



**МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН**

**ФАКУЛТЕТ „Фармация“**

---

**ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ**

## **Лекция №2 *Медицинска физика***

**Основни понятия в термодинамиката.**

**Топлина - същност и биологично значение.**

Процеси на пренос на топлина. Теплопроводност (закон на Фурие).

Конвекция, излъчване и изпарение.

Терморегулация на човешкия организъм.

Физиологично действие на топлината.

Приложения на ниските температури в медицината.

**проф. Константин Балашев, д.х.н.**

# ОСНОВИ НА ТЕРМОДИНАМИКАТА

Описва макроскопските свойства на равновесните системи

→ Изцяло емпирична наука

→ Гради се върху 4 закона и техни математически следствия

Всички термодинамични закони  
дефинират определена **термодинамична величина**

0<sup>ев</sup> Закон  $\Rightarrow$  Дефинира температурата ( $T$ )

1<sup>ви</sup> Закон  $\Rightarrow$  Дефинира вътрешната енергия ( $U$ )

2<sup>ри</sup> Закон  $\Rightarrow$  Дефинира ентропията ( $S$ )

3<sup>ти</sup> Закон  $\Rightarrow$  Дава числена стойност на ентропията

Тези закони са УНИВЕРСАЛНО ВАЛИДНИ, те не могат да бъдат нарушавани.

# Дефиниции:

- Система: Частта от Вселената, която избираме да изследваме
- Околност: Останалата част от Вселената
- Граница: Повърхността, разделяща системата от околността

## Системите се делят на:

- Отворени: Позволяват обмяната на материя (маса) и енергия между системата и нейната околност
- Затворени: Позволяват преноса на енергия между системата и околността, но НЕ и материя.
- Изолирани: Не позволяват обмен нито на материя нито на енергия

# Описанието на системите изисква:

- Познаване на няколко от макроскопските свойства:  $p$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $n$ ,  $m$ , ...
- Определяне на системата като хомогенна или хетерогенна
- Определяне дали системата е в равновесие или не
- Определяне на броя на компонентите изграждаща системата

## Съществуват два класа от свойства на системата:

- Екстензивни: зависят от размера на системата

$$(n, m, V, \dots)$$

- Интензивни: независещи от размера на системата

$$(T, p, \bar{V} = \frac{V}{n}, \dots)$$

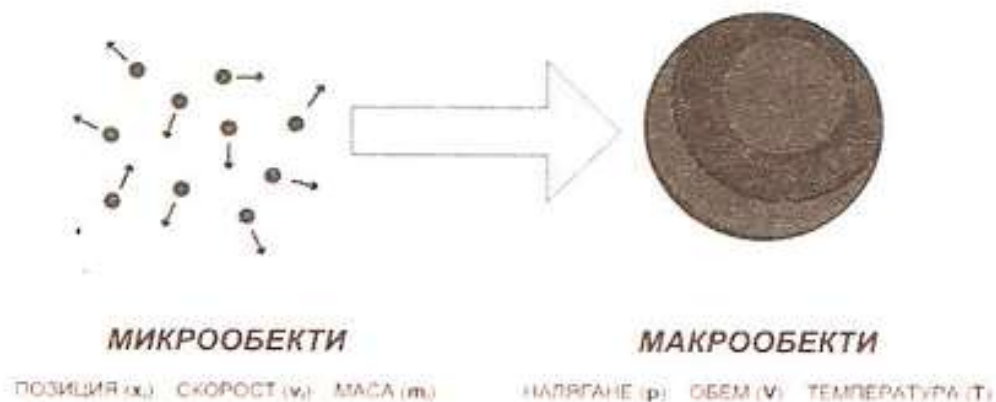
# • Процес: Описва пътя

- Обратим (винаги при равновесие)
- Необратим (дефинира понятието „посока на времето“)
- Адиабатен (не съществува пренос на топлина между системата и околността ѝ)
- Изобарен (постоянно налягане)
- Изотермичен (постоянна температура)
- Изохорен (постоянен обем)



Всяка термодинамична система в даден момент е в някакво конкретно енергетично състояние. Това термодинамично състояние се характеризира еднозначно с комплекс от нейни **параметри** (променливи величини). Ако разгледаме като термодинамична система молекулите на газ, намиращи се в затворен съд, термодинамичните параметри, които определят енергетичното ѝ състояние, са масата на газа  $m$ , температурата му  $T$ , обемът  $V$ , който заема, и налягането му  $p$  в този обем.

В микросвета движението на всяка микрочастица (атом или молекула) се подчинява разбира се на законите на Нютоновата механика и се описва с параметри като *позиция, скорост, маса*. За системи, състоящи се от много атоми и молекули, термодинамиката асоциира тези параметри с други макропараметри - *налягане, обем, температура*.



# ПЪРВИ ЗАКОН НА ТЕРМОДИНАМИКАТА

Съгласно първия основен термодинамичен закон, за процес, при който една система преминава от едно начално състояние с вътрешна енергия  $U_1$  в друго крайно състояние с вътрешна енергия  $U_2$ , промяната във вътрешната енергия ( $\Delta U = U_2 - U_1$ ) се дава от уравнението:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W,$$

където  $\Delta Q$  е пренесената през границите на системата топлина, а  $\Delta W$  - работата, извършена по време на процеса. Условно се приема, че топлината, получена от системата, и работата, извършена върху нея, имат положителни стойности, а отделената от системата топлина и извършената от нея работа - отрицателни.



