

## Poglavlje 2

---

# Svakodnevni poslovi našeg tela

---

### ***U ovom poglavlju***

Razmatranje svakodnevnih automatskih funkcija tela

Šta se događa u svakoj ćeliji

Značaj homeostaze

Izgradnja i održavanje delova tela

---

**O**vo poglavlje se bavi vašim životom sa aspekta organizma. Kao što je rečeno u poglavlju 1, *organizam* je peti od pet nivoa organizacije živih bića.

Iako se reč organizam može definisati na mnogo načina, za potrebe ovog poglavlja organizam je živa jedinka koja obavlja metaboličke procese i održava sopstvenu egzistenciju.

Čitajući ovo poglavlje shvatićete zašto vaš spisak obaveza – ionako pretrpan – ne obuhvata stavke poput: *udahni vazduh deset puta svakog minuta ili u 11.30 otvori znojne žlezde*. Prosesi koje vaše telo mora svakog minuta da obavlja – da i ne pominjemo biohemijske reakcije koje se odvijaju hiljadama ili milionima puta u sekundi da bi se život održao – ne mogu biti poverene nezrelim i raznim ometanjima podložnim frontalnim režnjevima mozga (svesni deo našeg mozga, zadužen za planiranje). Umesto toga, naši organi i sistemi organa, čiji rad koordiniraju u evolutivnom smislu stariji delovi našeg mozga, glatko i skladno funkcionišu kako bi se ti procesi i reakcije odvijali automatski, tako da ni u jednom trenutku ne budu predmet naše svesne pažnje. Svakoga dana i noći, godinu za godinom, naše telo gradi i održava svaki deo nas samih; održava temperaturu i sadržinu naših telesnih tečnosti unutar prilično precizno definisanih vrednosti, i unosi potrebne supstance iz okruženja a potom ih izbacuje. To su procesi *metabolizma* i *homeostaze*.

## Prenos energije: mesto tela u svetu

Zakoni termodinamike su temelj načina na koji fizičari i hemičari shvataju univerzum. Oni su na „mi-sledeće-istine-smatramo-samorazumljivima“ nivou podrazumevanja za fizičare i hemičare svih specijalnosti, uključujući i sve biologe. Prvi zakon termodinamike kaže da se energija ne može ni stvoriti ni uništiti. (U poglavlju 16 možete se podsetiti prvog zakona termodinamike i drugih osnovnih zakona fizike i hemije.) Energija neprekidno menja svoj oblik – u zvezdama, u mašinama i uređajima svih vrsta i, na veoma poseban način, unutar organizama.

Najosnovnija funkcija svakog organizma, dakle i nas na ovoj planeti, jeste učestvovanje u ovom neprekidnom protoku energije. Kao *heterotrofi* (organizmi koji ne vrše fotosintezu), mi energiju unosimo u obliku materije – to jest, jedemo tela drugih organizama. Koristimo energiju uskladištenu u hemijskim vezama date materije da bismo pomoću nje – kao „goriva“ – omogućili procese našeg *metabolizma* i *homeostaze*. Dejstvom tih procesa, energija se preobražava u materiju koja čini nas same (materiju naših ćelija), materiju koja nije „mi“ (materija koju izbacujemo disanjem i ona sadržana u našem urinu), i izvesnu količinu toplote koju naše telo emituje u okruženje.



*Hetero* znači „drugo“ a *tropho* znači „hrana“. Svaki *heterotrof* dobija svoju hranu od drugih, za razliku od *autotrofa*, koji svoju hranu sami proizvode, kao što to čine biljke.

Biljke pretvaraju sunčevu energiju u hemijsku energiju ugljovodonika, koji čine najveći deo telesne mase biljaka, reciklirajući pritom otpadnu materiju (ugljen-dioksid) naših sopstvenih metaboličkih procesa. Energija neprestano kruži, a izvesna količina neprekidno protiče kroz nas same, konstantno pri tome menjajući svoj oblik. Vi ste, dragi moj prijatelju, deo ciklusa kosmičkih dimenzija!

## Građenje i razgrađivanje: metabolizam

Reč *metabolizam* označava sve hemijske reakcije koji se odvijaju u telu. Postoje dva tipa ovih reakcija – *anaboličke reakcije* stvaraju strukture (molekule), a *kataboličke* ih razgrađuju.



Da bi vam se značenje reči anaboličko i kataboličko urezalo u pamćenje, asocirajte reč *kataboličko* s rečju *katastrofično*; tako ćete zapamtiti da kataboličke reakcije razgrađuju produkte, a onda ćete se odmah setiti da ih anaboličke reakcije stvaraju.

U našem telu se istovremeno i ciklično odvijaju i anaboličke i kataboličke reakcije, kako bi nas održavale u životu i sposobnim za funkcionisanje. Čak i kada spavamo, naše ćelije rade. Mi se u tom pogledu zapravo nikada i ne odmaramo (osim posle smrti).

Poglavlje 11 će vas detaljno upoznati s načinom na koji sistem organa za varenje razlaže hranu u nutrijente i doprema ih u naš krvotok. Poglavlje 9 objašnjava kako krvotok nutrijente doprema do svake ćelije tela, a istovremeno otpadne materije odvodi do urinarnog sistema. Poglavlje 12 prikazuje

zuje kako urinarni sistem filtrira krv i otpadne materije uklanja iz krvi. To poglavlje opisuje reakcije koje se odvijaju u našim ćelijama da bi se „gorivo“ pretvorilo u upotrebljiv oblik energije.

