

Sila pôstu: metabolické, hormonálne a psychologické účinky prerušovaného lačnenia

The power of starvation: metabolic, hormonal, and psychological effects of intermittent fasting

Emil Martinka

Diabetologické oddelenie NEDÚ n.o., Ľubochňa

✉ **doc. MUDr. Emil Martinka, PhD.** | martinka@nedu.sk | www.nedu.sk

Doručené do redakcie | Received 10. 2. 2026

Prijaté po recenzii | Accepted 22. 2. 2026

Abstrakt

Dostupné klinické dôkazy naznačujú, že prerušované lačnenie (IF – Intermittent Fasting) vrátane časovo obmedzeného jedla (time-restricted eating) môže u vybraných pacientov zlepšiť niektoré parametre metabolického zdravia (telesnú hmotnosť, glykémiu/inzulínovú senzitivitu a časť kardiometabolických rizikových markerov), pričom účinok často súvisí aj s energetickým deficitom, kvalitou stravy a cirkadiánnym načasovaním jedál. Dáta o znížení „subklinického“ zápalu sú heterogénne (zmeny niektorých biomarkerov sa pozorujú, no nie konzistentne naprieč štúdiami). IF môže navodiť fyziologický metabolický „switch“ smerom k vyššej oxidácii tukov/ketóze, avšak zachovanie svalovej hmoty nie je automatické a vyžaduje adekvátny príjem proteínu a silový tréning. Mechanistické vysvetlenie je, že IF aktivuje dráhy spojené so stresovou adaptáciou a autofágiou, no priame klinické dôkazy o tkanivovej autofágii u ľudí sú obmedzené. Údaje o neuroprotekcii, nálade a spánku sú sľubné, ale zatiaľ nejednoznačné a výrazne individuálne. IF nie je univerzálne riešenie; výber protokolu, cieľov a bezpečnostných opatrení má byť individualizovaný, so zvýšenou opatrnosťou a často aj s medicínskym dohľadom u rizikových skupín (najmä pri antidiabetickej liečbe s rizikom hypoglykémie, v gravidite, pri poruchách príjmu potravy a u krehkých pacientov s telesnou podhmotnosťou).

Kľúčové slová: autofágia – prerušované lačnenie (intermittent fasting – IF) – lačnenie – metabolické účinky – pôst

Abstract

Available clinical evidence suggests that intermittent fasting (IF), including time-restricted eating, may improve certain parameters of metabolic health in selected patients (body weight, glycemia/insulin sensitivity, and some cardiometabolic risk markers). The effect is often also related to energy deficit, diet quality, and circadian timing of meals. Data on the reduction of “subclinical” inflammation are heterogeneous (changes in some biomarkers are observed, but not consistently across studies). IF may induce a physiological “metabolic switch” toward increased fat oxidation/ketosis; however, preservation of muscle mass is not automatic and requires adequate protein intake and resistance training. Mechanistically, IF activates pathways associated with stress adaptation and autophagy, but direct clinical evidence of tissue autophagy in humans is limited. Evidence regarding neuroprotection, mood, and sleep is promising but currently inconclusive and highly individual. IF is not a universal solution; the choice of protocol, goals, and safety precautions should be individualized, with increased caution and often medical supervision in high-risk groups (especially in patients on antidiabetic therapy with risk of hypoglycemia, during pregnancy, in individuals with eating disorders, and in frail underweight patients).

Keywords: autophagy – fasting – intermittent fasting – metabolic effects – starvation

Úvod

Stravovanie sa v moderných spoločnostiach je charakteristické častým príjmom potravy počas dňa, často pre-

sahujúcim 14–16 hodín denne. Tento stravovací model u mnohých osôb (najmä pri nadbytku energie, inzulínovej rezistencii a večernom príjme) vedie ku chro-

nickému postprandiálnemu metabolickému stavu, sprevádzanému dlhodobo zvýšenou hladinou glukózy, zvýšenou sekréciou inzulínu, potlačením lipolýzy a obmedzeným využívaním vlastných tukových zásob. Chronická hyperinzulinémia je súčasťou komplexného mechanizmu, ktorý podporuje lipogénu, ektopické ukladenie tuku, rozvoj inzulínovej rezistencie, čím významne prispieva k progresii obezity, metabolického syndrómu a ním indukovaných ochorení vrátane diabetes mellitus 2. typu (DM2T) [1–3].

Intermitentné lačnenie

Intermitentné dobrovoľné (cielené) lačnenie (IF – Intermittent Fasting), resp. prerusované lačnenie/pôst, predstavuje návrat k fyziologickému striedaniu období príjmu potravy a lačnenia, ktoré bolo pre človeka evolučne prirodzené. Na rozdiel od kontinuálnej kalorickej reštrikcie IF vytvára opakované obdobia nízkeho príjmu energie a nízkej inzulínémie, čím môže aktivovať pôstom podmienené adaptačné mechanizmy ako sú zvýšená lipolýza, ketogéna a signalizácia AMPK (Adenosine Monophosphate-activated Protein Kinase) – mTOR (mechanistic Target Of Rapamycin), aj bez potreby nepretržitého každodenného kalorického obmedzenia [4,5]. Klinické metabolické benefity IF sú však často aspoň čiastočne sprostredkované celkovým energetickým deficitom a zmenou telesnej hmotnosti. Tab. 1 sumarizuje najčastejšie formy IF s dĺžkou lačnenia a časovým oknom pre príjem potravy.

Metabolické fázy lačnenia (fyziologický kontext)

Počas lačnenia metabolizmus prechádza viacerými fázami, počas ktorých sa energetický metabolizmus postupne a do veľkej miery posúva od využívania energie z glukózy prijatej v potrave k energii získavanej z mastných kyselín a ketolátok vlastných tukových zásob. Toto presmerovanie sa označuje ako metabolický „switch“, ktorý nastáva pri pôste a ku ktorému dochádza po vyčerpaní zásob glykogénu. Schopnosť organizmu prepínať medzi jednotlivými zdrojmi energie sa označuje ako metabolická flexibilita a je vlastnosťou metabolického zdravia. Ak má organizmus dobrú metabolickú flexibilitu, metabolický switch nastane ľahšie a rýchlejšie, naopak, ak je prítomná inzulínová rezistencia, resp. metabolický syndróm, prepnutie je pomalšie a menej efektívne.