## ВТОРИ ЗАКОН НА ТЕРМОДИНАМИКАТА

Ентропия ( $S$ ) се нарича отношението на топлината ( $Q$ ), произведена в процес, протичащ в дадена система при изотермични условия, и абсолютната температура ( $T$ ), при която протича този процес  $S = Q / T$ . Ентропията е мярка за хаотичността в микроструктурната организация на дадена система. При една и съща температура нейната стойност е пропорционална на топлината, съдържаща се в системата, а топлината - на хаотичността в движението на тези частици.

Вторият основен закон на термодинамиката се формулира по следния начин: **в изолирана система процесите протичат спонтанно само в посока, в която нейната ентропия се увеличава**. Това означава, че промяната в ентропията на системата ( $\Delta S$ ) не може да бъде отрицателна, а само положителна или най-малкото равна на нула:

$$\Delta S \geq 0.$$

## РАВНОВЕСНО И СТАЦИОНАРНО СЪСТОЯНИЯ

Когато една система е в състояние, в което няма тенденция за каквато и да е спонтанна промяна, тогава тя е в **равновесно състояние**. Равновесието е “макро” състояние, тъй като на “микро” ниво молекулите непрекъснато се движат и се обменят между различни части на системата. Например, при равновесие между течност и нейните пари еднакво количество молекули напускат течната фаза за единица време и се връщат обратно в нея от газова.

Възможно е състоянието на една система и да не се променя във времето, въпреки, че тя обменя материя и/или енергия с околната среда. Това се нарича **стационарно състояние**. При стационарното състояние никоя от екстензивните променливи на системата не се променя във времето за сметка на компенсиращи потоци през нейните граници (например на маса, енергия, ентропия). При равновесното състояние няма такива потоци. В живите организми стационарно състояние може да се съществува само за ограничени периоди от време.

# ТОПЛИНА

## ФИЗИОЛОГИЧНО ДЕЙСТВИЕ НА ТОПЛИНАТА

Топлината е основен вид енергия в природата. Тя има важно биологично значение, тъй като силно влияе върху скоростта на биохимичните метаболитни процеси. Съгласно уравнението на Арениус, скоростната константа  $k$  на всяка химична реакция се увеличава с повишаване на абсолютната температура  $T$ , при която протича процеса:

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

( $A$  е Арениусовата константа,  $E_a$  - активираща енергия на химичната реакция,  $R$  - универсалната газова константа). Като въздейства върху скоростта на биохимичните реакции, топлинната енергия променя скоростта на физиологичните процеси.

Установено е, че повишаване на температурата на организма само с 1 °С ускорява неговия метаболизъм средно с около 7 %. Термичните граници на живота за топлокръвните организми са от 30 до 43 °С, с оптимум при около 37 °С. Локалното загряване на органи или части от тялото ускорява техния метаболизъм, а също и циркулацията на кръвта в тях в резултат на релаксация на капилярните кръвоносни съдове (вазодилатация). По такъв начин се засилва трофиката (захранването) на тъканите и се подпомага преодоляването на патологичния процес със силите на самия организъм. За тази цел се прилага топлообмен с нагрети тела, загряване чрез облъчване с инфрачервена светлина, радиовълни, ултразвук, загряване чрез протичане на високочестотен електрически ток и др.

Топлинната терапия е полезна и при лечението на някои ракови заболявания в комбинация с радиационната им терапия. Например туморът се загрява посредством диатермия до около 42 °С в продължение на 20-30 минути, след което непосредствено се прилага радиационното облъчване. Разработени са и високотемпературни хирургични инструменти, използващи електричен ток или лазерно лъчение.

Топлинната играе спомагателна роля при лечението на различни заболявания поради, противовъзпалителния, болкоуспокояващ, антиспастичен и релаксиращ ефекти, които нейното прилагане оказва върху човешкия организъм.



## ТРАНСПОРТ НА ТОПЛИННА ЕНЕРГИЯ

Жизнените процеси в човешкия организъм поддържат и определят от непрекъснатата обмяна на материя, енергия и информация между него и околната среда, както и между различните части на организма.

Енергията може да се транспортира през пространството посредством частици или вълни. Примери в това отношение са процесите на транспорт на енергия посредством механични или електромагнитни вълни, на топлина чрез топлопроводност, конвекция, изпарение или топлинно излъчване.

От биологична гледна точка топлината е изключително важен вид енергия. Познаването на физичните процеси, посредством които топлинната енергия може да се пренася от едно тяло на друго и въобще в пространството, е необходимо не само за правилното разбиране на важни физиологични процеси (например терморегулацията на организма), но и за ефективното използване на топлината за терапевтични цели в медицината.



Как може да бъде извършен пренос на топлина от едно тяло към друго или от едно място към друго в една и съща система? Известни са четири различни физични механизма:

- Посредством *топлопроводност* (в твърди тела или флуиди в покой),
- Чрез *конвекция* (в движещи се течности или газове, при което флуидният поток се съчетава с топлопроводност),
- При *изпарение* (част от топлинната енергия на субстанцията се пренася с изпарените частици в газовата фаза),
- Чрез *излъчване и поглъщане* на електромагнитни вълни (инфрочервена светлина).



# Топлопроводност

Топлопроводността е процес на пренос на топлина посредством пряко предаване на кинетична енергия от частица на частица. Чрез топлопроводност топлината се пренася от по-топли към по-студени части на дадено тяло или от едно тяло към друго, когато са в контакт. В резултат се достига до уеднаквяване на температурите в цялата система.