## Zašto naše ćelije metabolišu

Čak i kada spolja gledano mirujemo, unutrašnjost našeg tela se kreće. I danju i noću naši mišići se naizmenično grče i opuštaju i održavaju svoj „tonus“. Naše srce kuca. Naša krv kruži telom. Naša dijafragma se diže i spušta sa svakim našim dahom. Nervni impulsi putuju telom. Naš mozak o svemu vodi računa. Mi razmišljamo. Naša creva satima potiskuju hranu koju smo pojeli kroz digestivni trakt. Naši bubrezi filtriraju krv i stvaraju urin. Naše znojne žlezde se otvaraju i zatvaraju. Naše oči trepću i pokreću se čak i tokom sna. Muškarci proizvode spermu. Žene prolaze kroz menstrualni ciklus. Procesi koji nas održavaju u životu neprestano se odvijaju.

Svaka ćelija našeg tela liči na malu fabriku, pretvarajući sirovine u korisne molekule kao što su belančevine i hiljade drugih proizvoda, od kojih ćemo mnoge razmotriti u ovoj knjizi. Sirova materija (nutrijenti) dolazi iz hrane koju smo pojeli, a ćelije te nutrijente koriste u metaboličkim reakcijama. Tokom tih hemijskih reakcija, jedan deo energije iz katabolisanih nutrijenata koristi se za stvaranje jedinjenja pod nazivom *adenozin-trifosfat* (ATP). Pri svakom razlaganju ATP-a, oslobađa se energija koju ćelije mogu da koriste.

Dakle, nutrijenti se katabolišu (razlažu), stvara se ATP (anaboliše se), a potom se, kada je to potrebno, ATP kataboliše. Ovaj princip povezanih anaboličkih i kataboličkih reakcija jedan je od temeljna fiziologije čoveka, i neophodan je za održavanje života. Ćelijski metabolizam takođe stvara otpadne materije koje se moraju ukloniti iz ćelije i, konačno, iz samog tela.

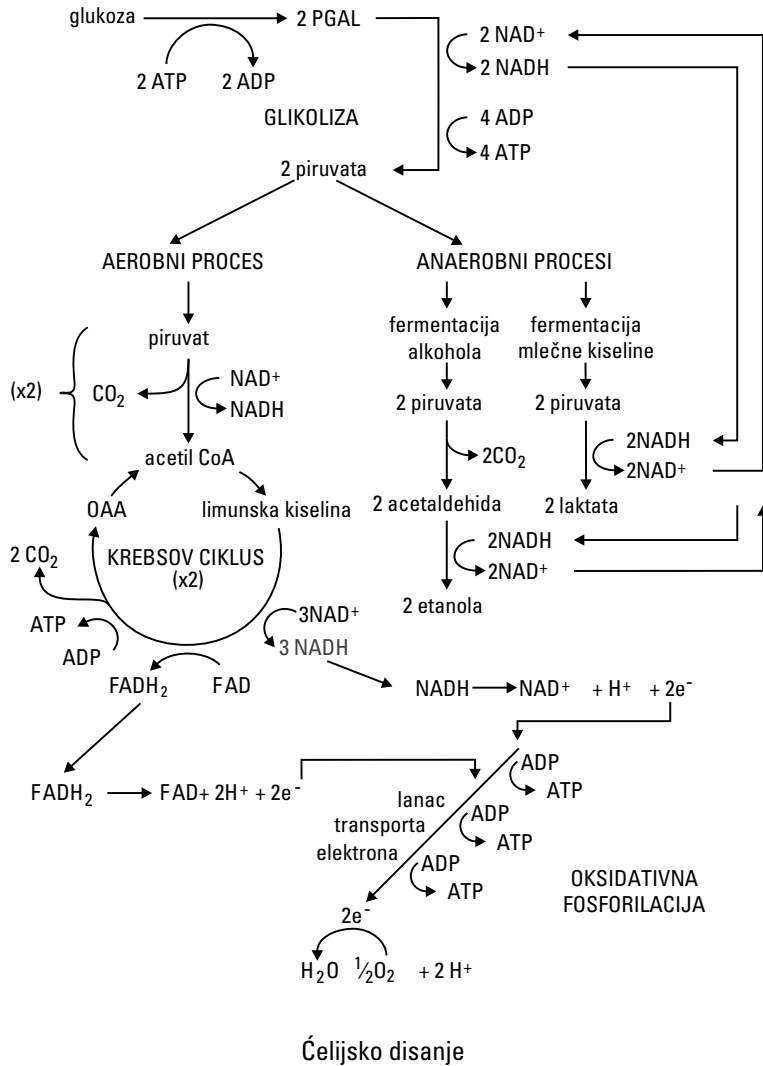


## Kako naše ćelije metabolišu

U hemijske reakcije koje pretvaraju energiju u korisnu energiju (molekule ATP-a) spadaju, glikoliza, Krebsov ciklus (aerobno disanje), anaerobno disanje i oksidativna fosforilacija. Uzete zajedno, sve ove hemijske reakcije nazivaju se *ćelijsko disanje*. U pitanju su složeni procesi, pa računajte da će vam trebati izvesno vreme da ih shvatite. Pogledajte sliku 2-1 i vraćajte se na nju koliko god puta treba da biste shvatili šta se događa tokom ćelijskog disanja.

*Glikoliza*, proces razgradnje glukoze, odvija se u *citoplazmi* (tečnom delu) svake ćelije. Pirogroždana kiselina, proizvod glikolize, premešta se iz citoplazme u ćelijske organele, *mitochondrije* – ćelijske „elektrane“. *Krebsov ciklus*, poznat i pod nazivom *trikarboksikiselinski ciklus* ili *ciklus limunske kiseline*, odvija se u mitohondrijama.

U završnoj fazi Krebsovog ciklusa, visokoenergetski molekuli stvoreni u toku ciklusa premeštaju se u *membranu* mitohondrija gde se kroz zid membrane prenose preko lanca transporta elektrona (respiratornog lanca). Na kraju tog lanca, ovi molekuli se koriste za stvaranje adenozin trifosfata (ATP) od adenozin difosfata (ADP) i neorganskog fosfata (P<sub>i</sub>), a oslobađa se voda.