Metabolický switch je sprevádzaný poklesom inzulínémie a zvýšenou oxidáciou tukov. Pri opakovanom a dlhobejšom praktizovaní IF sa metabolická flexibilita zlepšuje, telo sa „učí“ efektívnejšie využívať tuky. Môže viesť k zlepšeniu inzulínovej senzitivity, k poklesu hladín triglyceridov, viscerálneho tuku a HbA_{1c}. Aktivácia autofágie a potenciálne neuroprotektívne účinky sú mechanisticky dobre podložené, avšak u ľudí zostáva úroveň klinických dôkazov zatiaľ limitovaná. Komplexný prehľad zmien počas lačnenia sumarizuje tab. 2.

Absorpčná fáza (< 4 hodiny po jedle)

Po prijímaní potravy dochádza k vzostupu glykémie a následne k zvýšenej sekrécii inzulínu so súčasnou supresiou glukagónu. Glukóza prijatá v potrave je dominantným zdrojom energie. Zvýšená hladina inzulínu podporuje ukladenie glukózy v pečeni vo forme glykogénu, stimuluje lipogénu a inhibuje lipolýzu a oxidáciu mastných kyselín. Ide o fyziologický anabolický stav sprevádzaný prechodným poklesom inzulínovej senzitivity [6,7].

Postabsorpčná fáza (6–12 hodín po jedle)

Glykémia a inzulínemia postupne klesajú. Dominantným zdrojom glukózy je pečenná glykogenolýza. S poklesom zásob glykogénu mierne stúpa glukagón a postupne sa zvyšuje podiel glukoneogenézy na produkcii glukózy. Lipolýza a betaoxidácia mastných kyselín sa začínajú zvyšovať, ketogéna je však ešte minimálna [8,9].

Skorý pôst (12–24 hodín)

Pečeňový glykogén sa postupne vyčerpáva. Glukoneogenéza sa podieľa na produkcii glukózy približne 40–60 %. Významnú úlohu zohráva aj glukoneogenéza v obličkách, ktoré sa v tomto štádiu môžu na celkovej produkcii glukózy podieľať až 20–40 % v závislosti od individuálnych faktorov [10,11]. Zvyšuje sa lipolýza, betaoxidácia a produkcia ketolátok. Nezávisle od redukcie telesnej hmotnosti sa pozoruje aj skoré zlepšenie inzulínovej senzitivity, jeho rozsah je však individuálny [4,12].

Stredne dlhý pôst (24–72 hodín)

Pečeňový glykogén je prakticky vyčerpaný a hlavný zdroj endogénnej produkcie glukózy tvorí glukoneoge-

Tab. 1 | Najčastejšie formy prerusovaného lačnenia (IF)

| forma IF | charakteristika | poznámka |
|---|--|---|
| 16 : 8 | 16 hodín pôst, 8 hodín časové okno pre príjem potravy | najlepšia udržateľnosť |
| 18 : 6 | dlhší náročnejší pôst: 18 hodín pôst, 6 hodín časové okno pre príjem potravy | potenciálne väčší metabolický efekt, väčší posun ku ketogéneze, avšak vyššia náročnosť; klinický benefit závisí od tolerancie |
| warrior diet (stravovanie válečníka) 20 : 4 | dlhší a náročnejší pôst | potenciálne väčší metabolický efekt, väčší posun ku ketogéneze, avšak vyššia náročnosť; klinický benefit závisí od tolerancie |
| 5 : 2 | 2 dni výrazná reštrikcia príjmu potravy | u niektorých ľudí riziko prejedania |
| ADF | striedanie dní pôstu a príjmu potravy | nevhodné pri DM2T na inzulíne |

ADF – Alternate Day Fasting/striedanie dní pôstu a príjmu potravy DM2T – diabetes mellitus 2. typu IF – Intermittent Fasting/prerusované lačnenie

néza (približne 80 %). Významne narastá betaoxidácia mastných kyselín a ketogenéza. Mozog začína postupne zvyšovať využívanie ketolátok (približne 30–40 % energetických potrieb po 48 hod). Aktivuje sa AMPK, inhibuje sa mTOR a experimentálne dáta naznačujú zvýšenie autofágie, presná dynamika u ľudí však nie je úplne kvantifikovaná. Stúpa hodnota fibroblastového rastového faktora 21 (FGF21 – Fibroblast Growth Factor 21) – hormonálneho signálu adaptácie na hladovanie [13,14]. FGF21 je proteín produkovaný hlavne v pečeni, ktorý reguluje metabolizmus glukózy a tukov, zvyšuje citlivosť na inzulín, podporuje spaľovanie tukov a hrá úlohu pri hladovaní a energetickom strese.

Dlhý pôst (> 3 dni lačnenia)

Ketolátky sa stávajú významným zdrojom energie pre mozog (po 4–7 dňoch až 60–70 %). Hladina inzulínu zostáva nízka, hladina glukagónu relatívne zvýšená. Dochádza k čiastočnému „protein sparing“ efektu sprostredkovanému zvýšením rastového hormónu a adaptáciou CNS na ketolátky. Bazálny metabolizmus sa môže postupne znižovať. Glukoneogenéza pretrváva najmä pre erytrocyty a tkanivá závislé od glukózy.

Prolongovaný pôst (> 5 dní lačnenia)

Metabolizmus je adaptovaný na vysoký podiel oxidácie mastných kyselín a ketolátok. Strata svalových bielkovín je relatívne redukovaná v porovnaní s prvými dňami pôstu, nie však eliminovaná. Úroveň autofágie u ľudí nie je možné presne kvantifikovať, no dostupné dáta poukazujú jej zvýšenie.

