

Stárnutí, entropie a lidské zdraví

Vladislav Navrátil

Pedagogická fakulta MU

navratil@ped.muni.cz

1. Úvod

Téma stárnutí jistě nepatří k vyhledávaným námětům rozhovorů, i když se mu často nevyhneme. Avšak co je to stárnutí? Podle některých autorů je to jistý druh akumulace změn (obvykle k horšímu) ve věcech, organismech, či společnostech [1]. Co se týká lidského organismu, jedná se o multidimenzionální proces fyzikálních, psychologických a sociálních změn. Mladí lidé si obvykle nepřipouštějí, že někdy zestárnou, ale čas je neúprosný. Tak například v 80 letech má lidské srdce asi poloviční účinnost, než mělo v 60.

Střední doba života různých organismů je značně rozdílná. Například některé druhy borovic žijí až 4000 let. Jepice žijí jeden den, blecha asi 30 dní, bílé myši asi 4 roky, psi a kočky dosahují stáří až 15 let, koně 40 let, nosorožci 50 let, indiští sloni 80 let, některé druhy ryb 100 let a některé želvy až 150 let.

Z fyzikálně – chemického hlediska je život řadou chemických reakcí, urychlovaných či zpomalovaných enzymy. Naše těla akumulují nebo vydávají energii. Při konstantní teplotě ji vydáváme do okolí jako teplo (vzniklé metabolickou přeměnou tuků, uhlohydrátů a proteinů). Velmi důležitou charakteristikou, kterou lze měřit, je tzv. „Bazální metabolická rychlost“ (Basal Metabolic Rate (BMR)), která je definována jako energie, vydávaná organismem za standardizovaných podmínek (fyzický i duševní klid, 12 – 18 hodin po posledním jídle, za teplotně neutrálních podmínek). Tato hodnota se mění během dne nahoru a dolů o 10%, maximálně až o 17%. Protože BMR úzce souvisí s procesem stárnutí, uvedeme v první kapitole velmi stručný přehled teorií stárnutí [1]

2. Teorie stárnutí

2.1. Biologické teorie stárnutí [1,3]

Podle mínění mnoha vědců je stárnutí do značné míry podmíněno genetickými dispozicemi. Uvedme jejich krátký přehled:

- *Telomerová teorie.* Telomery jsou struktury, umístěné na koncích chromozómů. Experimentální údaje říkají, že při každém dělení buňky dochází k jejich zkrácení. Takto zkrácené telomery zpětně aktivují mechanismy, které brání dalšímu buněčnému dělení (takový mechanismus může být aktivní při stárnutí takových tkání, jako je kostní dřeň a výstelka cév, kde je existence aktivního dělení buněk podstatná).
- *Teorie reprodukčních buněčných cyklů.* Podle této teorie je stárnutí regulováno hormony, podporujícími růst a rozvoj buněk v mládí (tedy řídí stárnutí).

- *Teorie opotřebení.* Stárnutí je výsledkem akumulace chyb a poškození, která se akumulují v organismu během života.
- *Somatická mutační teorie.* Podle této teorie je stárnutí základní vlastností buněk, která je v nich již od jejich vzniku zakódována.
- *Teorie akumulace poškození.* Stárnutí je výsledkem chyb, vznikajících při „čtení“ genetického kódu.
- *Virová teorie stárnutí.* Podle této teorie je virová infekce nejpravděpodobnějším původcem škod, vznikajících v DNA.
- *Teorie akumulací odpadů.* Produkty metabolické činnosti buněk způsobují stárnutí.
- *Autoimunitní teorie.* Vyrůstající hladina antilátek atakuje tělesné tkáně a svými účinky způsobuje stárnutí organismů.
- *Časová teorie stárnutí.* Stárnutí je výsledkem předem naprogramovaného systému, který je součástí nervové a endokrinní soustavy organismu.
- *Teorie volných radikálů.* Volné radikály, tj. Vysoce reaktivní organické molekuly vytvářejí poškození, jejichž výsledkem jsou symptomy stárnutí.
- *Spolehlivostní teorie stárnutí.* Tato teorie je založena na obecné teorii systémů. Podle ní je možné např. předpovídat exponenciální růst mortality s věkem (Gompertzův zákon).
- *Teorie akumulace chyb uspořádání.* Stárnutí je důsledkem akumulace chyb uspořádání. Na této teorii je důležité správně rozlišit mezi „poškozeními“ (defekty před opravami) a „chybami uspořádání“, které popisují defektní strukturu po chybné opravě.