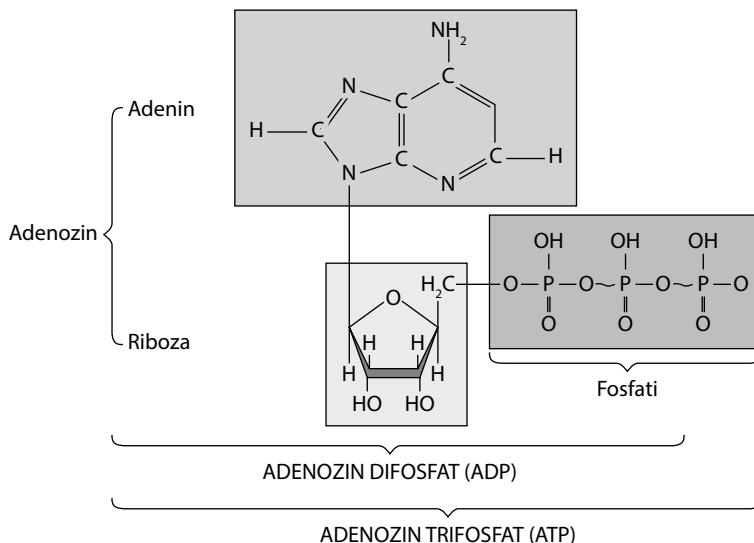


**Slika 2-1:**  
 Čelijsko disanje:  
 glikoliza,  
 aerobno disanje  
 (Krebsov ciklus),  
 anaerobno  
 disanje i oksida-  
 tivna fosforilacija  
 – procesi koji pre-  
 tvaraju energiju  
 „goriva“ u ATP.

ATP je ćelijska „energetska valuta“. Baš kao što ne možete nastaviti da trošite novac a da ponešto ne zaradite kako biste dopunili svoje zalihe, vaše telo ne može da troši energiju a da ne unosi gorivo. Kada ćeliji zatreba energija kao gorivo za njen metabolizam, ona je „plaća“ molekulima ATP-a. Na slici 2-2 prikazana je hemijska struktura molekula ATP-a i srodnog molekula ADP-a.

**Putevi razgrađivanja glukoze (glikoliza)**

Počev od vrha slike 2-1, možete videti da glukoza – najmanji molekul na koji se ugljeni hidrati mogu razgraditi varenjem – prolazi kroz proces glikolize, koji pokreće ćelijsko disanje i sam koristi izvesnu količinu energije (ATP).



**Slika 2-2:**  
Hemijska struktura ADP-a i ATP-a.

*Glikoliza* se odvija u citoplazmi i ne zahteva kiseonik. Dva molekula ATP-a neophodna su za pokretanje svakog molekula glukoze koji se kotrlja niz glikolitički put; iako se tokom glikolize stvaraju četiri molekula, neto produkcija ATP-a iznosi dva molekula. Pored dva molekula ATP-a, stvaraju se i dva molekula *pirogroždane kiseline* (tj. *piruvata*). Oni ulaze u mitohondrije i stupaju u *Krebsov ciklus*.

### **Krebsov ciklus**

*Krebsov ciklus* je glavni biološki proces u metabolizmu svakog višecelijskog organizma. U pitanju je *aerobni proces* za koji je potreban kiseonik.

Kada piruvat uđe u mitohondrij, s njim se spaja molekul jedinjenja pod nazivom *nikotinamid adenin dinukleotid* (NAD<sup>+</sup>). NAD<sup>+</sup> je nosač elektrona (to jest, prenosi energiju) i omogućava odvijanje procesa unošenjem izvesne količine energije. Pri sjedinjavanju s piruvatom, NAD<sup>+</sup> obezbeđuje dovoljno energije za oslobađanje ugljen-dioksida i stvaranje visokoenergetskog molekula NADH. Proizvod sveukupne reakcije je *acetil koenzim A* (acetil CoA), molekul ugljenog hidrata koji pokreće *Krebsov ciklus*.

Ciklusi se odvijaju neprekidno. Proizvodi nekih reakcija unutar ciklusa upotrebljavaju se radi održavanja odvijanja ciklusa. Jedan od primera je acetil CoA: u pitanju je proizvod *Krebsovog ciklusa*, ali on istovremeno doprinosi pokretanju samog ciklusa. Dodavanjem vode i acetil CoA, *oksalsirćetna kiselina* (OAA) pretvara se u *limunsku kiselinu*. Nakon toga se tokom ciklusa odvija čitav niz hemijskih reakcija. Pogledajte odeljak „Detaljnije o *Krebsovom ciklusu*“, kasnije u ovom poglavlju.



## Oksidativna fosforilacija

Oksidativna fosforilacija se naziva i *respiratorni lanac* ili *lanac transporta elektrona*. Nosači elektrona – NADH i  $\text{FADH}_2$  – proizvedeni tokom Krebsovog ciklusa stvaraju se „redukcijom“ NAD odnosno FAD. Supstanca redukcijom stiče elektrone, a *oksidacijom* ih gubi. (Pogledajte poglavlje 16 da biste se detaljnije upoznali sa „redoks“ reakcijama.) Dakle, NADH i  $\text{FADH}_2$  su jedinjenja koja su stekla elektrone, pa znači i energiju. Unutar respiratornog lanca, oksidacija i redukcija se neprekidno odvijaju kao načini prenosa energije. Na kraju lanca, atomi kiseonika primaju elektrone, proizvodeći vodu. (Voda koja potiče iz metaboličkih reakcija ne doprinosi značajno ukupnim potrebama tela za vodom.)

