CIRKADIJANI RITAM, TJELESNA AKTIVNOST I CRIJEVNA MIKROBIOTA

Autorica: Petra Guljaš

Cirkadijani ritam predstavlja temeljni regulator fizioloških procesa u ljudskom organizmu, usklađujući obrasce spavanja i budnosti, metabolizam, hormonsku aktivnost i imunološke funkcije u približno 24-satnom ciklusu. Ovaj endogeni sustav prilagođava organizam dnevnim i noćnim promjenama, a njegova stabilnost ključna je za održavanje metaboličke ravnoteže i općeg zdravlja. Istovremeno, u posljednjem desetljeću sve je jasnije da na cirkadijanu regulaciju snažno utječu i dva dodatna čimbenika životnog stila: tjelesna aktivnost i sastav crijevne mikrobiote. Fizička aktivnost djeluje kao važan „zeitgeber", odnosno okolišni signal koji može modulirati periferni cirkadijani sat, dok crijevni mikroorganizmi pokazuju vlastite ritmičke oscilacije koje se sinkroniziraju s organizmom domaćina.

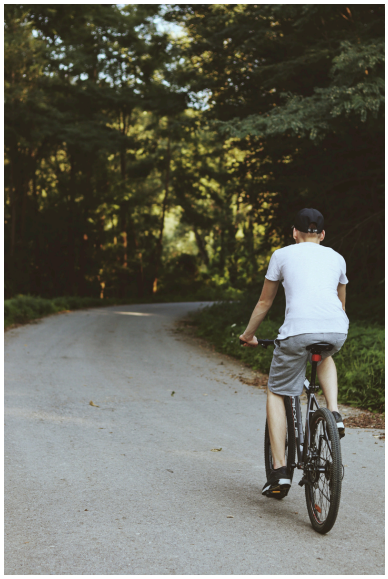
Disrupcija bilo kojeg od ovih sustava, cirkadijanog ritma, mikrobiote ili obrasca tjelesne aktivnosti, povezuje se s razvojem metaboličkih poremećaja, kardiovaskularnih bolesti, pretilosti, dijabetesa i kronične upale. Stoga, razumijevanje njihove međusobne povezanosti nudi vrijedan uvid u održavanje zdravlja i razvoj personaliziranih preventivnih strategija.

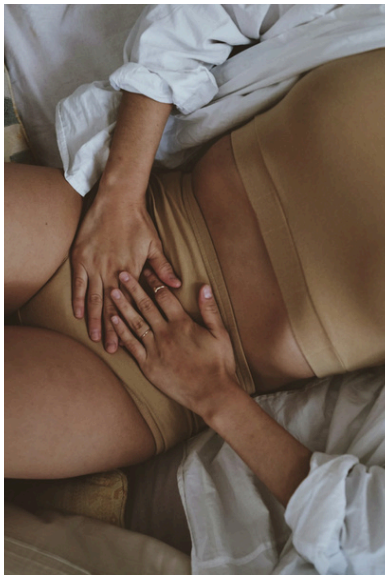
Biološka osnova cirkadijalnog ritma

Cirkadijani ritam regulira središnji „pacemaker" smješten u suprahijazmatičkim jezgrama (SCN) hipotalamusa. Ove jezgre primaju informacije o svjetlu putem retino-hipotalamičkog trakta te sinkroniziraju periferne satove u jetri, crijevu, skeletnim mišićima i masnom tkivu.

Molekularnu osnovu čine tzv. clock-geni (CLOCK, BMAL1, PER, CRY) koji stvaraju transkripcijsko-translacijske povratne petlje odgovorne za ritmičku ekspresiju brojnih metaboličkih i imunoloških funkcija. Poremećaj ritma, primjerice zbog rada u smjenama, izloženosti umjetnoj svjetlosti noću ili nepravilnog vremena hranjenja, dovodi do desinkronizacije između središnjeg i perifernih satova. Posljedice uključuju narušenu regulaciju glukoze, inzulinsku rezistenciju, pojačanu sistemsku upalu te poremećaj gastrointestinalne funkcije.