Пренасянето на топлина чрез топлопроводност е спонтанен и необратим процес, обусловен от нееднаквото ѝ разпределение в пространството, т.е. от наличието на *температурен градиент*. Температурният градиент ***grad T*** представлява отношение на температурната разлика  **$T_1 - T_2$**  между две точки от пространството и разстоянието  **$x_1 - x_2$**  между тези точки:

$$\mathit{grad} T = \frac{T_1 - T_2}{x_1 - x_2} = \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Процесът се описва от **закона на Фурие** (*Jean Baptiste Joseph Fourier*, френски математик):

$$I = -k \text{grad } T$$

$I = \frac{1}{S} \left( \frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)$  е интензитетът на топлинния поток (скоростта на пренос на топлина  $\Delta Q$  за време  $\Delta t$  през площ  $S$ , разположена напречно на посоката на пренос),  $\text{grad } T$  - е температурния градиент, а  $k$  - коефициент на топлопроводност.

Скоростта на топлопроводност зависи от големината на концентрационния градиент и коефициента на топлопроводност. С преноса на топлина температурните разлики постепенно намаляват, а следователно и градиентите. Ето защо процесът на топлопроводност протича с намаляваща скорост докато температурният градиент стане нула, т.е. до изравняване на температурата във всички части на системата.

Скоростта на процеса е различна и специфична за различните вещества, тъй като зависи от атомно-молекулния им строеж и агрегатното им състояние (различно разстояние между молекулите, различна свобода на движение на частиците). Теплопроводността зависи и от някои външни условия: температурата (различна средна честота и сила на ударите между частиците) и налягането (различно средно разстояние между частиците). Ето защо различните вещества имат различна топлопроводност. Тя е най-ниска при газовете, а най-висока - при металите (последното се дължи на високата концентрация на свободни електрони в тях). Всички тези зависимости се отразяват с *коефициента на топлопроводност  $\kappa$* .

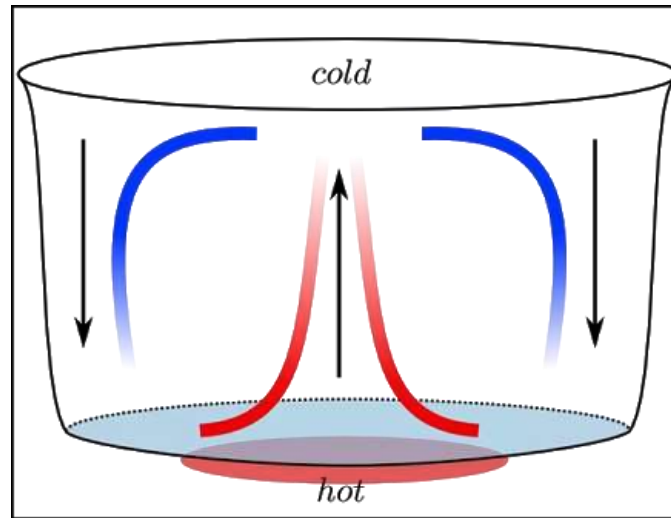
Металите (сребро, мед) са добри проводници на топлината. Неметалите се използват като топлинни изолатори (тухли, бетон, дърво, текстил). Кухини с въздух в топлините изолатори допълнително намаляват тяхната топлопроводност (например кухи тухли, пенобетон, стиропор, дунапрен). Вакуумът не провежда топлина чрез топлопроводност и по тази причина се смята за най-добрия топлинен изолатор (той обаче не възпрепятства преноса на топлина посредством инфрачервено излъчване). Теплопроводността се увеличава с нарастване на температурата. Теплопроводността на различните тъкани в човешкото тяло също е различна. Съдържащите по-голямо количество вода тъкани (кръв, лимфа, мускули и др.) имат топлопроводност, близка до тази на водата, а богатите на мазнини както и съединителната тъкан - по-малка.

Като следствие от закона на Фурие една проста формула може да се използва за оценка обмяната на топлина чрез топлопроводност между човешкото тяло и неговата околна среда. Скоростта на топлинния поток е пропорционална на площта на тялото  $S$  и разликата между температурите на тялото  $T_b$  и на околната среда  $T_s$ :

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hS(T_b - T_s)$$

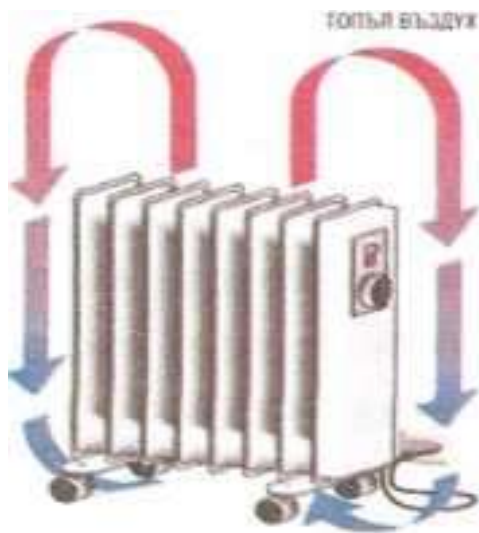
където  $h$  е коефициент на пропорционалност, известен още като *коефициент на топлинен трансфер*.

# Конвекция



Конвекцията е процес на пренос на топлина посредством флуиди, т.е. вещества, които могат да текат (газове и течности). Докато при топлопроводността преносът на топлина се извършва без видимо движение на веществото (т.е. на микроиво), при конвекцията това става посредством макродвижение. Тя представлява движение на флуида от студени към топли региони с по-ниска плътност.

Конвекцията може да бъде *свободна* или *принудена*.



Конвекцията продължава до изравняване на температурите в целия обем на флуида.