Metabolický „switch“ a jeho význam

Metabolický „switch“ predstavuje postupný prechod od dominantného využívania glukózy k zvýšenej oxidácii mastných kyselín a produkcii ketolátok, ku ktorému dochádza približne po 12–18 hodinách lačnenia (individuálne variabilne). Tento proces je primárne sprostredkovaný poklesom inzulínie pri relatívne stabilnej glykémii a vzostupom glukagónu, čo vedie k aktivácii lipolýzy a ketogenézy.

Samotný metabolický switch predstavuje fyziologickú adaptáciu na nedostatok príjmu energie. Opakované dosahovanie tohto stavu v rámci IF môže (najmä pri súčasnom energetickom deficite) prispieť k zlepšeniu metabolickej flexibility, inzulínovej senzitivity a k redukcii viscerálneho a hepatálneho tuku. Redukcia teles-

Tab. 2 | Metabolické fázy počas lačnenia

| fáza | čas od posledného jedla | dominantný zdroj energie | hlavné hormonálne zmeny | klinický význam |
|-------------------|-------------------------|---|---|---|
| absorpčná | 0–4 hod | exogénna glukóza | ↑ inzulín ↓ glukagón | anabolický stav (lipogenéza, glykogenéza) |
| postabsorpčná | 6–12 hod | pečeňový glykogén (GGL) | ↓ inzulín ↑ glukagón (↑) kortizol (mierne) | glykogenolýza (GGL) začína stúpať lipolýza a glukoneogenéza (GNG) |
| skorý pôst | 12–24 hod | MK, endogénna glukóza (GNG, GGL) | ↓↓ inzulín ↑↑ glukagón ↑ kortizol (podieľa sa na udržiavaní GNG) ↑ STH | glukoneogenéza (GNG) glykogenolýza (GGL) lipolýza začiatok ketogenézy metabolický „switch“ ¹ |
| stredne dlhý pôst | 1–3 dni | ketolátky ↑↑ (mozog už využíva približne 30–50 % energie z ketolátok) | ↓↓↓ inzulín ↑↑↑ glukagón ↑ FGF21 ↑/↔ kortizol ↑↑ STH | ketogenéza výrazne stúpa postupne sa rozvíja „protein sparing effect“ a útlm proteolýzy ² autofágia ³ |
| dlhý pôst | > 3 dni | ketolátky ↑↑↑ mozog – 60–70% energie poskytvajú ketolátky úsporný energetický výdaj | ↓↓↓ inzulín ↑↑↑ glukagón ↑↑ STH ⁴ ↓T3 (úsporný mechanizmus, adaptácia šetrenia energie) | stabilná ketóza „protein sparing effect“ a útlm proteolýzy ² ↓bazálny metabolizmus autofágia ³ |
| prolongovaný pôst | > 5 dní | ketolátky↑↑↑ | ↓↓↓ inzulín ↑↑↑ glukagón ↑↑ STH ⁴ | hlboká adaptácia na hlad autofágia ³ ↑ riziko elektrolytových zmien (najmä Na, K) |

Pozn: Časové hranice a prechody medzi fázami sú individuálne, závislé od zásob glykogénu, ovplyvnené tréningom a inzulínovou senzitivitou. FGF21 – Fibroblast Growth Factor 21/fibroblastový rastový faktor 21 GGL – GlycoGenoLysis/glykogenolýza GNG – GlycoNeoGenesis/glukoneogenéza MK – mastné kyseliny STH – SomatoTropin Hormon/rastový hormón

¹metabolický „switch“ – po vyčerpaní zásob glykogénu (typicky 18–24 hod, individuálne)

²prvých 24–48 hod je proteolýza ešte zvýšená

³autofágia začína už skôr (12–24 hod), ale výraznejšia je po 24–36 hod. Nemusí stúpať lineárne, u ľudí nemáme presné kvantitatívne dáta

⁴hladina rastového hormónu je zvýšená, ale jeho efekt je tlmený nízkym IGF1, po 7–10 dňoch sa protein sparing znižuje a opäť narastá proteolýza

nej hmotnosti však nie je inherentným cieľom metabolického switchu, ale potenciálnym dôsledkom celkového energetického deficitu.

Jedným z hlavných mechanistických cieľov IF je **periodické dosahovanie metabolického switchu a zlepšenie metabolickej flexibility**. Redukcia telesnej hmotnosti môže byť sekundárnym dôsledkom.

Reakcia kľúčových orgánov na lačnenie

Mozog postupne prechádza z využívania glukózy na ketolátky. Po 12–24 hodinách pôstu začína ketogenéza v dôsledku vyčerpanie pečeňového glykogénu po cca 12–18 hodinách lačnenia, nízkej hladiny inzulínu a vysokej hladiny glukagónu. Vzniká nadbytok acetyl-CoA z betaoxidácie MK, ktorého vstup do Krebsovho cyklu je limitovaný nedostatkom oxaloacetátu presmerovaného na glukoneogénu. Po 24–48 hodinách je ketogenéza už funkčne významná a po približne 2–3 dňoch ketolátky pokrývajú 30–40 % energetických potrieb mozgu, klesá potreba glukoneogenézy z bielkovín, šetria sa aminokyseliny. Pri dlhšom pôste (> 3–5 dní) sa ketolátky stávajú dominantným zdrojom energie (60–70 %) pre mozog [8,20]. Spotreba glukózy je výrazne redukovaná a šetrí sa hlavne pre erytrocyty a dreň obličiek.

Srdce po nočnom lačnení a poklese inzulínémie preferenčne zvyšuje využívanie ketolátok, pričom masné kyseliny zostávajú trvalo významným zdrojom energie [21,22].