2.2. Nebiologické teorie stárnutí [1,3]

- *Teorie odpoutání.* Podle této teorie je stárnutí důsledkem separace starších lidí od aktivní role ve společnosti (tato teorie je často kritizována).
- *Teorie aktivity.* Podle této teorie je spokojenost starších lidí s jejich životem přímo závislá (úměrná) jejich aktivitě.
- *Selektivní teorie.* Tato teorie je kompromisem mezi teorií aktivity a teorií odpoutání. Starší lidé by měli být aktivnější a měli by být více zapojováni do všeobecného dění.
- *Teorie kontinuity.* Důležitou roli ve zpomalení procesu stárnutí hraje kontinuální přechod z velmi aktivního života v mládí ke klidnějšímu životu ve stáří.
- *Teorie stárnutí, využívající pojmu entropie.* Tato teorie je velmi podobná teorii opotřebení a budeme se jí věnovat podrobněji v dalším textu. Nejdříve však uvedeme nejzákladnější fyzikální poznatky, vztahující se k pojmu entropie.

3. Základní termodynamické pojmy.

Termodynamika je založena na dvou základních zákonech, které mají dalekosáhlý význam a aplikace v přírodních procesech, průmyslu a ekonomice.

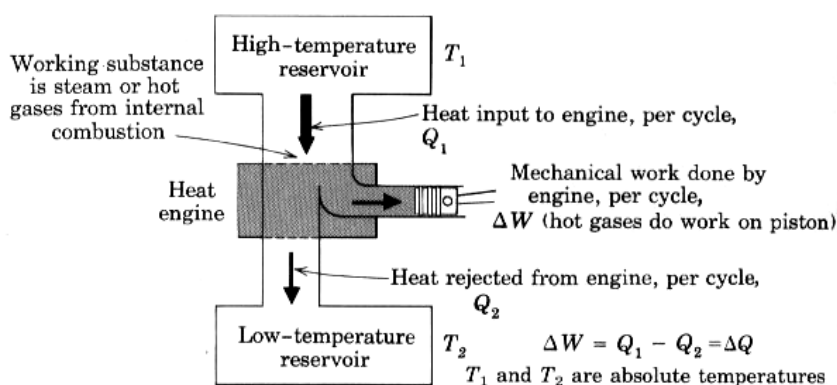
První zákon termodynamiky je obdobou obecného Zákona zachování energie pro zvláštní případ, zahrnující teplo. V nejjednodušší formě jej lze psát jako

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (1)$$

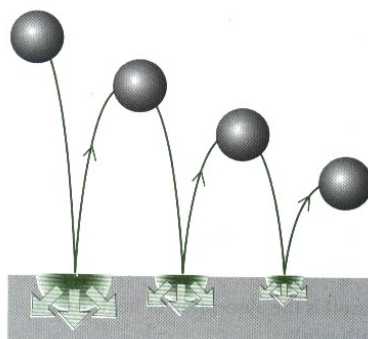
kde DU je změna vnitřní energie soustavy, DQ je teplo soustavě dodané a DW je práce, na soustavě vykonaná (soustavě dodaná). Lze jej tedy definovat následovně: *zvýšení vnitřní energie soustavy lze dosáhnout tak, že jí buď dodáme teplo, nebo na ní vykonáme práci (nebo obojí)*. Na Obr.1 je znázorněn schematicky princip činnosti tepelného stroje, pracujícího podle 1. termodynamického zákona.

Druhý termodynamický zákon blíže určuje směr termodynamických procesů v přírodě, které vždy probíhají od více uspořádaných stavů ke stavům s menším uspořádáním. Druhá věta termodynamiky bývá vyjadřována ve třech různých formulacích podle různých autorů [4,5]:

1. Není možné, aby teplo přecházelo samovolně z tělesa chladnějšího na těleso teplejší (Rudolph Clausius 1822 – 1888).
2. Není možné sestavit perpetuum mobile II. druhu, tj. stroj, který by bez dodání jiné energie pouze ochlazoval tepelnou lázeň a konal ekvivalentní práci (Sadi Carnot 1796 – 1832).
3. Výsledkem přírodních procesů je skutečnost, že zásoby energie, schopné konat práci neustále spojitě klesají (Lord Kelvin 1824 – 1907).



