

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ЗОНАХ ЗАХАРЬИНА-ГЕДА

Лыжко Е.В.

Кубанский государственный университет, lyzko@yandex.ru

Краснодар, Россия

Тепловизионную диагностику осуществляют по отклонению температур в областях проекций больных органов и в зонах Захарьина-Геда. Заболевания сопровождаются отклонением энергетического обмена, при этом меняется мощность теплопродукции больного органа. Так как расположение зон Захарьина-Геда не совпадает с проекцией больных органов, а увеличение кровообращения кожи является наиболее быстрым и эффективным способом отвода тепла, то можно предположить, что отвод тепла осуществляется кровообращением, управляемым нервной системой.

Рассмотрим отвод тепла в зоны Захарьина-Геда на примере сердца. На рисунке 1 изображена схема, по которой осуществлялся расчет. В ней введены следующие обозначения: $P_{сз}$ – мощность теплопродукции сердца, $G_{сз}$ – минутный объем крови сердца, $t_{сз}$ – температура сердца, $P_{кз}$ – мощность теплопродукции кожи в зоне Захарьина-Геда, $G_{кз}$ – минутный объем крови в участке кожи зоны Захарьина-Геда, $t_{кз}$ – температура кожи в зоне Захарьина-Геда, $S_{кз}$ – площадь участка кожи зоны Захарьина-Геда с отклонением температуры. Отвод тепла осуществляется путем увеличения кровотока в зоне Захарьина-Геда. Однако неизвестно как меняются $G_{сз}$ и $t_{сз}$ при изменении $P_{сз}$.

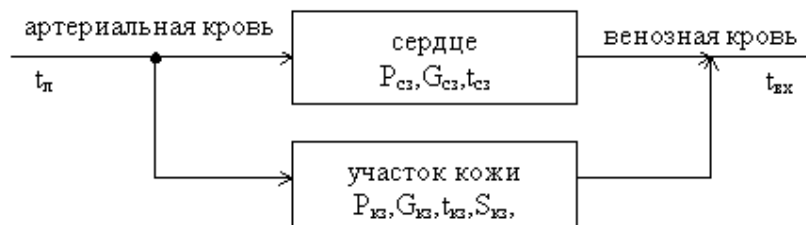


Рисунок 1. Схема отвода тепла через участки кожи зон Захарьина-Геда

Рассмотрим два крайних случая:

1 - $G_{сз}$ остается неизменным ($G_{сз}=G_c$), это обеспечивается максимальным изменением температуры больного органа $t_{сз}$;

2 - $t_{сз}$ остается неизменным ($t_{сз}=t_c$), это обеспечивается максимальным изменением минутного объема крови больного органа $G_{сз}$

Для каждого случая была решена система уравнений (1) с заданным отклонением $P_{сз}$ и $S_{кз}$: для первого случая относительно неизвестных $f(t_{сз}, G_{кз}, t_{кз})$; для второго случая относительно неизвестных $f(G_{сз}, G_{кз}, t_{кз})$. Было предположено, что все параметры всех органов, кроме больного и участка кожи зоны Захарьина-Геда остаются неизменными.

$$\begin{cases} P_{c3} - cG_{c3}(t_{c3} - t_{л}) = 0 \\ P_{к3} - cG_{к3}(t_{к3} - t_{л}) - Q_{к3}^B = 0 \\ t_{вх} = \frac{G_{c3}t_{c3} + G_{мг}t_{мг} + (G_{п} + G_{жкт} + G_{пб})t_{пб} + G_{ост}t_{ост} + G_{м}t_{м} + (1 - k(S_{к3}))G_{к}t_{к} + G_{к3}t_{к3}}{G_{c3} + G_{мг} + G_{п} + G_{жкт} + G_{пб} + G_{ост} + G_{м} + (1 - k(S_{к3}))G_{к} + G_{к3}} \end{cases} \quad (1)$$

где c – теплоемкость крови;

P_{c3} – мощность теплопродукции сердца при патологии;

G_{c3} – минутный объем крови для сердца при патологии;

t_{c3} – температура сердца при патологии;

$k(S_{к3})$ – доля поверхности участка кожи от общей поверхности тела

$$k(S_{к3}) = S_{к3} / F_{DU} \quad (2)$$

F_{DU} – площадь поверхности тела.

В [1] получены температуры: сердца t_c , легких $t_{л}$, средняя температура крови от всех органов (кроме легких) $t_{вх}$, мозга $t_{мг}$, почек $t_{п}$, желудочно-кишечного тракта $t_{жкт}$, средняя температура крови от почек и желудочно-кишечного тракта $t_{п-жкт}$, печени $t_{пб}$, остального $t_{ост}$, мышц $t_{м}$, кожи $t_{к}$. Величины минутного объема G и теплопродукции P приведены в [2].