Autorica fotografija: Vanessa Lukas

Canva

Crijevna mikrobiota i njezina ritmička dinamika

Crijevna mikrobiota nije statičan ekosustav — brojne bakterijske vrste pokazuju dnevne oscilacije u sastavu i metabolizmu. Na primjer, produkcija kratkolančanih masnih kiselina (SCFA) poput butirata varira tijekom dana, ovisno o ritmu prehrane, luminalnoj aktivnosti te signalizaciji autonomnog živčanog sustava. Ove ritmičke promjene rezultat su dvosmjerne komunikacije domaćina i mikrobiote. Kada je cirkadijani ritam domaćina stabilan, mikrobiota pokazuje jasno definirane dnevne obrasce, što potiče optimalnu probavnu funkciju, imunosnu regulaciju i metabolizam (Slika 1.).

S druge strane, desinkronizacija ritma, osobito noćni rad, odgođeno spavanje i neredovito hranjenje, povezuje se sa smanjenom mikrobiološkom raznolikošću i narušenim funkcijama, što pogoduje razvoju disbioze. Studije pokazuju da takve promjene mogu povećati propusnost crijevne barijere, pojačati razinu endotoksina u krvi i doprinijeti razvoju metaboličkog sindroma.

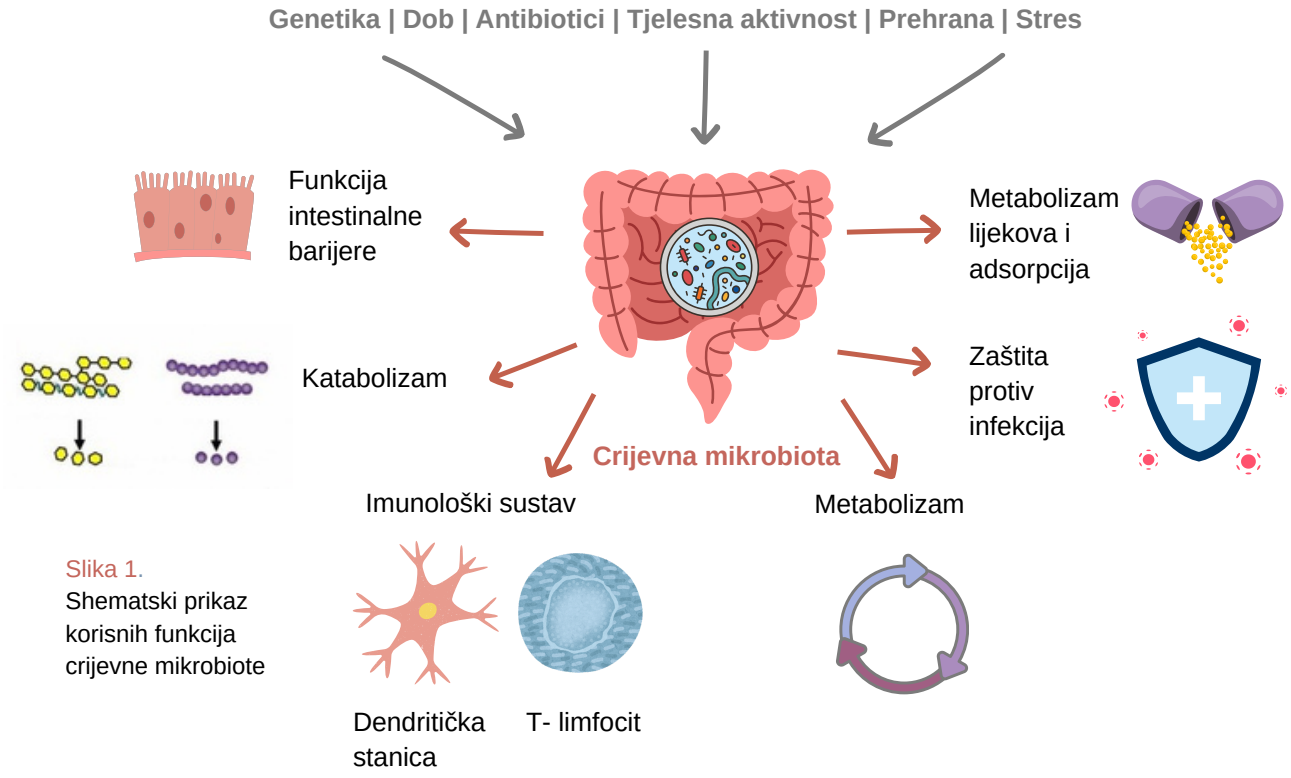
Tjelesna aktivnost kao regulator cirkadijanih i mikrobioloških procesa