Kôra obličky ako hlavný zdroj energie využíva masné kyseliny – oxiduje ich betaoxidáciou. Významne sa podieľa na glukoneogéneze, a to najmä počas hladovania. Hlavnými substrátmi renálnej glukoneogenézy sú laktát a glutamín. Po približne 48–72 hodinách pôstu môže z obličiek pochádzať až 20–25 % endogénnej produkcie glukózy [10,11]. Dreň obličky, ktorá je relatívne hypoxická, využíva predovšetkým glukózu prostredníctvom anaeróbnej glykolýzy [23].

Pečeň počas skorého pôstu uvoľňuje glukózu mechanizmom glykogenolýzy a s úbytkom glykogénu zapája glukoneogénu. Pri dlhšom pôste dochádza k oxidácii masných kyselín a tvorbe ketolátok, ktoré zásobujú najmä mozog a srdce [8,20,23]. Pečeň samotná ketolátky nevyužíva, ale exportuje ich ako alternatívny energetický substrát.

Hlavné metabolické účinky IF

Metabolické účinky IF možno rozdeliť do niekoľkých vzájomne prepojených oblastí.

Vplyv na energetický metabolizmus

Po približne 8–12 hodinách lačnenia dochádza k postupnému poklesu zásob pečeňového glykogénu. Aktivuje sa lipolýza v tukovom tkanive a betaoxidácia masných kyselín (MK) v pečeni, pričom rastie produkcia ketolátok (beta-hydroxybutyrát, acetoacetát). Organizmus prechádza do tzv. metabolic switch, teda z prevažne glukózového metabolizmu na tukovo-ketónový metabolizmus [4,8]. Čas prechodu závisí od zásob gly-

kogénu, inzulínovej senzitivity a zloženia predchádzajúcej stravy.

Homeostáza glukózy a inzulínová senzitivita

Pri IF dochádza k poklesu glykémie nalačno, zníženiu postprandiálnej glykemickkej variability a k redukcii HbA_{1c} približne o 0,25–0,91 %, najmä u osôb s inzulínovou rezistenciou alebo prediabetom [24,25]. Súčasne klesá bazálna hladina inzulínu a zvyšuje sa citlivosť periférnych tkanív na inzulín [5]. V niektorých štúdiách, najmä pri „early time-restricted feeding (eTRF)“, sa pozoruje zlepšenie inzulínovej senzitivity aj pri minimálnej zmene telesnej hmotnosti, čo naznačuje, že časovanie príjmu potravy môže mať metabolické účinky čiastočne nezávislé od redukcie hmotnosti.

Metabolizmus lipidov

IF vedie k poklesu plazmatických triglyceridov a k miernemu zlepšeniu lipidového profilu, charakterizovanému miernym poklesom LDL-cholesterolu a miernym vzostupom HDL-cholesterolu [17,26].

Hmotnosť a telesná kompozícia

Ak je IF sprevádzaný negatívnou energetickou bilanciou, dochádza k redukcii telesnej hmotnosti približne o 2–8 %, vrátane viscerálneho tuku, čo sa prejavuje zmenšením obvodu pásu o 2–5 cm [27]. Zachovanie svalovej hmoty pri IF je možné pri adekvátnom prijímaní proteínov a silovom tréningu; dáta o nadradenosti IF oproti kontinuálnej reštrikcii sú však nejednoznačné [28].

Hepatálny tuk

V pečeni počas prerušovaného hladovania dochádza k potlačeniu de novo lipogenézy (DNL) a k zvýšeniu betaoxidácie masných kyselín, najmä v dôsledku poklesu inzulínémie a nižšej dostupnosti sacharidov [8]. Obsah tuku v pečeni klesá už pri miernej redukcii telesnej hmotnosti, avšak zlepšenie steatózy sa pozoruje aj bez výraznej zmeny telesnej hmotnosti. Hoci je efekt závislý najmä od miery kalorického deficitu, tento nie je striktnou podmienkou [18]. Pri IF, resp. TRF (Time-Restricted Feeding) dochádza k redukcii hepatálneho tuku aj bez kalorického deficitu – cez pokles inzulínu/redukcii sacharidov, zlepšenie citlivosti na inzulín, potlačenie de novo lipogenézy a zvýšenie oxidácie tukov [78–80].

V niektorých štúdiách sa pozorovala redukcia hepatálneho tuku aj bez výrazného kalorického deficitu, avšak veľkosť efektu je variabilná a závisí od celkového energetického príjmu.

Protizápalové a antioxidačné účinky. IF podľa niektorých štúdií a metaanalýz vedie k miernemu poklesu markerov chronického subklinického zápalu (CRP, IL6, TNF α , IL8), výraznejšiemu pri súčasnom úbytku tukovej hmoty. Podľa iných štúdií sa súčasne znižuje oxidačný stres a zlepšuje mitochondriálna funkcia [19,29]. U ľudí sú výsledky heterogénne, efekt je často sprostredko-

vaný úbytkom tuku. IF môže zlepšiť niektoré markery oxidačného stresu; pri markeroch zápalu sú výsledky heterogénne. Dôkazy o mitochondriálnej funkcii u ľudí sú limitované.

Kardiovaskulárne účinky

Pozoruje sa zníženie systolického krvného tlaku približne o 5–10 mm Hg, zlepšenie variability srdcovej frekvencie a priaznivý vplyv na endotelovú funkciu a vaskulárnu reaktivitu [30,31]. Pokles tlaku krvi (TK) je plauzibilný, ale veľkosť efektu závisí od základného TK, redukcie hmotnosti, príjmu sodíka, alkoholu, spánku. U normotenzných jednotlivcov je efekt minimálny. Vplyv na endotel je posudzovaný na základe menších a kratších štúdií.