Свободната конвекция може да бъде обяснена със **закона на Архимед**, съгласно който всяко потопено във флуид тяло, олеква с толкова, колкото тежи изместеният от него флуид. Свободната конвекция възниква при нагряване на флуид чрез топлопроводност при контакт с по-топъл обект. Нагряването предизвиква намаляване плътността на нагретия обем флуид. По-топлият флуид има по-ниска плътност от по-студения и се стреми да се издигне спрямо студения. Поради разликата в плътността на флуида между нагретия обем ( $V$ ) и тази в съседните области ( $\Delta\rho$ ), върху този обем започва да действа изтласкваща *Архимедовата сила*  $F = \Delta\rho Vg$ , която го премества нагоре ( $g$  е земното ускорение). На мястото на тази порция флуид идва нова и процесът се повтаря. Заместването на издигащите се нагоре по-топли области от флуида с по-студени създава конвективни потоци.

Факторите, от които зависи скоростта на свободна конвекция са: *температурната разлика между слоевете на флуида, топлопроводността на самия флуид и неговия вискозитет*. Колкото температурната разлика и топлопроводността са по големи, толкова по-бърза е конвекцията. Увеличаването на вискозитета я забавя.

При принудената конвекция движението на пренасящия топлината флуид се извършва принудително чрез вентилатор, вятър, бъркалка и т.н.).

Генерираната във вътрешните органи на човешкото тяло топлина се пренася от кръвта към външната повърхност - към кожните капиляри и от там, към заобикалящата среда. Прилежащия към повърхността на тялото слой въздух се загрява чрез топлопроводност и започва естествена конвекция. Във вятър или в течаща вода този прилежащ до тялото слой се сменя принудително по-бързо и отделянето на топлина се увеличава.

# Инкандесценция

Всяко тяло с температура, по-висока от 0 K, излъчва електромагнитни вълни, чийто честотен диапазон и интензитет зависят от температурата. Този процес се нарича *инкандесценция* или *топлинно излъчване* (виж Инкандесценция). Ако температурата е достатъчно висока, лъчението е видимо (например светлината, излъчвана от нагрятата волфрамова жичка в електрическите лампи). При температурата на човешкото тяло излъчването е в далечния инфрачервен диапазон с максимум при дължина на вълната около 9 микрона и е невидимо от човешкото око, но може да бъде регистрирано с подходяща апаратура.

Топлинното излъчване пренася топлина посредством електромагнитните вълни в инфрачервената област на спектъра. Поглъщането на инфрачервените лъчи от веществата води до увеличаване молекулно-механичната енергия на техните частици, т.е. до увеличаване на тяхната топлинна енергия. Ето защо топлинното излъчване е важен механизъм за пренос на топлина в пространството. За разлика от останалите, този тип пренос на топлина може да се извършва и във вакуум.



Топлинното излъчване на едно тяло може да се пресметне по формулата  $E = e\sigma(T_b^4 - T_s^4)$ , където  $T_b$  е абсолютната температура на тялото,  $T_s$  - на околната среда,  $e$  - излъчвателната способност, зависеща от излъчващия материал и неговата температура, а  $\sigma$  - константа на Стефан-Болцман. ( $\sigma = 5.670374419 \dots \times 10^{-8}, W \times m^{-2} \times K^{-4}$ ). За човешкото тяло  $e$  има стойност около единица. Чрез този закон може да се пресметне, че мощността на топлинното излъчване от  $1 \text{ cm}^2$  повърхност на човешкото тяло с температура  $875 \text{ W}$ . Топлинното излъчване от околната среда (например с температура  $T_b = 33 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $T_s = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , което се поглъща от тялото, е  $735 \text{ W}$ . Балансът между излъчената и погълната от тялото топлина показва обща топлинна загуба от  $140 \text{ W}$ . Тъй като нормално по-голямата част от тялото е покрита с дрехи, топлинните загуби обикновено са значително по-малки, но все пак са съществени за физиологичните процеси в организма.

# Изпарение



Течностите запазват обема си и не се разпадат на части поради взаимното привличане на техните молекули. Тези молекули обаче са в постоянно топлинно движение. Енергията на това движение е толкова по-голяма, колкото по-висока е температурата на течността (респективно - съдържанието на топлина). Някои молекули, притежаващи по-висока кинетична енергия от останалите, успяват да преодолеят силите на задържане и да се откъснат от течността, т.е. да се изпарят, като отнасят със себе си съответните порции топлинна енергия. Ето защо при изпарението освен материя, се пренася и топлина.

Ако достъпното за парите пространство е ограничено, молекулите на течността, които навлизат в газовата фаза могат да се върнат обратно в течността. Но ако това пространство е голямо или пък има газов поток, който да ги отнася надалеч, те не се връщат обратно. Така течността губи частици както и топлината, която те отнасят със себе си. Посредством изпарение температурата на течността може да бъде поддържана по-ниска от тази на околната среда.

Топлинната енергия  $Q$ , транспортирана от изпарените частици, е произведение на латентната топлина на изпарение на течността  $L_v$  и броя  $N$  на молекулите, напускащи течността:  $Q = L_v N$ . Латентна топлина на изпарение  $L_v$  е енергията, необходима за преодоляване на силите, задържащи заедно молекулите на течността. Тя е количеството енергия, необходимо да се превърне единица маса от течността при температурата на кипене на тази течност в пари. За водата нейната стойност е  $2.25 \times 10^6, J \times kg^{-1}$ .

## ТЕРМОРЕГУЛАЦИЯ НА ЧОВЕШКОТО ТЯЛО

Температурата е важен параметър на вътрешната среда на човешкия организъм. Една от причините за поддържането на постоянна телесна температура е, че дори малки температурни промени могат силно да повлияят скоростта на метаболитните биохимични процеси в него (виж уравнението на Арениус). Докато температурата на повърхността на тялото и на някои отделни негови части може да се изменя в относително широк диапазон, температурата на дълбоките вътрешни структури на тялото е забележително устойчива.