Tjelesna aktivnost djeluje kao važan modulacijski čimbenik cirkadijanog sustava. Ritmička kontrakcija skeletnih mišića, promjene temperature tijela, hormonske fluktuacije (posebno kortizola i katekolamina) te povećan protok krvi djeluju na periferne satove, osobito u mišićima i jetri.

Studije pokazuju da vrijeme izvođenja tjelesne aktivnosti može značajno utjecati na metabolički odgovor:

- jutarnja aktivnost poboljšava oksidaciju masti,
- popodnevna aktivnost poboljšava glukoznu toleranciju i mišićnu snagu,
- večernja aktivnost može odgoditi fazu cirkadijalnog ritma kod osjetljivih pojedinaca.

Uz to, redovita tjelesna aktivnost dokazano modulira crijevnu mikrobiotu. Povećava udio korisnih bakterija koje proizvode SCFA, smanjuje razinu upalnih markera te poboljšava integritet crijevne barijere. Primijećeno je i da osobe koje redovito vježbaju imaju veću mikrobnu raznolikost, što se smatra jednim od pokazatelja zdravlja mikrobiote.



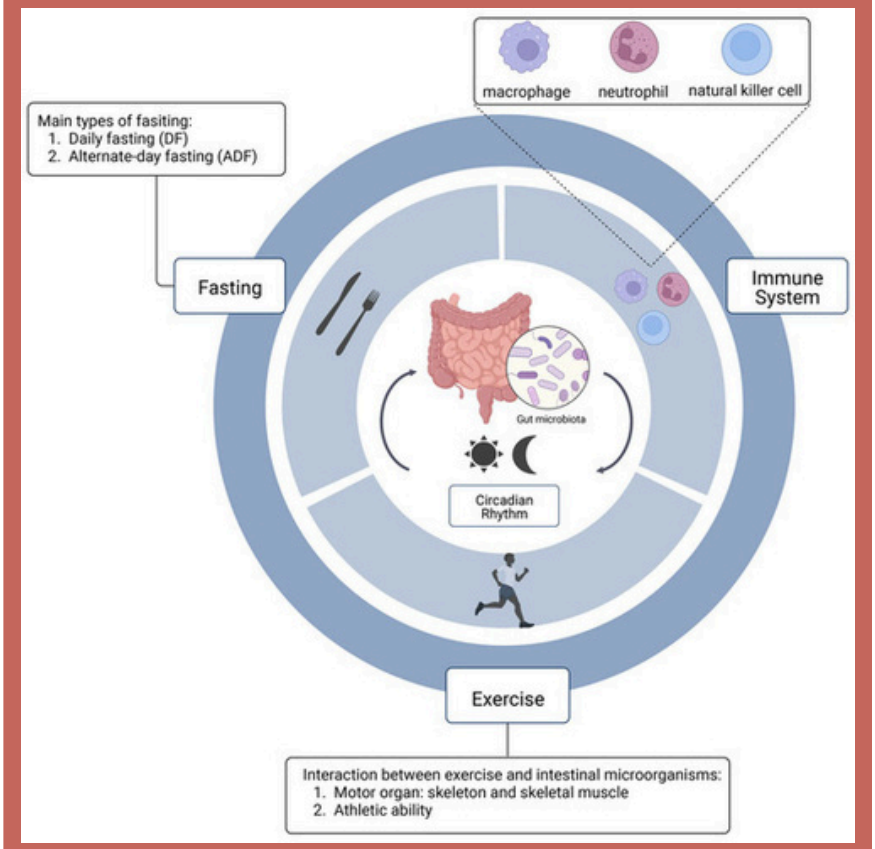
Slika 1.
Shematski prikaz korisnih funkcija crijevne mikrobiote

Povezanost cirkadijanog ritma, mikrobiote i tjelesne aktivnosti

Preklapanje ova tri sustava stvara složenu mrežu međusobnih utjecaja (Slika 2.)