Kako NADH i  $\text{FADH}_2$  prolaze kroz respiratorni lanac (tj. lanac transporta elektrona), oni gube svoju energiju tokom oksidacije i redukcije, pa opet oksidacije i redukcije, pa ponovo oksidacije i redukcije, pa... Zvuči pomalo zamorno, zar ne? Međutim, njihove zalihe energije troše se u dobru svrhu. Energija koju ti nosači gube koristi se za dodavanje molekula fosfora adenozin difosfatu (ADP) kako bi se stvorio adenozin trifosfat – toliko željeni ATP. A ATP je cilj pretvaranja energije iz hrane u oblik energije koju ćelije tela mogu da koriste. Na svaki molekul NADH koji se stvori u Krebsovom ciklusu, moguće je proizvesti tri molekula ATP-a. Na svaki molekul  $\text{FADH}_2$  stvoren tokom Krebsovog ciklusa, proizvedu se dva molekula ATP-a.



## Detaljnije o Krebsovom ciklusu

Krebsov ciklus je kompleksan skup hemijskih reakcija koje se odvijaju u mitohondrijama svih eukariotskih ćelija. Gubitkom vode, limunska kiselina se pretvara u u cis-akonitinsku kiselinu. Dodavanjem vode cis-akonitinska kiselina postaje izolimunska kiselina. U tom trenutku se pridružuje  $\text{NAD}^+$ , pretvarajući izolimunsku kiselinu u  $\alpha$ -ketoglutarat; u ovoj reakciji oslobađaju se ugljen-dioksid i NADH.  $\alpha$ -ketoglutarat se pretvara u sukcinil-koenzim A dodavanjem  $\text{NAD}^+$  i koenzima A. U ovoj reakciji oslobađaju se ugljen-dioksid i NADH. Sukcinil CoA sjedinjava se s guanozin difosfatom (GDP) i molekulom neorganskog fosfata (Pi), pri čemu nastaje sukcininska kiselina. Oslobađaju se koenzim A i guanozin trifosfat (GTP). Sukcininska kiselina (tj. sukcinat) pretvara se u mravlju kiselinu (fumarat) dodavanjem oksidisanog flavin-adenin dinukleotida (FAD). FAD je nosač elektrona poput  $\text{NAD}^+$ , i takođe se smatra neproteinskim enzimom. To znači da pomaže u prenošenju energije da bi reakcije nastavile da se odvijaju, kako bi se dosegao konačan cilj. FAD se u toj reakci-

ji redukuje u  $\text{FADH}_2$ . U tom trenutku odvijanja ciklusa, dodatna količina vode dodaje se fumaratu (shvatate li zašto moramo piti vodu?), koja pretvara fumarat u jabučnu kiselinu (malat).  $\text{NAD}^+$  ponovo ulazi u ciklus i pretvara jabučnu kiselinu u OAA. Oslobađa se NADH. Posle jedne faze Krebsovog ciklusa imamo sledeće količine energijom snabdevenih molekula:

- tri molekula NADH (redukovani NAD)
- jedan molekul  $\text{FADH}_2$  (redukovani flavin adenin dinukleotid)
- jedan molekul ATP.

U redu. Shvatiti da je jedan molekul ATP jednak istom takvom molekulu ATP nije teško. Ali ako je ATP jedini energetski molekul koji telo može da koristi, postavlja se pitanje koliko molekula ATP dobijamo od NADH i  $\text{FADH}_2$ ? (Nagoveštaj: NADH i  $\text{FADH}_2$  koriste se za sintetizovanje ATP od ADP i neorganskog fosfata tokom oksidativne fosforilacije, koju ćemo obraditi na drugom mestu u ovom poglavlju.)



Teoretski gledano, tokom čitavog procesa aerobnog *ćelijskog disanja* – glikolize, Krebsovog ciklusa i oksidativne fosforilacije – nastaje ukupno 38 molekula ATP-a dejstvom energije sadržane u jednom molekulu glukoze: 2 iz glikolize, 2 iz Krebsovog ciklusa, i 34 iz oksidativne fosforilacije. Taj teoretski rezultat, međutim, nikada se potpuno ne ostvaruje zato što procesi, pogotovo biološki, nikada nisu 100 odsto efikasni. U stvarnosti treba očekivati 29–30 molekula ATP-a po molekulu glukoze.

### **Anaerobno disanje**

Ponekad nema kiseonika ali je našem telu energija i dalje potrebna. Zbog tih, inače retkih situacija, postoji rezervni sistem, *anaerobni proces* (nazvan anaerobnim zato što se odvija u odsustvu kiseonika). Fermentacija mlečne kiseline stvara NAD<sup>+</sup>, tako da glikoliza, koja rezultuje stvaranjem dva molekula ATP-a, može da se nastavi. Ako, međutim, presahnu zalihe NAD<sup>+</sup>, glikoliza ne može da se odvija, pa samim tim ne mogu da nastanu ni molekuli ATP-a.

## **Zadržavanje unutar opsega: homeostaza**

Hemijske reakcije nisu nasumični događaji. Svaka hemijska reakcija odvija se tek onda kada za nju postoje potrebni uslovi, to jest, svi neophodni reagensi i katalizatori u dovoljnim količinama i dovoljno blizu da bi stupili u interakciju; gorivo za reakciju, u odgovarajućoj količini i u odgovarajućem obliku; takođe, nužno je da se sve varijable okoline nalaze unutar određenog opsega, uključujući temperaturu, salinitet i pH vrednost. Složena hemija života krajnje je osetljiva na uslove okruženja, a okruženje je samo telo. *Homeostaza* je termin koji fiziolozi koriste da označe podskup metaboličkih reakcija koje unutrašnje okruženje tela održavaju u stanju stimulativnom za odvijanje hemijskih reakcija koje nas održavaju u životu.

U sledećem odeljku razmatra se nekoliko važnih fizioloških varijabli i način na koji ih mehanizmi homeostaze održavaju unutar optimalnog opsega u običnim, svakodnevnim situacijama.

