



УДК 612.173

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ СЕРДЦА

Валидов Азамат Рафисович

студент 4-го курса, направление «Медицинская физика»

Орлов Алексей Вениаминович

доцент, кандидат технических наук

Стерлитамакский филиал Уфимского Университета Науки и Технологии,
Россия, г. Стерлитамак

Аннотация. Статья посвящена термодинамическим аспектам функционирования сердца как биологического насоса. Рассматриваются применение первого и второго начал термодинамики к энергетическому балансу миокарда, преобразование химической энергии АТФ в механическую работу и тепло, роль энтропии в диссипации энергии, а также вклад сердца в терморегуляцию организма.

Ключевые слова: термодинамика сердца, энергетический баланс, миокард, энтропия, диссипация энергии, гидролиз АТФ, терморегуляция, КПД насоса, биологические системы.

THERMODYNAMIC ASPECTS OF HEART FUNCTION

Validov Azamat Rafisovich.

4th year student, direction "Medical Physics"

scientific supervisor: **Orlov Alexey Veniaminovich**

Associate Professor candidate of Technical Sciences

Sterlitamak Branch Ufa University of Science and Technology,
Russia, Sterlitamak

Abstract. The article explores the thermodynamic aspects of heart function as a biological pump. It examines the application of the first and second laws of thermodynamics to the myocardial energy balance, the conversion of ATP chemical energy into mechanical work and heat, the role of entropy in energy dissipation, and the heart's contribution to organismal thermoregulation.

Keywords: heart thermodynamics, energy balance, myocardium, entropy, energy dissipation, ATP hydrolysis, thermoregulation, pump efficiency, biological systems.



ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии) описывает баланс: изменение внутренней энергии сердца ΔU равно сумме тепла Q , поступившего в систему, и работы A , совершаемой или получаемой ($\Delta U = Q + A$). В сердце химическая энергия окисления субстратов (АТФ) преобразуется в механическую работу сокращения миокарда, но значительная часть рассеивается как тепло из-за трения и неидеальной эффективности. Второе начало вводит понятие энтропии: процессы в сердце необратимы, энтропия растет ($dS = \frac{dQ}{T}$), что приводит к диссипации энергии в тепло, поддерживая неравновесное состояние живой системы.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС СЕРДЦА

Сердце потребляет около 1 Вт мощности миокарда в покое, генерируя механическую работу для перекачки крови (до 30% кинетической при нагрузках). Энергия АТФ гидролизует, высвобождая около 30-40 кДж/моль, но КПД сердца составляет лишь 20-25%: остальное уходит в тепло при сокращении волокон и трении крови о сосуды. Полная энергия, затраченная сердцем, в итоге превращается в тепло, что интегрируется в тепловой баланс организма.

ЭНТРОПИЯ И ДИССИПАЦИЯ

В биологических системах, включая сердце, свободная энергия Гиббса ($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$) определяет возможность работы при постоянных T и P . Гидролиз АТФ ($\Delta G \approx -30$ кДж/моль) обеспечивает отрицательное ΔG для сокращения, но рост энтропии за счет тепловыделения стабилизирует систему. Хаотическое поведение миокарда подчиняется термодинамике, где диссипация предотвращает локальные нарушения ритма.

РОЛЬ В ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ

Работа сердца способствует теплообмену: кинетическая энергия крови диссипирует в тепло при ламинарном и турбулентном потоках, поддерживая температуру тела $\sim 37^\circ\text{C}$. При нагрузках вклад сердца в теплопродукцию возрастает, усиливая терморегуляцию через кровоток. Это обеспечивает устойчивость организма как открытой термодинамической системы.

Список литературы:

1. Иванов К.П. Современные медицинские проблемы энергообмена у сердца // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2013. – № 3. – С. 25–30.
2. Blick E.F. Work of the heart: A general thermodynamics analysis // Journal of Theoretical Biology. – 1977. – Vol. 66, № 3. – P. 529–538.
3. Barclay C.J. An Equivocal Final Link – Quantitative Determination of the Free Energy for ATP Hydrolysis in the Isolated Rat Heart // Frontiers in Physiology. – 2020. – DOI: 10.3389/fphys.2020.00183.
4. Lecarpentier Y. Thermodynamic bifurcation in anoxic heart: A far-from-equilibrium thermodynamic analysis // PLOS ONE. – 2024. – DOI: 10.1371/journal.pone.0298979.
5. Thermodynamics of the heart. Relation between cardiac output and oxygen consumption // American



Journal of Physics. – 2008. – Vol. 76, № 6. – P. 566–569.

6. Kumar A. Thermoregulation in the Heart and the Biophysics of Coronary Arterial Flow // Journal of Heart and Allied Sciences. – 2013.
7. Wilson T.E. Effect of Thermal Stress on Cardiac Function // Comprehensive Physiology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 29–43.