Температурата на човешкото тяло се определя от баланса между получаваната и отделяната от него топлина. Тялото получава топлина както от околната среда, така и от ендогенни екзотермични процеси. Дори и в покой то изразходва някаква енергия за поддържане на постоянна телесна температура, на мускулния тонус, кръвната циркулация, дишането, разграждането и синтеза на химични субстанции и т.н. Общият комплекс от биохимични реакции, които осигуряват енергията за тези основни активности, се нарича основен метаболизъм.

При повишаване температурата на тялото, състояние, наречено хипертермия, метаболитните реакции се ускоряват. За да се поддържа това състояние тялото се нуждае от по-голямо количество кислород - приблизително 7 % повече за всеки  $1^{\circ}\text{C}$  повишение. За да се доставя този кислород сърцето трябва да работи по-интензивно, така че хипертермията създава проблеми за сърцето.

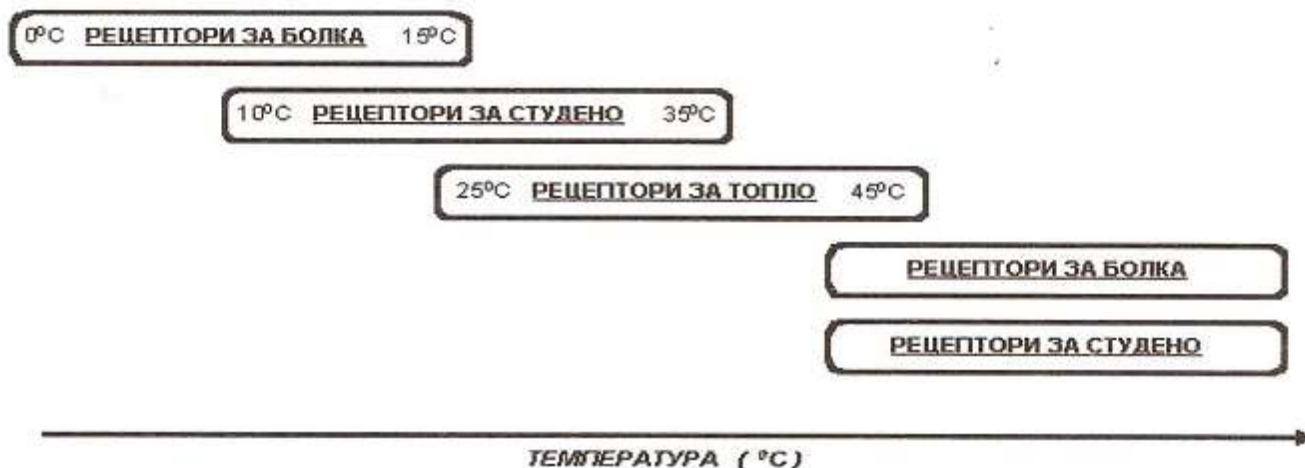
Състояние, противоположно на хипертермията, е хипотермията. При него температурата на тялото е понижена спрямо нормалната. При това състояние скоростта на метаболитните процеси намалява. Началният отговор на тялото е неконтролирано треперене, което ускорява основния метаболизъм и произвежда допълнително топлина. Този отговор обаче преодолява понижения на телесната температура не по-големи от 2-3 °С. При по-големи понижения мускулите стават по-твърди, сърдечната дейност се нарушава, започва амнезия, човек загубва съзнание и може да умре.

В терморегулацията на човешкото тяло кожата играе важна роля. Тя действа като изолатор (мастната подкожна тъкан с ниска топлопроводност е добър термоизолатор), и като проводник на топлината. Температурата на кожата и отдаваната от нея топлина зависят от степента на кръвонапълване на кръвоносните съдове в нея с артериална кръв. За регулативните ѝ функции физиологичните вазомоторни механизми (вазодилатация и вазоконстрикция) са особено важни. При вазодилатация (разширяване на кръвоносните съдове), повече кръв преминава през мастните тъкани и повърхностния слой кожа. Това намалява нейните термоизолационни свойства и засилва отделянето на топлина от тялото. Вазоконстрикцията свива кръвоносните съдове и действа в обратна посока.

Кръвта също играе важна роля в разпределянето и отделянето на топлина от тялото. Венозната кръв, връщайки се от крайниците може да бъде насочена да се движи близко до кожата, което увеличава топлинните загуби при топло време. В студено време тя може да се движи във вътрешността, близо до артерията, носеща кръв към крайника. Студената венозна кръв взема част от топлината на топлата артериална кръв и я връща обратно към сърцето. Този противопоточен принцип намалява топлинните загуби от крайниците и от кожата при студено време.



Телесната температура и нейните промени се детектират от рецептори в кожата, които представляват свободни нервни окончания. Съществуват *рецептори за студ*, разположени в епидермиса и *рецептори за топлина* в горната част на разположения под епидермиса слой от кожата. Освен рецепторите за топлина и студ, при критични температури се активират и *рецепторите за болка (ноцицептори)*. Когато температурата на кожата е под  $15^{\circ}\text{C}$  и над  $45^{\circ}\text{C}$ , се активират рецепторите за болка, а под  $35^{\circ}\text{C}$  - рецепторите за студ. Рецепторите за топлина се стимулират при температури между  $25$  и  $45^{\circ}\text{C}$ . При по-високи температури, отново се включват рецепторите за студ и болка. Това обяснява идентичните усещания при силно охлаждане и загряване (например парадоксалното чувство за студ при изгаряне).