Účinok na hormóny a reguláciu apetítu

Pri tzv. early time-restricted feeding (eTRF) je ranná hladina kortizolu a amplitúda jeho cirkadiálneho rytmu mierne zvýšená, čo sa interpretuje ako lepšie zosúladenie periférnych biologických hodín s centrálnym cirkadiálnym rytmom. V niektorých štúdiách bez známk maladaptácie je klinický význam neistý [32]. Pri IF 16 : 8 sa neočakávajú klinicky významné trvalé zmeny katecholamínov; humánne dôkazy sú však limitované [16]. Počas pôstu narastá pulzilita sekrécie rastového hormónu (STH), najmä pri hladovaní dlhšom ako 24–48 hodín; pri dennom IF je efekt menší. Hladiny IGF1 klesajú výraznejšie až pri dlhšom hladovaní [15]. Leptín klesá už počas prvých týždňov IF a paralelne s redukcii tukovej hmoty [33]. Údaje o adiponektíne sú heterogénne; mierny vzostup sa pozoruje najmä pri dlhšom trvaní IF [34]. Pri eTRF dochádza k rannému poklesu grelínu a vzostupu PYY, čo by mohlo korelovať s lepšou reguláciou apetítu [35]. Údaje o GLP1-RA sú u ľudí však zatiaľ limitované a efekt IF je slabší než pri liečbe GLP1-RA [36].

Autofágia a prerušované lačnenie

Autofágia ako centrálny adaptačný mechanizmus pôstu

Autofágia predstavuje kľúčový mechanizmus bunkovej adaptácie na nedostatok živín a konzervovaný proces bunkovej recyklácie sprostredkovaný lyzosómami, ktorého úlohou je odstránenie poškodených organel a proteínov a udržiavanie bunkovej homeostázy. Považuje sa tiež za centrálnu regulačnú platformu prepájajúcu signálne dráhy mTOR, AMPK, sirtuínov, p53 a inflammasómu

[37–39]. Je regulovaná predovšetkým prostredníctvom inhibície mTOR a aktivácie AMPK signálnej dráhy [37–39].

Autofágia pôsobí ako integračný uzol medzi metabolizmom, imunitnou odpoveďou, oxidačným stresom a bunkovým starnutím, čím vysvetľuje široké spektrum systémových účinkov IF. Väčšina klinických efektov je zatiaľ podložená iba experimentálne.

Presná časová dynamika autofágie u ľudí a jej význam nie je jednoznačne stanovená a veľa vychádza z extrapolácie. V posledných rokoch však pribúdajú aj štúdie u ľudí, ktoré naznačujú zmeny markerov autofágie (ULK1, LC3-II, p62, Beclin1, LAMP1, LAMP2, SQSTM1 a ďalšie) už po 12–24 hodinách lačnenia, pričom významnejší efekt by sa mohol prejavovať pri opakovanom alebo dlhšom pôste, avšak klinický význam týchto zmien zostáva nejasný, [11,12,37,38]. Porucha autofágie sa v experimente spája s akumuláciou poškodených proteínov, inzulínovou rezistenciou, neurodegeneráciou, imunopatológiou a metabolicky indukovaným chronickým subklinickým zápalom (tzv. metaflammation). Autofágia tlmi aktiváciu inflammasómu a produkciu IL1 β a je považovaná za jeden z mechanizmov ovplyvňujúcich bunkové starnutie [40]. Autofágia je úzko prepojená s adipozitou; jej dysfunkcia vedie k poruche funkcie adipocytov a inzulínovej rezistencii. Mikrobiota moduluje autofágiu prostredníctvom krátkoreťazcových mastných kyselín (SCFA – Short Chain Fatty Acid), ktoré ovplyvňujú črevnú bariéru a subklinický zápal [41].

Časovanie a význam autofágie

Pri procese autofágie zohráva kľúčovú úlohu stav aktivácie mTOR (mechanistic Target Of Rapamycin). mTOR je hlavný bunkový senzor živín a rastových signálov, ktorý rozhoduje, či bunka bude rásť, alebo recyklovať. Aktivuje sa pri dostatku glukózy a zvýšenej hladine inzulínu a pokiaľ sú k dispozícii aminokyseliny (hlavne leucín). Aktívny mTOR blokuje autofágiu, a naopak pokles mTOR autofágiu štartuje. AMPK (AMPK – Adenosine Monophosphate-activated Protein Kinase), je senzor energetického stresu bunky. Aktivuje sa, keď klesá ATP, narastá AMP, bunka má energetický deficit. Efekt aktívnej AMPK zvyšuje oxidáciu tukov, znižuje syntézu lipidov a proteínov, aktivuje autofágiu – priamo aktivuje ULK1, inhibuje mTOR. V stave nasýtenia je mTOR zvýšený a AMPK znížená, autofágia je vypnutá, a naopak v stave hladovania je mTOR znížený a AMPK zvýšená a autofágia je zapnutá. Autofágia je teda adaptívny mechanizmus prežitia, nie systémový „detox“ organizmu.

Tab. 3 | Autofágia – mechanizmy a klinické implikácie

| proces | spúšťač | funkčný význam | potenciálny klinický efekt |
|--|--------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| inhibícia mTOR | nedostatok živín | aktivácia autofágie | metabolická flexibilita |
| mitofágia (potenciálne) | oxidačný stres | odstránenie poškodených mitochondrií | neuroprotektia |
| selektívna autofágia proteínov (potenciálne) | poškodené proteíny | bunková homeostáza | anti-aging |
| lipofágia | nadbytok lipidov | redukcia ektopického tuku | zlepšenie NAFLD |

NAFLD – NonAlcoholic Fatty Liver Disease/nealkoholová steatóza pečene

Tieto zmeny sa výraznejšie objavajú, až keď sa vyčerpá pečeňový glykogén (približne 12–24 hod) a začne ketogenéza (približne 18–30 hod). Priame dôkazy o časovaní autofágie u ľudí sú obmedzené a dostupné údaje naznačujú zvýšenie markerov po 24–36 hod pôstu.

Krátkodobý pôst (16–24 hod): naznačený nárast markerov autofágie (ULK1, LC3 konverzia, LC3-II, p62) v pečeni a kostrovom svalu (> 12–16 hod – experiment, aj malé humánne štúdie), podpora lipolýzy a ketogenézy [37].