Кровоток кожи (без участки кожи зоны Захарьина-Геда) рассчитывался как средний кровоток по поверхности:

$$(1 - k(S_{к3}))G_{к} \quad (3)$$

Тепловой поток $Q_{к3}^B$ от участка кожи зоны Захарьина-Геда в окружающую среду определяется как сумма тепловых потоков, возникающих при конвекции $Q_{к3}^K$, излучении $Q_{к3}^{изл}$ и испарении $Q_{к3}^{исп}$:

$$Q_{к3}^B = Q_{к3}^K + Q_{к3}^{изл} + Q_{к3}^{исп} \quad (4)$$

На рисунке 2 представлены результаты решения системы уравнений (1) для двух случаев. На представленных зависимостях видно, что расхождение результатов решения систем уравнений (1) увеличиваются при увеличении энергетических отклонений сердца. Чтобы перейти от среднего значения температуры кожи к измеренному используем равенство:

$$t_{изм} - t_{норм} = t_{к3} - t_{к} \quad (5)$$

где $t_{изм}$ – среднее значение температуры кожи, измеренное в зоне Захарьина-Геда;

$t_{норм}$ – среднее значение температуры кожи в зоне Захарьина-Геда для нормального состояния.

Такие зависимости можно построить и для других органов.

В построенной модели были приняты следующие допущения: перенос тепла осуществляется только системой кровообращения; органы приняты за идеальные теплообменники; теплообмен в кровеносных сосудах, соединяющих органы не учитывается; теплообмен между сердцем и перекачиваемой им кровью не учитывается; усредненный кровоток в коже. Ко-

нечно, для получения более точных результатов данная модель нуждается в большей детализации, путем введения точных параметров характеризующих теплопродукцию и кровоток в различных отделах кожи и анализе влияния упрощений, введенных в модели, на результаты вычислений.

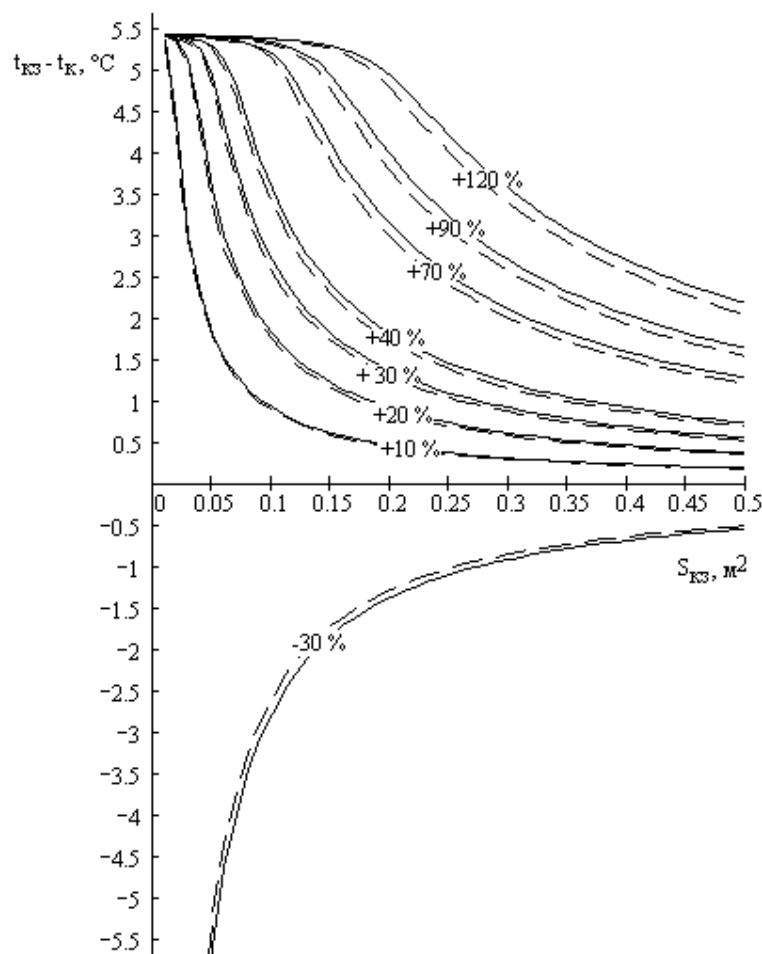


Рисунок 2. Зависимости отклонений температуры в зоне Захарьина-Геда от площади участка кожи с заданным в процентах отклонением R_{cz} при неизменном G_{cz} (сплошная линия) и неизменном t_{cz} (пунктирная линия)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лыжко Е.В. Роль кровообращения в теплопереносе / Е.В. Лыжко //Труды IV Всероссийской науч. конф. молодых ученых и студентов Т.2, 1–4 октября 2007 г. – Анапа, 2007.– С. 50-52.
2. Фолков Б. Кровообращение / Б. Фолков, Э. Нил. – М.: Медицина, 1976.– 465 с.
3. Голиков В.А. Математическое моделирование процессов теплообмена организма человека с окружающей средой / В.А. Голиков, А.Ф. Бурденко, Ю.М. Цюпко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2003. – № 9. – С. 104-115.