Центърът за регулиране температурата на тялото е разположен в хипоталамуса (област от мозъка, контролираща много функции на автономната нервна система). Активацията му може да бъде предизвикана от пряко въздействие върху термочувствителните клетки на хипоталамуса или от периферните кожни рецептори. Терморегулационният център поддържа стойността на телесната температура около  $36,5^{\circ}\text{C}$ . Ширината на нормалния температурен диапазон се определя от долната и горна критични температури, при които организмът все още е способен да функционира. Това зависи от възможния вариационен диапазон на метаболитните процеси (при някои животни той е твърде широк, например, при мечките), от степента на физическа активност, от състоянието на околната среда, както и от възможностите за термоизолация на тялото.



## Основни терморегулационни механизми

Човешкото тяло поддържа постоянна температура посредством физични и химични механизми на регулация, които действат съвместно. Физичните механизми действат по-бързо и винаги се включват първи. При по-продължителни и интензивни термични въздействия обаче те не са в състояние да доведат до край топлинното уравнивяване на организма, поради което се включват и химичните механизми. Те повлияват обмяната на веществата и посредством нея - ендогенното образуване на топлина в организма.

Съществена част от физичната терморегулация се явява обмяната на топлина с околната среда посредством физичните процеси на пренос на топлина - топлопроводност, конвекция, излъчване и изпарение.

Ако температурата на околната среда е по-висока от температурата на кожата, организмът получава топлина отвън. В повечето случаи обаче външната температура е по-ниска и организмът отделя топлина.

Невъзможно е да се укаже точното количествено разпределение на отдаваната от организма топлина чрез различните физични механизми на пренос, тъй като това зависи от много фактори: състояние на организма (температура, емоционално състояние, подвижност), състояние на околната среда (температура, влажност, движение на въздуха) и състояние на облеклото (материал, форма, дебелина, цвят). С приближение може да се каже, че при нашите климатични условия посредством топлопроводност се обменя незначително количество топлина (до 5 %), чрез конвекция - около 15 %, чрез изпарение - около 30 %, а останалите 50 % - чрез излъчване.

Отделянето на топлина чрез топлопроводност и конвекция при човека е слабо застъпено поради ниската топлопроводност на материалите, с които тялото е в контакт - въздух, тъкани и др. Важна роля играе топлопроводността във водна среда, тъй като топлоотделянето в нея е около 20 пъти по-голямо от въздуха.

Изпарението е много ефективен механизъм за излъчване на топлина. Изпарението на 1 литър вода при температура  $35^{\circ}\text{C}$ , води до загуба на 2,43 MJ.

Най-важният физиологичен механизъм водещ до изпарение е *изпотяването*. То се реализира чрез потните жлези в кожата (общо около 3 милиона). Отделяната с потта вода е около литър и половина на ден. При продължително пребиваване в гореща среда ежедневното количество пот е около 5 литра, което води до отделяне на приблизително 12 MJ топлина. При екстремни условия максималното количество на ден може да достигне до 10 литра.

Друг път за изпарение на водата е през *белите дробове*. Издишваният въздух е почти наситен с водни пари - при нормална телесна температура той съдържа около  $44 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Чрез дишането за денонощие се отделя приблизително 804 kJ топлина.

Освен чрез потните жлези вода се отделя и пряко през кожата, т.нар. *perspiratio insensibilis* (невидимо изпотяване). То обуславя отделянето на средно около 0,5 литър за 24 часа, което е еквивалентно на топлинни загуби от 1,5 MJ.

Скоростта на изпарение силно зависи от влажността на окръжаващия въздух. Няколко показателя характеризират влажността: *абсолютна влажност* (количеството водни пари в грамове на кубичен метър въздух), *максимална влажност* (максималното количество водни пари, което може да съществува във въздуха при дадена температура) и *относителна влажност* (отношението между абсолютната и максимална влажности при дадена температура). При висока влажност изпарението силно се затруднява и дори спира. В сауна, например, човек може да понесе температури на въздуха до 120 °C при относителна влажност 3-5 %, докато дори и кратък престой в помещение с висока относителна влажност води до бързо повишаване на телесната температура (например, в парна баня с температура 50 °C, тя се повишава с 1 °C на всеки 15 минути).



Вредният ефект на високата температура е особено изразен при работа в среди с интензивно топлинно излъчване (например в стоманодобивни, леярски и стъklarски заводи), при работа в горещ влажен въздух (в текстилни фабрики, дълбоки мини и др.). Когато влажността е ниска, неблагоприятната температура сравнително по-лесно се понася поради възможността за топлоотделяне посредством изпарение. При изпарението, наред с водните загуби, количеството на неорганични соли и главно натриев хлорид в организма също намалява. Ето защо в такива ситуации трябва допълнително да се приемат натриев хлорид и други соли. Не трябва да се забравя обаче, че увеличената употреба на вода затруднява сърдечно-съдовата система.

Топлоотделянето чрез топлинно излъчване е значително. Ефективната излъчвателна повърхност на кожата е около 80 % от реалната ѝ повърхност. Количеството излъчвана топлина зависи от положението на тялото (изправено, легнало, свито), от облеклото, както и от температурната разлика между кожата и обкръжението.

## Терморегулация при хипертермия и хипотермия

Организмът се защитава от хипертермия посредством увеличаване на топлоотделянето. Това се реализира посредством вазодилатация, която усилва изпотяването, изпарението, топлопроводността, конвекцията и излъчването. При по-интензивни и продължителни топлинни въздействия физичните терморегулационни механизми не са в състояние да поддържат топлинния баланс и химични механизми (ендокринна регулация) започват да намаляват топлинната продукция в организма.