Stredne dlhý pôst (2–3 dni): na základe experimentálnych modelov výraznejšia aktivácia autofágie aj v mozgu a srdci; zvýšená sekrécia rastového hormónu (STH – SomatoTropin Hormon) chráni svalovú hmotu [15,38].

Dlhší pôst (≥ 3–5 dní): experimentálne údaje naznačujú apoptózu poškodených imunitných buniek a aktiváciu hematopoetických kmeňových buniek; humánne dôkazy sú však zatiaľ obmedzené [42].

Biologický význam autofágie pri prerusovanom lačnení

Autofágia znižuje oxidačný stres a zápal, zlepšuje inzulínovú senzitivitu a podporuje bunkové prežitie. Najpresvedčivejšie sú dôkazy o metabolických benefitoch IF (redukcia hmotnosti, zlepšenie inzulínovej senzitivity, pokles krvného tlaku) [8,19], zatiaľ čo priamy podiel autofágie na týchto účinkoch zostáva predmetom výskumu. Ďalej sa uplatňuje neuroprotektia, kardiovaskulárna ochrana a potenciálne antiaging účinky [38,40].

Prerusované lačnenie a črevná mikrobiota

Intermitentné lačnenie (IF) ovplyvňuje aj zloženie a funkciu črevnej mikrobioty. Niektoré štúdie naznačujú, že IF zvyšuje diverzitu črevných baktérií, ktorá je považovaná za marker zdravej mikrobioty [43,44]. Dochádza k nárastu priaznivých bakteriálnych taxónov, najmä *Akkermansia muciniphila*, *Lactobacillus* a *Bifidobacterium* [45–47]. Naopak, IF môže viesť k redukcii prozápalových baktérií, ako sú *Desulfovibrio* a zástupcovia čelade *Enterobacteriaceae*, ktoré sa spájajú s endotoxémiou a metabolickým zápalom [50]. Tieto prejavy boli pozorované v niektorých štúdiách, nie sú však konzistentné a sú závislé od zloženia stravy (vláknina, polyfenoly, lieky). Kausalita je neistá.

Akkermansia muciniphila sa spája so zlepšením integrity črevnej bariéry, znížením endotoxémie a zlepšením inzulínovej senzitivity [45]. Rody *Lactobacillus* a *Bifidobacterium* produkujú krátkoreťazcové mastné kyseliny (SCFA – acetát, propionát, butyrát), ktoré sú kľúčové pre výživu kolonocytov, udržiavanie integrity črevnej bariéry, moduláciu imunitnej odpovede a tlmenie nízko-stupňového zápalu (leaky gut) [46,48].

Zvýšené zastúpenie rodu *Prevotella* sa spája s efektívnejším metabolizmom polysacharidov a vlákniny [49].

Účinky prerusovaného lačnenia na psychiku a kognitívne funkcie

Kognitívne funkcie: Experimentálne štúdie na zvieratách a limitované humánne údaje naznačujú, že IF môže zlepšovať pamäť, učenie a pozornosť [51,52]. Zvy-

Tab. 4 | Porovnanie jednotlivých foriem prerusovaného lačnenia

| režim IF | typické časové okno pre príjem potravy | mechanistické výhody | klinické účinky (dôkazy) | adherencia | riziká/nevýhody | vhodnosť pre pacientov |
|---------------|--|---|--|--------------|---|--------------------------------------|
| eTRF | napr. 07:00–15:00 | synchronizácia s cirkadiánnym rytmom, ↓ inzulín večer | zlepšenie inzulínovej senzitivity, TK, glykémie (stredná úroveň dôkazov) | nižšia | sociálne obmedzujúce | MetS, IR, DM2T (motivovaní pacienti) |
| ITRF | napr. 12:00–20:00 | jednoduchšia implementácia (sociálne praktickejšie) | mierne zlepšenie metabolických markerov (stredná) | vyššia | neskorý príjem kalórií | začiatocníci, pracujúci pacienti |
| 16 : 8 | 16 hod pôst/8 hod jedlo | stabilný „metabolic switch“ | redukcia hmotnosti, TG, inzulínu (stredná–vysoká) | vysoká | prejedanie v okne | MetS, obezita |
| 14 : 10 | mierny režim | nižší stresový stimul | mierne metabolické zlepšenie (stredná) | veľmi vysoká | slabší efekt | „frailty“, starší pacienti |
| 18 : 6 | pokročilý režim | výraznejší ketogénny efekt | potenciálne väčší úbytok tuky (limitované) | nízka | hypoglykémia u rizikových pacientov s diabetes mellitus | skúsení pacienti |
| ADF | striedanie dní | výrazná metabolická stimulácia | výrazné chudnutie (stredná) | nízka | hypoglykémia, nízka udržateľnosť | selektované prípady pod dohľadom |
| > 24 hod pôst | dlhý pôst | silná aktivácia AMPK/autofágie | experimentálne benefity | veľmi nízka | dehydratácia, elektrolyty | len medicínsky dohľad |

Pozn.: Klinické účinky sú vo veľkej miere sprostredkované redukciou hmotnosti a energetickým deficitom, individuálna odpoveď je variabilná (genetika, mikrobiota, chronotyp).

ADF – Alternate-Day Fasting/striedavý pôst **DM2T** – diabetes mellitus 2. typu **eTRF** – early Time-Restricted Feeding/večerný pôst **IR** – inzulínová rezistencia **ITRF** – late Time-Restricted Feeding/ranný pôst **MetS** – metabolický syndróm **RCT** – Randomized Controlled Trial/randomizovaná kontrolovaná štúdia **TG** – triglyceridy

šená produkcia ketolátok, najmä betahydroxybutyrátu, poskytuje mozgu alternatívny, metabolicky stabilný a oxidatívne menej náročný substrát, čo môže prispievať k zvýšenej mentálnej bdlosti [53].