Kao i za sve metaboličke reakcije, i za reakcije homeostaze neophodna je energija.



### **Održavanje stalne temperature: termoregulacija**

Sve metaboličke reakcije, u svim organizmima, zahtevaju da telesna temperatura bude u određenom opsegu vrednosti. Životinje koje žive u moru nemaju taj problem: konstantna temperatura mora održava temperaturu morskih životinja unutar optimalnog opsega. (Izuzetak su morski sisari.) Kopnene životinje su razvile različite odgovore na velike i nagle promene temperature svoje okoline. Rešenje koje su evolucijom razvile ptice i sisari zove se *homeotermija* ili toplokrvnost: to je održavanje telesne temperature na relativno stalnom nivou, bez obzira na temperaturu okoline. Oni to



postizu regulacijom brzine svog metabolizma. (To takođe važi za morske sisare koji su svoju homeotermiju zadržali i u svom okeanskom staništu, i razvili mehanizme koji im i u toj hladnoj okolini održavaju telesnu toplotu.) Toplokrvne životinje imaju mnogo mitohondrija po ćeliji. To omogućava brze metaboličke procese koji daju veliku količinu toplote. Toplokrvne životinje moraju, i to često, da unose veliku količinu hrane kako bi obezbedile gorivo za svoj brzi metabolizam.

Regulacija telesne temperature zahteva stabilno snabdevanje gorivom (glukozom) mitohondrijskih „visokih peći“.

Suprotnost homeotermiji je *poikilotermija* („hladnokrvnost“). Komparativni anatomi i fiziolozi homeotermiju i poikilotermiju smatraju dvema krajnjim tačkama čitavog spektra prilagođavanja fluktuacijama temperature okoline na kopnu. Međutim, svi ljudi, i svi primati takođe, pravi su homeotermi, čiji životni procesi zahtevaju konstantno održavanje telesne temperature unutar uskog opsega vrednosti.

Drugi način na koji toplokrvne životinje kontrolišu svoju telesnu temperaturu jeste upotreba mehanizama prilagođavanja koji omogućavaju očuvanje toplote stvorene metabolizmom u uslovima hladnog vremena, odnosno njenog oslobađanja u suprotnim uslovima. Navodimo nekoliko specifičnih adaptacija koje ljudi koriste da bi održali konstantnu unutrašnju temperaturu tela:

- ✓ **Znojenje:** Znojne žlezde u koži otvaraju se da otpuste toplotu isparavanjem znoja s kože. Zatvaraju se da bi se očuvala toplota tela. Znojne žlezde se otvaraju i zatvaraju dejstvom mišića pri osnovi žlezde, duboko ispod kože. Više informacija naći ćete u poglavlju 6.
- ✓ **Cirkulacija krvi:** Krvni sudovi u blizini kože dilatiraju (šire se) da bi toplotu iz krvi otpustili kroz kožu. Kontrahuju se (sužavaju) da bi toplotu očuvali. Zbog toga vaša koža porumeni kada vam je vruće: to je boja vaše krvi vidljiva na površini kože. Pogledajte poglavlje 9.
- ✓ **Mišićne kontrakcije:** Kada znojenje i sužavanje krvnih sudova nisu dovoljni da bi se očuvala toplota u uslovima jake hladnoće, vaši mišići počeuće automatski da se grče kako bi proizveli više toplote. Ova reakcija nam je poznata kao drhtanje.
- ✓ **Izolacija:** Sisari i ptice su evolucijom stekli izolacione strukture na površini tela (krzno odnosno perje), kao i telesne regione s masnim tkivom ispod kože. Jedino su ljudi pribegli kulturalnoj adaptaciji – odevanju.

## Plivanje u H<sub>2</sub>O: ravnotežno stanje tečnosti

Vodeno okruženje je jedan od nužnih uslova za odvijanje velikog broja metaboličkih reakcija. (Ostale zahtevaju lipidno, tj. masno okruženje.) Telo sadrži veliku količinu vode: u krvi, ćelijama, prostorima između ćelija, digestivnim organima, ovde, onde, jednom rečju – svuda. Međutim, ne radi se o čistoj vodi. Voda u našem telu je rastvarač za hiljade različitih jona i molekula (rastvoraka, rastvorljivih supstanci). Kvantitet i kvalitet rastvoraka menjaju svojstva rastvora. Pošto rastvorci neprestano ulaze u rastvor



i napuštaju ga jer učestvuju u metaboličkim reakcijama ili se u njima stvaraju, a svojstva vodenog rastvora moraju ostati unutar određenog opsega kako bi hemijske reakcije mogle neprestano da se odvijaju, razvili su se mehanizmi homeostaze ravnotežnog stanja tečnosti.

- ✓ **Refleks žeđi:** Voda neprekidno cirkuliše našim telom: u njega uglavnom ulazi na usta, a izbacuje se preko različitih sistema organa, uključujući kožu, sistem organa za varenje i urinarni sistem. Ukoliko količina vode u telu padne ispod optimalnog nivoa (dehidracija), mehanizmi homeostaze uznemiravaju svesni deo vašeg mozga da bi stvorili osećaj nelagode. Osećate žeđ. Unosite vodu ili neku namirnicu bogatu vodom. Ravnotežno stanje tečnosti u vašem organizmu ponovo je uspostavljeno, pa vas refleks žeđi ostavlja na miru.
- ✓ **Promene u sastavu urina:** Bubrež je veoma složen organ, sposoban da izmeri koncentraciju mnogih rastvorljivih supstanci u krvi, uključujući natrijum, kalijum i kalcijum. Krajnje važno, bubrež može da izmeri količinu vode u telu tako što registruje pritisak krvi koja protiče kroz njega. (Što je veća količina vode, veći je i krvni pritisak.) Ako je neophodno sprovesti promene kako bi se količina i sastav krvi vratili u granice normalnog opsega, različite anatomske strukture u bubrež u urin ubacuju više ili manje vode, natrijuma, kalijuma itd. Zbog toga je boja vašeg urina ponekad bleđa a ponekad tamnija. Ova i druge funkcije urinarnog sistema razmatraju se u poglavlju 12.

