 - T_2)$$

где dQ_T — изменение теплопродукции в теле органа; dQ_{kp} — тепло вносимое кровью в орган; c_1 и c_2 — теплоемкость единицы ткани органа и крови, соответственно; m_1 — вес исследуемого органа (g); m_2 — интенсивность кровотока исследуемого органа (мл/с); T_1 и T_2 — температуры ткани исследуемого органа и крови соответственно. Решение такого уравнения можно представить в виде следующей формулы:

$$T_1 = (T_0 - T_2) \cdot \exp(-a \cdot t) + T_2,$$

где $a = c_2 / c_1 \cdot m_2 / m_1$.

Тогда, например, в почке, где кровоток составляет 12.1 мл/с, а масса органа около 145 г [3], при увеличении теплопродукции, в результате которой температура органа возрастает на 1°C (по отношению к температуре притекающей крови), время снижения его температуры до температуры притекающей крови составит всего около 0.5 мин. Для сердца, у которого кровоток составляет 4.17 мл/с, а масса 300 г [3] увеличение температуры ткани сердца на 1°C (по отношению к температуре притекающей крови) приводит к тому, что за время около 2.5 минут кровоток снизит температуру до своего уровня.

Таким образом, большая интенсивность кровотока внутри тела организма позволяет во многом нивелировать изменения температуры в отдельном органе достаточно быстро.

Наличие в основном кондуктивного механизма теплопереноса в коже требует количе-

ственного анализа. Действительно, в коже хоть и не интенсивная, но есть циркуляция крови, а значит может осуществляться и конвективный теплоперенос. По данным ряда авторов [7, 9, 16] в коже циркулирует 200–500 мл/мин крови (в среднем 375 мл/мин). Поэтому в работе было оценено количество тепла, которое уходит из ядра в кожу, а оттуда в среду путем конвективного и кондуктивного способа. Общее количество тепла, вырабатываемое тканями организма человека в норме, составляет около 90 Вт. При этом около 20% всего тепла уходит в среду с дыханием и неощутимой перспирацией т.е. $90 \times 0.2 = 18$ Вт. Остальное тепло $90 - 18 = 72$ Вт, которое в норме в основном вырабатывается в ядре организма, уходит из ядра в кожу и оттуда в среду. Конвективный теплоперенос в организме из ядра в кожу можно представить в виде следующего процесса: теплая артериальная кровь с температурой, приблизительно равной температуре ядра, поступает в кожу и охлаждается до определенного уровня и с «холодной» венозной кровью возвращается в ядро организма. В этом случае процесс переноса тепла кровью, циркулирующей в коже, возможно описать следующим уравнением

$$Q = c \cdot m \cdot (T_{я} - T_{вен}) = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

где Q — количество тепла, уходящее из ядра в кожу организма, благодаря циркуляции в ней крови; c — теплоемкость крови; m — количество крови, циркулирующее в коже; $T_{я}$ — температура артериальной крови, выходящая из ядра и поступающая в кожу; $T_{вен}$ — температура венозной крови, выходящая из кожи и возвращающаяся в ядро. Исходя из экспериментальных данных Е.В. Хорева [12, 13], температура венозной крови, втекающей в ядро организма из кожи, в норме никогда не превышает 0.2°C . Если в формуле (2.5) величине ΔT придать реально существующее значение, равное 0.2°C , то количество тепла переносимое кровью ($m = 375$ мл/мин) из ядра в кожу, как следует из выше приведенной формулы, по расчетам будет составлять 6 Вт.

Таким образом, путем конвекции из ядра в кожу уходит всего около 6 Вт, путем кондукции из ядра в кожу уходит остальное тепло $72 - 6 = 66$ Вт. Т.е. в процентном отношении количество тепла переносимое кровью из ядра в кожу, составит никак не больше 10%, а количество тепла, переносимое кондуктивно 90%. Более того, в коже залегают мелкие артериолы и венулы. Поэтому температура крови в них сравнивается с температурой окружающей их

тканью, что приводит к порадоксальному результату — сколько тепла будет входит с артериальной кровью в кожу, столько тепла будет выноситься с венозной. Поэтому, несмотря на кровоток, конвективный теплоперенос в этой области будет отсутствовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Киев. 1990. 223 с.
2. Иванов К.П. Основы энергетики организма. Л. 2004. Т. 4. 254 с.
3. Иванов К.П. Основы энергетики организма. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. Л. 1990. Т.1. 307 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М. 1981. 417 с.
5. Лучаков Ю.И., Вётош А.И., Несмеянов А.А. Повышенное давление азотно-кислородной смеси и температура животных // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №4. Публикация 2-8. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-4/5272.pdf> (дата обращения: 30.11.2015). DOI: 10.12737/16375
6. Лучаков Ю.И., Шабанов П.Д., Несмеянов А.А., Хадарцев А.А. Влияние соотношения размеров ядра и оболочки на тепловой гомеостазис некоторых животных // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. №1. Публикация 2-20. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4785.pdf> (дата обращения: 30.04.2014). DOI: 10.12737/3862
7. Начала физиологии. Под ред. А.Д. Ноздрачева. СПб. 2002. 1088 с.
8. Основы физиологии человека. Под общей редакцией Ткаченко Б.И. 1994. Т. 1. 567 с.
9. Петрищев Н.Н. Кровоснабжение кожи. Физиология кровообращения. Физиология сосудистой системы. Л. 1984. С. 533–546.
10. 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. 596–598 с.
11. Физиология человека. Под ред. Шмидта и Тевса, 2006, 3 т.
12. Хорева Е.В. Теплоперенос в задней полой вене и брюшной аорте кролика. // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. 1991. Т. 77, №2. С. 106–110.
13. Хорева Е.В., Дымникова Л.П. Температурные различия между артериальной и венозной кровью в магистральных сосудах кролика // Физиол. журн. СССР им. И.М. Сеченова. 1989. Т.75. №8. С. 1154–1145.
14. 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.
15. 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.
16. Rowell L.B. and Wyss. Temperature regulation and heat stressed man // Heat transfer in medicine and biology, eds. Shitzer A. and Eberhart R. Plenum press. New York. 1985. P. 53–78.
17. 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.

HEAT TRANSMISSION IN TISSUES OF A HOMEOTHERMAL ORGANISM

Y.I. LYCHAKOV

The process of heat transfer in tissues of the human body, which is characteristic for many homoiothermal animals, has been studied. It is shown that the temperature distribution in the tissues of the body is determined not only by the processes of heat production and heat transfer, but also by the mechanism of heat transfer in tissues. The study of the process of heat transfer in the tissues of the body due to its complexity was carried out on mathematical models, using the experimental data of biological processes. It is shown that heat transfer in the internal areas of the body is mainly due to blood flow. At the periphery of the body heat transfer is carried out in a largely conductive manner, due to the temperature gradient between the core of the organism and the skin.

Keywords: *mathematical model, convective heat transfer, conductive heat transfer.*