Neuroplasticita a neuroprotektia: V experimentálnych modeloch IF stimuluje expresiu a uvoľňovanie mozgového neurotrofického faktora (BDNF – Brain-Derived Neurotrophic Factor), ktorý podporuje neurogenézu, synaptickú plasticitu a prežitie neurónov. Tento mechanizmus je spájaný s neuroprotektiou a potenciálnou ochranou pred neurodegeneratívnymi ochoreniami, ako sú Alzheimerova a Parkinsonova choroba, pričom dôkazy u ľudí sú zatiaľ prevažne nepriame [51,54].

Nálada a emočná stabilita: Niektoré klinické pozorovania a menšie štúdie poukazujú na zlepšenie nálady a zníženie symptómov úzkosti a depresie počas IF. Pravdepodobne ide o kombináciu hormonálnych zmien (pokles inzulínu, zvýšenie adiponektínu, stabilizácia cirkadiálneho rytmu kortizolu) a zníženia systémového zápalu [55,56].

Odolnosť voči stresu a autonómna regulácia: IF aktivuje miernu metabolickú stresovú odpoveď (hormesis), ktorá zvyšuje odolnosť mozgu voči oxidačnému a metabolickému stresu [51,57]. Zlepšuje sa regulácia autonómneho nervového systému a variabilita srdcovej frekvencie, čo môže prispievať k lepšiemu zvládaniu psychickej záťaže [58].

Spánok a cirkadiánne rytmy: Časovo obmedzené stravovanie (time-restricted eating) môže priaznivo ovplyvniť cirkadiánne rytmy. Zlepšenie kvality spánku sa pozoruje najmä pri skoršom „feeding window“ (napr. 8:00–16:00), ktoré lepšie zosúladzuje príjem potravy s endogénnym cirkadiánnym rytmom [18,59].

Potenciálne negatívne aspekty prerušovaného lačnenia

U niektorých jedincov môže IF, najmä v adaptačnej fáze, viesť k podráždenosti, zhoršeniu nálady alebo problémom s koncentráciou. Pri nesprávnej aplikácii (extrémne dlhé hladovanie, prejedanie sa počas „feeding window“) môže IF prispievať k rozvoju alebo exacerbácii porúch príjmu potravy, čo si vyžaduje individuálny prístup a opatrnosť [60,61].

Historický a náboženský význam dobrovoľného cieleného lačnenia (pôstu)

Pôst má hlboké historické a náboženské korene naprieč civilizáciami. V Mezopotámii a starovekom Egypte bol súčasťou očistných rituálov pred náboženskými obradmi. V antickom Grécku a Ríme ho niektorí filozofi (napr. Pytagoras) odporúčali ako prostriedok sebakontroly a duševnej disciplíny; niektorí starovekí lekári považovali obmedzenie jedla za liečebný nástroj [62].

V judaizme má pôst význam pokánia a duchovnej očisty, najmä počas jom kipur – Dňa zmierenia (Lv 16 a Lv 23,27–32). Pôst je spojený s pokáním, zmierením a pokorou pred Bohom. V kresťanstve sa pôst etablo-

val ako príprava na veľké sviatky (napr. 40-dňový pôst pred Veľkou nocou, ktorý začína Popolcovou stredou) a je chápaný ako prostriedok pokory, pokánia, duchovnej obnovy, obrátenia srdca a posilnenia viery, vzťahu k Bohu a pripodobnenie sa Kristovi a hlbšie duchovné prežívanie tajomstva jeho obety. Biblické texty opisujú pôst tiež ako prostriedok duchovnej prípravy pred veľkou úlohou, ako bol pôst Ježiša Krista pred začiatkom verejného účinkovania (Mt 4,1–2, Hebr 10,10–14). V islame je pôst počas mesiaca Ramadanu jedným z piatich pilierov viery a spája sa s duchovnou očistou a posilnením sebakontroly. V hinduizme a budhizme je pôst súčasťou duchovného tréningu, meditácie a odpútania sa od materiálneho sveta [63].

Možné klinické využitie prerušovaného lačnenia

Obezita a metabolický syndróm (MetS): IF môže viesť k redukcii telesnej hmotnosti, viscerálneho a hepatálneho tuku a k zlepšeniu inzulínovej senzitivity, krvného

Schéma | Praktický minialgoritmus pôstu



* Po dlhšom hladovaní je črevná motilita a produkcia enzýmov znížená a existuje teoretické riziko refeeding syndrómu – vyššie pri malnutriícii, alkoholizme, frailty, onko, anorexií; po 24 hod skôr gastrointestinálny diskomfort než refeeding syndróm [77]. Nevhodné sú veľké porcie, masťné jedlá, alkohol, rafinované sacharidy a ultraspracované potraviny.

CGM – Continuous Glucose Monitoring/kontinuálne monitorovanie glukózy GI – glykemický index SGLT2i – Sodium-GLucose coTransporter 2 inhibitors/sodíkglukózový transportér 2 SMBG – SelfMonitoring Blood Glucose/samokontrola hladiny glukózy v krvi TK – tlak krvi

tlaku a lipidového profilu. Účinnosť IF je porovnateľná s kontinuálnou kalorickou restrikciou [1–3].

Diabetes mellitus 2. typu (DM2T): IF môže zlepšiť glykemickú kontrolu a znížiť inzulínovú rezistenciu, avšak vyžaduje zvýšenú opatrnosť pri súbežnej farmakoterapii, najmä pri inzulíne a derivátoch sulfonylurey z dôvodu rizika hypoglykémie [67,68].

Kardiovaskulárna prevencia: Pozorované sú priaznivé účinky na krvný tlak, lipidové spektrum, zápalové markery a endotelálnu funkciu. Účinky sú najvýraznejšie u pacientov s metabolickým syndrómom [5,69].

Potenciálny neuroprotektívny efekt: Experimentálne a limitované klinické údaje naznačujú zlepšenie kognitívnych funkcií a možný protektívny efekt voči neurodegeneratívnym ochoreniam, najmä prostredníctvom ketolátok, BDNF a zníženia neuroinflammácie [70,71].