**ПРИ ХИПЕРТЕРМИЧНИ СИТУАЦИИ**

**УВЕЛИЧАВАНЕ НА ТОПЛИННИТЕ  
ЗАГУБИ**

ФИЗИОЛОГИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ВАЗОДИЛАТАЦИЯ*)

ФИЗИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ИЗПАРЕНИЕ, КОНВЕКЦИЯ, ТОПЛОПРОВОДНОСТ, ИЗЛЪЧВАНЕ*)

**НАМАЛЯВАНЕ НА ТОПЛИННАТА  
ПРОДУКЦИЯ**

ХИМИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ЕНДОКРИННА РЕГУЛАЦИЯ*)

При хипотермични условия постоянството на телесната температура се поддържа чрез понижаване на топлоотдаването вследствие на вазоконстрикция и чрез увеличаване ендогенната продукция на топлина в резултат на усилване на метаболизма. Голямо количество топлина се отделя при мускулна активност (например, при треперене от студ и извършване на работа от мускулите). При разпадането на 1 мол аденозин трифосфат се отделят около 30 kJ. Това на практика е химична термогенеза, тъй като само около 25 % от енергията, освободена при тези биохимични реакции се превръща в работа, а останалата се отделя като топлина. В химичната термогенеза участвуват и т.нар. “калоригенни” хормони - тироксин, епинефрин, норепинефрин (затова този вид термогенеза често се нарича хормонална термогенеза). Тироксинът може да ускори двойно метаболизма, респективно топлинната продукция, епинефринът и норепинефринът – по-слабо.

**ПРИ ХИПОТЕРМИЧНИ СИТУАЦИИ**

**НАМАЛЯВАНЕ НА ТОПЛИННИТЕ  
ЗАГУБИ**

ФИЗИОЛОГИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ВАЗОКОНСТРИКЦИЯ*)

ФИЗИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ИЗПАРЕНИЕ, КОНВЕКЦИЯ, ТОПЛОПРОВОДНОСТ, ИЗТЪЧВАНЕ*)

**УВЕЛИЧАВАНЕ НА ТОПЛИННАТА  
ПРОДУКЦИЯ**

ФИЗИОЛОГИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*ТРЕПЕРЕНЕ, ТРЕСКА*)

ХИМИЧНИ МЕХАНИЗМИ  
(*РАЗПАДАНЕ НА АТФ, ХОРМОНАЛНА ТЕРМОГЕНЕЗА*)



# МЕДИЦИНСКИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТОПЛИНАТА

## Терапевтични приложения на загаряването

**Каутеризация** е медицински термин, известен в английския език още от 1541 г. Произхожда от глагола *to cauterize*, който пък идва от латинския *cauterizare*, което означава *жигосвам с нажежено желязо*. Каутеризацията се е използвала за спиране на тежки кръвотечения, особено при ампутации на крайници. Процедурата е проста - парче метал, нагрят в огън, се поставя върху раната. Това нагрива бързо кръвта и тъканите до висока температура, белтъците коагулират и това спира кървенето с цената на масивно тъканно увреждане.

Каутеризация се използва и до днес, но в много по-изтънчен вариант - електрокаутеризация (наричана още електрохирургия). Това е процес на топлинно разрушаване на тъкани чрез пропускане на променлив електричен ток през тях. Прилага се в режими на рязане или локално спиране на кръвотечения, като отделянето на топлина се контролира с промени в честотата и силата на тока. (Виж раздел *Медицински приложения на променливите токове*)

Освен в модерната хирургия топлината е най-често прилаганият фактор във физикалната терапия. Локалното загаряване на части от тялото ускорява техния метаболизъм и подпомага преодоляването на патологичния процес със силите на самия организъм.

Загряването посредством *топлообмен* е основано на факта, че ако два обекта с различни температури се поставят в контакт, топлината ще се пренася чрез топлопроводност от по-топлия обект към по-студения. Общото количество пренесена топлина ще зависи от площта на контакт, от температурната разлика, времето на контакта и термичната проводимост на контактуващите обекти. Прилагат се горещи водни или кални бани, контакт с нагрети тела (термофори, електрически възглавници, горещ парафин), които загряват повърхността на тялото, тъй като циркулиращата кръв ефективно премахва топлината, проникваща навътре в тъканите. Този вид загряване се използва при терапия на такива състояния като артрити, неврити, синусити, навяхвания и разтегнати сухожилия.

Облъчване с *ултразвукови вълни* също се прилага за дълбоко загряване на телесните тъкани. Тези вълни предизвикват механично движение по подобие на звуковите вълни, но тяхната честота е много по-висока (обикновено около 1 MHz). При ултразвуковата диатермия обикновено се използват мощности от порядъка на няколко  $W/cm^2$ . Източникът на ултразвук е в директен контакт с тялото. При преминаването на ултразвуковите вълни през тялото частиците на тъканите се разтрептяват в такт с честотата на ултразвука. Това тяхно движение води до отделяне на топлина в тъканите. Ултразвуковото затопляне е полезно при ставни заболявания, тъй като костите поглъщат ултразвуковата енергия по-ефективно от околните меки тъкани.

*Инфрачервеното облъчване* също се използва за повърхностно затопляне на тялото. Това е същата форма на топлина, която получаваме от слънцето или от огъня. Изкуствени източници на инфрачервена светлина са 250 W лампи с нагреваема жичка. За терапевтични цели се използват дължини на вълните между 0,8 и 40 микрометра. Инфрачервените електромагнитни вълни проникват през кожата на дълбочина около 3 милиметра и увеличават повърхностната температура. Прекомерната експозиция с тях обаче предизвиква зачервяване (еритема) и понякога подуване (едема) на кожата. Този тип загряване обикновено се използва при третиране на същите състояния както и при загряването чрез топлообмен, но се смята, че е по-ефективен, тъй като топлината прониква по-надълбоко.