1. Poremećen ritam mijenja mikrobiotu. Desinkronizacija između SCN-a i perifernih satova mijenja sastav i metabolizam mikrobiote, posebice smanjujući proizvodnju SCFA te povećavajući udio proinflamatornih bakterija.
2. Mikroorganizmi djeluju na ritam domaćina. Metaboliti mikrobiote mogu izravno regulirati ekspresiju clock-gena u crijevu i jetri. Primjerice, butirat modulira BMAL1 i PER2, poboljšavajući metaboličku fleksibilnost u perifernim tkivima.
3. Tjelesna aktivnost usklađuje oba sustava. Redovita aktivnost smanjuje negativne posljedice cirkadijane desinkronizacije i potiče obnavljanje zdrave mikrobiote. Ujedno djeluje kao zaštitni čimbenik kod osoba izloženih kroničnim ritamskim poremećajima, poput radnika u noćnim smjenama.

Stoga, odnos ova tri elementa nije linearan, već snažno interaktivan, stvarajući kompleksan sustav koji određuje fiziološku stabilnost.



Slika 2.
Interakcija između crijevne mikrobiote i cirkadijanog ritma
(Effects of Diet and Exercise on Circadian Rhythm: Role of Gut Microbiota in Immune and Metabolic Systems
Dostupno na: www.mdpi.com/2072-6643/15/12/2743)

Zdravstvene implikacije i klinička važnost

Zahvaljujući rastućem broju istraživanja, danas se zna da poremećaji ovog trostrukog sustava doprinose razvoju širokog spektra bolesti: metabolički sindrom i inzulinska rezistencija, dijabetes tipa 2, pretilost, nesanica i poremećaji spavanja, upalne bolesti crijeva i kardiovaskularne bolesti. Integracija znanja o cirkadijanom ritmu, mikrobioti i tjelesnoj aktivnosti otvara prostor za novu generaciju personaliziranih intervencija, tzv. krononutritivnih i kronofizioloških strategija. Primjerice, kombiniranje pravilnog vremena obroka, ciljane tjelesne aktivnosti i mikrobno usmjerenih intervencija (probiotici, prebiotici, psihobiotici) pokazuje obećavajuće rezultate u poboljšanju metaboličkog profila.

Zaključak

Cirkadijani ritam, tjelesna aktivnost i crijevna mikrobiota predstavljaju međusobno isprepletene sustave koji snažno određuju ljudsko zdravlje. Njihova sinkronizacija ključna je za optimalnu funkciju metabolizma, imunološkog sustava i neuroendokrine regulacije. Razumijevanje dinamike ovog trostrukog odnosa omogućava razvoj sve preciznijih strategija prevencije i liječenja, osobito u području metaboličkih bolesti i kronične upale. U budućnosti, klinička praksa mogla bi se sve više oslanjati na integrirani pristup koji uključuje praćenje cirkadijanih obrazaca, optimizaciju vremena fizičke aktivnosti i ciljane intervencije na mikrobiotu.



Autorica fotografije: Vanessa Lukas

Izvori:

1. Cai Y, Liu Y, Wu Z, Wang J, Zhang X. Effects of Diet and Exercise on Circadian Rhythm: Role of Gut Microbiota in Immune and Metabolic Systems. Nutrients. 2023;15(12):2743. MDPI
2. Zhang Y, et al. The microbiome stabilizes circadian rhythms in the gut. Proc Natl Acad Sci U S A. 2023;120(16):e2217532120. PNAS
3. Bautista J. Bidirectional interactions between circadian rhythms and gut microbiota. Appl Microbiol Biotechnol. 2025;109:13570-7. SpringerLink
4. Du D, et al. Gut microbiota, circadian rhythms and their interactions. Front Microbiol. 2025;(online ahead of print). PMC
5. Xiang L, Sun J, Su Z. Exercise as a modulator of gut microbiota for improvement of sleep quality: a narrative review. Front Neurosci. 2025; (online ahead of print). Frontiers
6. Zhang M, et al. Interactions between Gut Microbiota, Host Circadian Rhythms and Exercise. Sci Direct. 2025; (In press). ScienceDirect