Obr.1. K ilustraci I. Termodynamické věty. Převzato z [5].



Obr.2. K ilustraci II. Termodynamické věty. Převzato z [4]

Jeden z případů, dokumentující platnost druhého termodynamického zákona, je znázorněn na Obr.2 (proces odrazení pružné kuličky a předávání energie podložce ve formě tepla je jednosměrný).

Veličinou, která jasně charakterizuje neuspořádanost soustavy je tzv. *entropie soustavy* (z řeckého slova, značícího přeměnu). Entropii můžeme chápat jako charakteristiku degradace energie v jejích různých přeměnách. Druhý termodynamický zákon také někdy nazýváme *zákonem entropie* a formulujeme jej následovně: *při reálných dějích v přírodě entropie neklesá*. Clausius definoval entropii matematicky pomocí vztahu

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2)$$

zde je ΔQ malá reverzibilní změna tepla dané soustavy a T je teplota, při níž k této změně dochází.

Přírodní procesy v izolovaných soustavách tedy probíhají vždy tak, že entropie vzrůstá, nebo je konstantní (tak je tomu v případě ideálně vratných procesů). Z Obr. 1 plyne, že teplo z ohřívače (teplota T_1) přechází do chladiče (teplota T_2). Během tohoto procesu se v tepelném stroji část tepla (přesněji vnitřní energie) přemění na mechanickou energii. V případě, že bychom odstavili tepelný stroj, došlo by pouze k ochlazení ohřívače a ohřátí chladiče a tento proces by se opakoval do té doby, až by došlo k tepelné rovnováze v celé soustavě chladič + ohřívač. V tomto druhém případě také nedochází k poklesu celkové energie soustavy (I. věta), ale možnost přeměny jisté části vnitřní energie na mechanickou práci byla ztracena a to navěky (II. věta termodynamiky). „Směs“ horkého a chladného plynu, kterou jsme získali na závěr procesu již nemůže být rozdělena zpět na horký a chladný plyn zvlášť. V tomto procesu entropie vzroste v souladu se vztahem (2).

4. Energie, entropie a délka života.

Z fyzikálně – chemického hlediska jsou chemické reakce v živých organismech urychlovány a řízeny pomocí enzymů [1]. Lidské tělo má obvykle konstantní teplotu, což znamená, že na jedné straně získáváme energii z tuků, uhlohydrátů a proteinů a na druhé straně ji předáváme do okolí jako teplo. Z termodynamického hlediska to znamená, že uspořádané organické molekuly se mění na zcela neuspořádanou formu energie – na teplo. Vysoce uspořádané systémy mají nízkou entropii a vysoký obsah informací. Podle druhé termodynamické věty směřují takové systémy neodvratně do stavu s maximální entropií, tj. ke smrti. Chápeme – li tedy smrt organismu jako stav s maximálním neuspořádáním, potom podle teorie vyčerpání můžeme spojit *délku života* s pojmem *produkce entropie*. Produkce entropie u savců (myši, koní, prasat, aj.) je téhož řádu, jako produkce entropie lidí (ta je jenom asi 4 – 5 krát vyšší). Proč se však liší?

Jak již bylo uvedeno, závisí u živých organismů jejich energetický obsah, produkce entropie, vitalita a rychlost stárnutí na chemických reakcích v jejich organismech, ovlivňovaných zejména teplotou. Vyvinuté teplo, měřené za definovaných podmínek se nazývá, jak již bylo uvedeno v kapitole 1., Bazální metabolická rychlost (BMR). Měříme ji tak, že podrobíme organismus půstu, trvajícímu 12 – 18 hodin a ponecháme jej v klidu (poloha vleže, bez vnějších stresů). Potom lze předpokládat, že veškerá zásobní energie organismu se úplně přemění na teplo, které přejde do okolí (a které lze měřit, např. kalorimetricky). Je známo, že pacienti, trpící rakovinou, mají vyšší metabolickou rychlost, než je tomu u zdravého člověka. Podobně i lidé, nemocní kardiovaskulárními nemocemi