Преминаването на *електричен ток* през тялото също има топлинен ефект. Локалното повишаване на температурата вътре в тъканите, дължащо се на протичането на променливи токове при облъчване с къси или микровълни се нарича диатермия. Количеството топлина, което се отделя вътре в тялото посредством електрическа диатермия се увеличава с повишаване честотата на електрическия ток. Късовълновата диатермия прилага електромагнитни вълни в радиодиапазона (с дължина на вълната около 10 м). Микровълновата диатермия използва по-къси вълни (с дължина около 12 см). Топлината, отделяна при късовълновата диатермия прониква по-дълбоко в тялото, отколкото при загряване чрез топлообмен и инфрачервено облъчване. Ето защо този метод е полезен за вътрешно загряване. (виж раздел *Електромагнитни вълни*)



## Медицински приложения на охлаждането

Освен придаването на топлинна енергия към тялото и отнемането ѝ също намира широко приложение в медицината. Това е основано главно на забавяне скоростта на метаболитните процеси, а също и на процеси, съпътстващи замръзването на водата. Ниските температури, отнасящи се към т.нар. криогенна област (от гръцката дума *криос*, което означава ледено студено) са в диапазона от  $-150$  до  $-273$  °C (от 123 до 0 K). *Криогениката* се занимава с получаването и използването на много ниски температури, *криобиологията* - с изледването на техните биологични ефекти, а *криомедицината* ги прилага за медицински цели.

**Криогениката** води своето начало от 1877 г., когато кислородът е бил за пръв път охладен до температурата, при която се превръща в течност ( $-183$  °C или 90 K). През 1895 г. става възможно да бъдат достигнати температури до 40 K, въздухът е бил втечен и разделен на основните си компоненти. През 1908 г. бива втечен хелий (4,2 K), а през 1960 г. е достигната температура от 0,000001 K (милионна част от Келвина над абсолютната нула).

По време на превръщането на твърдо тяло в течност или на течност в газ температурата на системата остава постоянна. Температурата на тези фазови преходи за различните субстанции е различна. Например, температурата на твърдия въглероден диоксид е  $-79$  °C (194 K), на течния азот  $-196$  °C (77 K), а на течния хелий  $-269$  °C (4 K).

Криогенните течности се съхраняват в т.нар. дюарови съдове, изобретени от Джеймс Дюар през 1892 г. Дюаровият съд е топлинно изолиран контейнер с двойни стени като пространството между тях е вакумирано, което съществено намалява топлинните загуби чрез топлопроводност и излъчване. Повърхностите на дюаровия съд са посребрени или полирани, така че радиацията попаднала върху повърхността да се отразява в по-голяма степен, отколкото се поглъща. Такива са и добре познатите термоси, които се използват за съхранение на топли и студени напитки. Съществуват дюарови съдове с капацитет над 100 хиляди литра.

**Криомедицина.** Консервацията на органи и тъкани, предназначени за трансплантация се осъществява при ниска температура. Това позволява достатъчно дълго съхраняване на тяхната жизнеспособност и нормално функциониране. Ниски температури се използват за дълготрайно съхранение на кръв, семенна течност, костен мозък, тъкани. За по-дълготрайно съхранение тъканите трябва да бъдат поставяни при много ниски температури. Тъй като биохимичните и физични процеси, които поддържат живота, са температурно зависими, понижаването на температурата намалява тяхната скорост. Затова съхранението е по-добро при по-ниски температури.

Възстановяването на нормалните жизнени функции след размразяване е много силно зависимо от скоростта на замразяване. То може да бъде улеснено от добавянето на предпазващи агенти като глицерол или диметилсулфоксид при замразяването, но тяхното премахване след размразяването е трудно. При конвенционалния метод за консервиране кръвта се смесва с антикоагулант и се съхранява при 4 °С. При тези условия около 1 % от червените кръвни клетки ежедневно се разрушават чрез хемолиза, така че кръвта става неизползваема след около 21 дена. За съхранението на широко разпространените кръвни групи това не е проблем, тъй като тази кръв обикновено бързо се използва след нейното взимане, но за по-редки кръвни типове, които не се консумират толкова често, този период на съхранение е недостатъчен.

Кръвта може да бъде съхранявана за много по-дълго време ако бързо се замрази. Две техники се използват за това. Първата използва замразяване в тънкостенни контейнери, а втората е т.нар. "blood-sand" метод. При първия подход кръвта се налива в плоски съдове с тънки метални стени, така конструирани, че обема на кръвта между стените е малък. Напълненият с кръв съд се потапя бързо във вана с течен азот. При втория метод кръвта се разпръсква на малки капчици върху повърхността на течен азот, където замръзва.



Много по-трудно е да се съхранят кожа, кости, мускули или органи, тъй като те са по-комплексни от единичните клетки. Освен това те имат големи размери и това ограничава възможността за бързо охлаждане. При тях добавянето и отстраняването на протективни агенти е трудно. Засега само по-прости биологични системи като кръв, сперма и тъкани са успешно замразявани, съхранявани и "съживявани".

Криогенните методи се прилагат също и за разрушаване на клетки и тъкани. Това им приложение се нарича *криохирургия*. Използува се инструмент, охладен с течен азот. Криохирургията има няколко предимства. При нея има много по-малко кръвене на третираната област. Обема на третираната област може да бъде контролиран чрез температурата на криохирургичния инструмент. Освен това усещането за болка е силно намалено, тъй като ниските температури десенсибилизират нервите. Криохирургия се използва при премахване на брадавици, сливици, тумори, хемороиди, също и при някои типове очна хирургия.

Понижени температури се получават и при адиабатното разширение на състени газове. Такъв охлаждащ ефект се получава например при аерозолни обезболяващи спрейове. Охлаждането има анестезиращ (обезболяващ) ефект.