## ***Prilagođavanje snabdevanja gorivom: koncentracija glukoze u krvi***

Glukoza, gorivo svih ćelijskih procesa, dostavlja se svim ćelijama rastvorena u krvi. Koncentracija glukoze u krvi mora biti dovoljno visoka kako bi se svim ćelijama obezbedila dovoljna količina goriva. Međutim, glukoza u koncentraciji koja prevazilazi neposredne potrebe ćelija može oštetiti mnoge važne organe i tkiva, pogotovo na mestima gde se nalaze sićušni krvni sudovi – na primer, u retini oka, udovima (šake i, pogotovo, stopala) i bubrežima. Dijabetes je bolest koju karakteriše hronično visoka koncentracija glukoze u krvi.

Količinu glukoze u krvi uglavnom regulišu creva (videti poglavlje 11) i hormon insulin. Insulin je hormon koji pankreas, jedna od endokrinih žlezda, izlučuje u krv u reakciji na povišenu koncentraciju glukoze. U poglavlju 6 detaljnije ćete se upoznati s hormonima i endokrinim sistemom. Najveći broj ćelija ima receptore koji vezuju insulin, što pojačava aktivnost transportera glukoze u ćelijskoj membrani. Glukoza se uklanja iz krvi i skladišti se, u najvećoj meri, u ćelijama jetre, u mišićima (gde je uskladištena kao glikogen, oblik goriva koji koriste naši mišići) i u ćelijama masnog (adipoznog) tkiva. U vreme kada creva ne oslobađaju mnogo glukoze, npr. nekoliko sati nakon obroka, ograničava se proizvodnja insulina a uskladištena glukoza se ponovo oslobađa u krv. Više informacija o insulinu i pankreasu naći ćete u poglavlju 8.

## Merenje važnih varijabli

Kako pankreas zna kada da izluči insulin i koja je količina dovoljna? Kako bubreg zna kada je nivo soli u krvi previsok, ili kada je zapremina krvi isuviše mala? Šta to poručuje znojnim žlezdama da se otvaraju i zatvaraju kako bi telo rashladile, odnosno održale njegovu toplotu. Odgovor u ovim i mnogim drugim situacijama koje se odnose na homeostazu jeste da otkrivanje pretnji homeostazi i reakcije organa kako bi se tim pretnjama oduprli, uključuje složen sistem komunikacije između delova nervnog sistema, sistema organa za cirkulaciju i endokrinog sistema organa.

Receptori (senzori) u krvnim sudovima detektuju stanje krvi: neki detektuju temperaturu, neki pritisak (zapreminu), neki koncentraciju glukoze, a mnogi drugi – razne druge varijable. Ovi receptori svoje „podatke“ šalju nervnim sistemom do mozga, gde se nalazi endokrina žlezda *hipotalamus*. Endokrini sistem stvara i luči hormone – suptilne supstance moćnog dejstva koje putuju krvotokom do tkiva i organa i „menjaju njihovo ponašanje“ kako bi navedene varijable održali unutar fiziološki optimalnog opsega vrednosti. Hipotalamus se neki put naziva „glavna žlezda“ zato što upravlja homeostazom tako što deluje na druge žlezde, naročito na *hipofizu*. Da biste saznali više, pogledajte poglavlje 8.

## Povratna sprega u fiziologiji

U biologiji i drugim naukama, *povratna sprega* je informacija koju neki sistem proizvodi o sebi ili svojim dejstvima a koja utiče na odvijanje procesa unutar tog sistema. Mehanizmi povratne sprege mogu biti *negativni* ili *pozitivni*. Ovi termini ne znače da je jedan štetan a drugi blagotvoran – oni se ne poništavaju uzajamno unutar istog sistema ili procesa. Organizmi koriste oba tipa povratne sprege da bi upravljali različitim aspektima svoje fiziologije.

*Mehanizam negativne povratne sprege* deluje tako da stvari drži unutar datog opsega. On upozorava sistem da se zaustavi, uspori, smanji svoju proizvodnju kada su postignuti optimalna količina ili optimalan opseg, odnosno da ubrza svoje funkcionisanje ili poveća proizvodnju kada neka vrednost izađe izvan optimalnog opsega. Drugim rečima, on usmerava proces tako što mu saopštava da počne da radi upravo suprotno od onoga što sada čini. Mehanizmi negativne povratne sprege održavaju ili regulišu fiziološke uslove unutar zadatog

uskog opsega. Homeostaza zavisi od ogromnog niza negativnih mehanizama povratne sprege.

*Mehanizam pozitivne povratne sprege* usmerava proces tako da nastavi ili poveća svoju proizvodnju. Pozitivna povratna sprega kaže: „Ovoliko je dobro, a više bi bilo još bolje.“ Ona ubrzava ili povećava proizvodnju stvorenu stimulansom koji je već aktiviran. Mehanizam pozitivne povratne sprege obično je kaskadni proces koji pojačava dejstvo stimulanisa i gura vrednosti varijabli izvan normalnog opsega, obično zbog specifične i privremene potrebe. Pošto se pozitivna povratna sprega može oteti kontroli (setite se vatre), evolucija je favorizovala relativno mali broj mehanizama pozitivne povratne sprege. Jedan primer je „kaskada zgrušavanja“ koja se javlja kao odgovor organizma na presecanje ili probijanje krvnog suda, inače opisana u ovom poglavlju. Drugi je lučenje oksitocina kako bi se pojačale kontrakcije materice tokom porođaja.