mají také vyšší BMR. Kuřáci mají větší potíže se spánkem, než nekuřáci, neboť kouření zvyšuje krevní tlak, srdeční tep a koncentraci mastných kyselin v organismu. To znamená, že kuřáci uměle zvyšují metabolickou rychlost a že jsou vlastně fyziologicky starší, než nekuřáci téhož věku. Podle teorie vyčerpání si tedy zkracují život. Malé děti vykazují vysoký BMR (asi dvakrát vyšší, než dospělí), neboť se jejich organismus vyvíjí a mění velmi rychle. Po 10. roku jejich věku jejich BMR postupně klesá s časem. BMR je rovněž ovlivňováno teplotou (je nižší při vyšší teplotě) a je úměrné tlaku. Vegetariáni mají nižší BMR, než je tomu u lidí, konzumujících velká množství proteinů (maso). Ve spánku vydáváme nejméně tepla a tak tento stav lze považovat za jakýsi normál pro měření BMR. Sedavá činnost, jako je psaní, práce s počítačem, apod., vykazuje BMR o 50% - 100% vyšší, než je spánková hodnota. Lehčí aktivity (pomalá chůze) vykazují asi 3x větší hodnotu BMR, střední aktivity (rekreační plavání, jízda na kole) asi 5x – 6x vyšší hodnotu. Velmi náročná fyzická činnost (rychlá jízda na kole, horolezectví) vykazují hodnotu BMR 13x – 16x vyšší, než je spánková hodnota.

Dá se tedy konstatovat, že zřejmě existuje jistý vztah mezi délkou života a metabolickou rychlostí. Podělíme – li metabolickou rychlost teplotou organismu, obdržíme veličinu, která charakterizuje produkci entropie organismu (viz vztah (2)). Náš život je potom cestou od velmi uspořádaného stavu k postupně stále více neuspořádanému stavu, končícímu smrtí organismu (totálně neuspořádaný stav). Srovnáme – li tedy dvě osoby stejného věku, potom ta, která vykazuje vyšší produkci entropie, žije rychleji a méně efektivně a pravděpodobně zemře dříve. S postupujícím stářím rychlost produkce entropie zmenšuje, ale pokles přesto stále pokračuje. Tedy, produkce entropie může být indikátorem stárnutí: je velká, jsme – li mladí a nízká, jsme – li staří.

5. Závěr

Procesy stárnutí jsou vždy doprovázeny plynulým rozvojem vzniku nedokonalostí, charakterizovaných entropií. Vztah mezi entropií a ostatními veličinami je následující:

1. Růst vnitřní energie soustavy (organismu) způsobuje růst její entropie.
2. Soustava se stane neuspořádanější, je-li na ní konána práce, nebo je – li jí zvnějšku dodáno teplo.
3. S rostoucím časem (stárnutí) roste entropie soustavy (organismu).
4. S růstem entropie soustavy dochází i k růstu množství neuspořádaností v soustavě.
5. S růstem entropie soustavy (stárnutí) dochází k poklesu možností konání práce.
6. Nepříliš optimistický závěr: princip růstu entropie je všeobecným přírodním zákonem a tedy ani ta nejlepší lékařská péče nemůže zajistit lidem nesmrtelnost (a to ani v daleké budoucnosti).

Literatura

- [1] HERSHEY, D.: *Entropy Theory of Aging Systems*. Imperial College Press, London 2010.
- [2] Wikipedia, free Encyclopedia.
- [3] <http://www.healthsystem.virginia.edu>
- [4] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J.: *Fundamentals of Physics*.

John Wiley, 1997.

Materiál byl zpracován v rámci projektu "Systémová podpora trvalého profesního rozvoje (CPD) pedagogických pracovníků propojením pedagogické fakulty se školami na Jižní Moravě – EDUCOLAND"

Projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

- [5] HARRIS, N.C., HEMMERLING, E.M., MALLMANN, A.J.: *Physics Principles and Applications*. Mc Graw Hill 2000