## Rast, zamena i obnavljanje

Koliko ste se samo promenili i još uvek se menjate! Rastući, stareći – prosto živeći – mi svakoga dana gradimo nove delove i zamenjujemo stare. Od začeca pa do rane zrelosti, naše telo je zaposleno stvaranjem nas samih: svega od samog početka.

Međutim, posao se ne završava dostizajem pune zrelosti. Gotovo svim složenim živim tkivima i organima s vremena na vreme treba zameniti delove, a mnogima i sve vreme. Ta neophodnost je jedno od suštinskih svojstava živih bića – sposobnost da se materija organizuje u strukture od kojih su same sagrađene i da se one i po potrebi zamene i obnove, što opisujemo u sledećim odeljcima.

Kao što smo rekli u odeljku „Građenje i razgrađivanje: metabolizam“, stvaranje novih ćelija i tkiva je *anabolički metabolizam*, a razgrađivanje i uklanjanje starih ćelija i tkiva je *katabolički metabolizam*.



### Rast

Život ste započeli kao jedna jedina ćelija i sebe ste iz nje sagrađili, uz izvesnu pomoć vaše majke na početku. Vaše telo se razvijalo prema zadatom obrascu, gradeći kičmu s glavom na vrhu i repom na dnu. (Nekako ste, međutim, rep izgubili.) A pogledajte se sada: 100 biliona ćelija, gotovo svaka sa sebi svojstvenom građom i funkcijom. Dobro obavljen posao! Više o procesima razvoja saznaćete u poglavlju 15.

### Zamena

Baš kao i organizam čiji su deo, mnoge vrste ćelija imaju životni ciklus: rađaju se, razvijaju, obavljaju svoju funkciju, troše se i umiru. Da bi organizam mogao da nastavi svoj životni ciklus, ove ćelije se moraju neprekidno zamenjivati – obično podelom i diferencijacijom *matičnih ćelija*. Ove relativno nediferencirane ćelije strpljivo čekaju poziv da započnu svoju deobu. Neke od ćelija-kćerki diferenciraju se u specifičan, unapred programiran tip, dok ostale ostaju matične ćelije i čekaju da budu pozvane na deobu sledeći put. Matične ćelije su veoma aktivna oblast istraživanja u fiziologiji i na polju regenerativne medicine.

Sledi opis nekih tipova ćelija i tkiva koji se neprestano moraju zamenjivati.

- ✓ **Crvena krvna zrnca:** Životni ciklus crvenog krvnog zrnca iznosi oko 120 dana. To znači da sva svoja crvena krvna zrnca zamenimo tri puta godišnje. Nova dolaze iz crvene koštane srži, a stara se zbog gvožđa prikupljaju u jetri a potom se u fecesu izbacuju iz tela. Stara, mrtva crvena krvna zrnca fecesu daju njegovu karakterističnu boju.
- ✓ **Ćelije epiderma:** Ćelije epiderma, spoljašnjeg sloja kože, neprestano otpadaju s površine i bivaju zamenjene iz dubljih slojeva. Naše telo čitav epiderm zameni otprilike svakih šest nedelja. Taj proces se razmatra u poglavlju 6.

- ✓ **Crevni epitel:** Epitelne ćelije crevne „postave“ zamenjuju se otprilike svakih nedelju dana. Kakav je to podvig, shvatićete kada pročitate šta o crevima piše u poglavlju 11.
- ✓ **Respiratorna membrana:** Vaše telo otprilike svake nedelje zameni epitelne ćelije koje oblažu zidove alveola i plućnih kapilara. Opis respiratorne membrane potražite u poglavlju 10.
- ✓ **Sperma:** Proces *spermatogeneze* (stvaranja sperme) neprekidan je, počinje u pubertetu muškarca a okončava se njegovom smrću. Kvantitet i kvalitet varira s godinama i zdravljem. Više detalja o tome naći ćete u poglavlju 14.
- ✓ **Kost:** Kao što možete pročitati u poglavlju 5, kost je živo tkivo, i to veoma i na mnogo načina aktivno. Kost nose težinu tela i odbijaju silu udara. U kostima se sve vreme stvaraju sićušne pukotine, koje se konstatno i brzo uklanjaju procesom poznatim pod imenom *remodeliranje*. Kost služe kao skladište metalnih jona, posebno kalcijuma, koji neprekidno ulaze i izlaze iz njih. U poglavlju 4 saznaćete više o kostima.

S druge strane, neki tipovi tkiva zamenjuju svoje ćelije veoma sporo:

- ✓ **Moždane ćelije:** Naučnici su decenijama smatrali da se odumrle moždane ćelije ne zamenjuju, i da se, uopšteno gledano, u moždanom tkivu tokom zrelosti nove ćelije ne stvaraju. Ipak, naučnici koji se bave istraživanjem mozga sada su dokazali da to nije tačno. Procesi nastanka novih ćelija u mozgu odrasle osobe privukli su veliku pažnju istraživača. Videti poglavlje 7.
- ✓ **Srčani mišić:** Sve doskora, fiziolozi su verovali da se srčani mišić ne može regenerisati; međutim, omedavno je to shvatanje dovedeno u pitanje. Godine 2009, švedski istraživači su objavili dokaz da se, u zdravom srcu, ćelije srčanog mišića ipak dele, ali sporo. Istraživači su procenili da dvadesetogodišnjak obnovi oko jedan procenat ćelija srčanog mišića, te da je oko 45 procenata ćelija srčanog mišića prosečnog pedesetogodišnjaka stvoreno nakon rođenja. Istraživanje objavljeno početkom ovog veka iznelo je dokaz da se ćelije srčanog mišića donekle regenerišu posle srčanog udara.

## Popravka delova

Naše telo popravlja neka tkiva kada je to neophodno – na primer, nakon povrede:

- ✓ **Skeletni mišić:** Zrele ćelije skeletnog mišića, poznate pod nazivom *vlakna*, ne dele se, niti se zamenjuju, ukoliko nisu oštećene. Pošto se jednom formiraju, vlakna skeletnih mišića, uopšteno gledano, traju koliko i naš životni vek. Čekajte, kažete da ste vežbali i da su vam sada bicepsi dvostruko veći nego prošle godine? Čestitamo, ali vi im niste dodali nijednu ćeliju. Samo su ćelije vaših bicepsa postale veće.

- ✓ **Glatki mišić:** Poput vlakana skeletnog mišića, i vlakna glatkog mišića se zamenjuju kada se mišić povredi.
- ✓ **Fibroblasti kože:** Ove ćelije se razlikuju od epidermalnih. Brzo se razmnožavaju kako bi popravile oštećenje nastalo posekotinom ili ranom i odgovorne su za stvaranje ožiljnog tkiva, što se razmatra u sledećem odeljku.
- ✓ **Ćelije jetre:** Pod normalnim okolnostima ove ćelije se dele veoma retko. Međutim, ako se veliki broj ćelija jetre ukloni – na primer, hirurškim otklanjanjem dela jetre – preostale ćelije se brzo razmnožavaju da bi nadoknatile nedostajuće tkivo. To omogućava da se deo jetre živog donora transplantira primaocu, ili da se jetra mrtvog donora podeli i tako omogućiti transplantacija dva primaoca. U takvim slučajevima, ako sve protекne u redu, oba dela će se regenerisati u potpunu i funkcionalnu jetru.

## Zarastanje rana

Kada imate malu površinsku ranu (ogrebotinu), epiderm jednostavno zameni oštećene ćelije. Za nekoliko dana ogrebotina nestaje. Međutim, kada je rana toliko duboka da su oštećeni krvni sudovi, proces zarastanja je malo složeniji. U poglavlju 9 naći ćete više informacija o krvi i krvnim sudovima.

Neposredni izliv krvi ispira prljavštinu i mikroorganizme iz rane. Potom se krvni sudovi oko rane sužavaju kako bi se krvarenje usporilo. Jedan tip krvnih ćelija, pod nazivom trombociti, lepi se za vlakna kolagena od kojih se sastoji zid krvnog suda, stvarajući prirodan flaster pod nazivom *trombocitni čep*.

Pošto se formira trombocitni čep, pokreće se složeni lanac događaja koji rezultuje stvaranjem ugruška što potpuno zaustavlja krvarenje. Taj lanac događaja zove se *kaskadni proces zgrušavanja krvi* ili *kaskadni proces koagulacije*. Enzimi pod nazivom *faktori zgrušavanja* pokreću kaskadu. Sledi rezime onoga što se događa, sa osvrtom na najvažnije korake:

- ✓ **Protrombin:** Ovaj faktor zgrušavanja pretvara se u trombin. Za ovu reakciju neophodan je kalcijum.
- ✓ **Trombin:** Deluje kao enzim i pokreće protein plazme *fibrinogen* da bi se stvorile dugačke niti pod nazivom *fibrin*.
- ✓ **Fibrinske niti:** Omotavajući se oko trombocitnog čepa, ove niti stvaraju mrežastu osnovu za ugrušak.
- ✓ **Ugrušak:** Mrežasta struktura hvata crvena krvna zrnca i stvara ugrušak. Kada se crvena krvna zrnca uhvaćena sa spoljne strane čepa osuše (tj. kada vazduh oksidiše gvožđe koje se u njima nalazi, poput rde), ona postaju smeđocrvene boje i stvara se krasta.

Ispod kraste, krvni sudovi se regenerišu i sami sebe popravljaju, a u dermisu, ćelije pod nazivom *fibroblasti* podstiču stvaranje novih ćelija da bi se regenerisala tkiva u oštećenim slojevima. Stvaraju se ožiljci da bi se obezbedila dodatna izdržljivost delovima kože na mestima gde su se nalazile duboke rane. Ožiljno tkivo sadrži mnogo isprepletanih kolagenskih vlakana, ali nema folikula dlaka, noktiju niti žlezda. U oblasti prekrivenoj ožiljnim tkivom, čulo dodira se obično gubi zato što su nervi oštećeni.

## **Trajni delovi**

Kao što smo ranije u ovom poglavlju spomenuli, gotovo svim tkivima i organima ponekad je neophodna zamena. Evo, međutim, i nekih izuzetaka:

- ✓ **Centralni nervni sistem:** U najvećem broju slučajeva, ćelije i tkiva centralnog nervnog sistema ne mogu se regenerisati. Stoga i loša prognoza u slučajevima povrede kičmene moždine.
- ✓ **Periferni nervi:** To su nervne ćelije koje prenose senzorne i motorne poruke između centralnog nervnog sistema i kože i skeletnih mišića (videti poglavlje 7). Mnogi tipovi perifernih neurona ne podležu redovnoj zameni u uslovima normalnog funkcionisanja. Stoga te ćelije spadaju u najstarije ćelije našeg tela. Nažalost, one se ne regenerišu u slučaju uništavanja usled povrede i zato su neka oštećenja nerava trajna. Pošto se te ćelije ne zamenjuju nakon što umru, njihov broj tokom života opada.
- ✓ **Jajne ćelije:** Već u trenutku rođenja, u jajnicima žene nalaze se sve jajne ćelije koje će ona tokom čitavog svog života imati. Za najveći broj žena to znači da ih je oko pola miliona više nego što će im ikada trebati. Većina jajnih ćelija odumre pre puberteta. Samo manji broj sazri i učestvuje u procesima tokom mesečnog menstrualnog ciklusa. A samo će veoma mali broj njih učestvovati i u reproduktivnim procesima opisanim u poglavlju 14.