Limity a riziká prerušovaného lačnenia

IF nie je vhodné pre deti a adolescentov, tehotné a dojčiacie ženy, pacientov s aktívnymi poruchami príjmu potravy, pre pacientov s diabetes mellitus 1. typu, pacientov s DM2T na intenzifikovanej inzulínovej terapii, osoby s pokročilou krehkosťou (**frailty**), kachexiou, pre pacientov s pokročilým chronickým ochorením obličiek, pacientov po nedávnej diabetickej ketoacidóze alebo hyperosmolárnom hyperglykemickom stave (HHS – Hyperosmolar Hyperglycemic State), alebo pre neliečené alebo dekompenzované závažné komorbidity [67,72].

U diabetikov na farmakoterapii existuje zvýšené riziko hypoglykémie, najmä pri užívaní inzulínu a sulfonylurey. U niektorých pacientov môže IF viesť k prejedaniu sa počas „feeding window“ [68,73].

Vhodné formy prerušovaného lačnenia pre pacientov s metabolickým syndrómom a DM2T

IF 16 : 8 (5–6 dní/týždeň): Lačnenie 16 hodín (napr. od 15:00 do 07:00 hod nasledujúceho dňa – vynechá sa večera), príjem potravy počas 8-hodinového „okna“, t. j. od 7:00 do 15:00 hod. Inou možnosťou je lačnenie od 19:00 do 11:00 hod nasledujúceho dňa (vynechávajú sa raňajky) a príjem potravy od 11:00 do 19:00 hod. Ide o najjednoduchšiu a najudržateľnejšiu formu IF, vhodnú aj pre začiatok. Zlepšuje glykémiu, inzulínovú senzitivitu, krvný tlak a redukuje viscerálny a hepatálny tuk [64,65].

IF 14 : 10 Miernejší režim vhodný pri vyššom riziku hypoglykémie, krehkosti alebo náročnom pracovnom režime. Stále podporuje „metabolic switch“ (glukóza → tuk) [74].

IF 18 : 6 Prísnejšia forma, vhodná len pre stabilných a skúsených pacientov bez rizikovej farmakoterapie.

Pacienti s diabetes mellitus by sa mali vyhýbať forme striedavého pôstu (ADF – Alternate-Day Fasting), teda veľmi krátkym oknám pre príjem potravy (4–6 hod), obzvlášť ak sú liečení inzulínom alebo SU. Mali by sa tiež vyhýbať dlhým pôstom (> 24 hod) bez lekárskeho

dohľadu. Tieto formy sú spojené s vyšším rizikom hypoglykémie, dehydratácie a nízkej udržateľnosti [68,75].

Záver

Dostupné klinické dôkazy naznačujú, že intermitentné lačnenie (IF) vrátane tzv. time-restricted eating môže u vybraných pacientov zlepšiť niektoré parametre metabolického zdravia (telesnú hmotnosť, glykémiu/inzulínovú senzitivitu a časť kardiometabolických rizikových markerov), pričom účinok často súvisí aj s energetickým deficitom, kvalitou stravy a cirkadiánnym načasovaním jedál. Údaje o znížení „subklinického“ zápalu sú heterogénne (zmeny niektorých biomarkerov sa pozorujú, no nie konzistentne naprieč štúdiami). IF môže navodiť fyziologický metabolický „switch“ smerom k vyššej oxidácii tukov/ketóze, avšak zachovanie svalovej hmoty nie je automatické a vyžaduje adekvátny príjem proteínu a silový tréning. Mechanisticky, IF aktivuje dráhy spojené so stresovou adaptáciou a autofágiou, no priame klinické dôkazy o tkanivovej autofágii u ľudí sú obmedzené. Údaje o neuroprotekcii, nálade a spánku sú sľubné, ale zatiaľ nejednoznačné a výrazne individuálne. IF nie je univerzálne riešenie: výber protokolu, cieľov a bezpečnostných opatrení má byť individualizovaný, so zvýšenou opatrnosťou a často aj s medicínskym dohľadom u rizikových skupín (najmä pri antidiabetickej liečbe s rizikom hypoglykémie, v gravidite, pri poruchách príjmu potravy a u krehkých pacientov s podhmotnosťou) [29,64,70].

Literatúra

1. Reaven GM. Banting lecture 1988. Role of insulin resistance in human disease. *Diabetes* 1988; 37(12): 1595–1607. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.2337/diab.37.12.1595>>.
2. Shulman GI. Ectopic fat in insulin resistance, dyslipidemia, and cardiometabolic disease. *N Engl J Med* 2014; 371(12): 1131–1141. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra1011035>>. Erratum in *N Engl J Med* 2014; 371(23): 2241.
3. Hotamisligil GS. Inflammation and metabolic disorders. *Nature* 2006; 444(7121): 860–867. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature05485>>.
4. Anton SD, Moehl K, Donahoo WT et al. Flipping the metabolic switch: understanding and applying the health benefits of fasting. *Obesity (Silver Spring)* 2018; 26(2): 254–268. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1002/oby.22065>>.
5. Longo VD, Panda S. Fasting, circadian rhythms, and metabolism. *Cell Metab* 2016; 23(5): 1048–1059. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2016.05.001>>.
6. Guyton AC, Hall JE. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Elsevier: Philadelphia, PA 2020. ISBN 978–0323597128.
7. Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. *Biochemistry*. 9th ed. Freeman: New York, NY 2021. ISBN 978–1319114671.
8. Cahill GF Jr. Fuel metabolism in starvation. *Annu Rev Nutr* 2006; 26: 1–22. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.nutr.26.061505.111258>>.
9. Gerich JE. Control of glucose homeostasis. *Baillieres Clin Endocrinol Metab* 1993; 7(3): 551–586. Dostupné z DOI: <[http://dx.doi.org/10.1016/s0950-351x\(05\)80207-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0950-351x(05)80207-1)>.
10. Gerich JE, Meyer C, Woerle HJ et al. Renal gluconeogenesis: its importance in human glucose homeostasis. *Diabetes Care* 2001; 24(2): 382–391. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.2337/diacare.24.2.382>>.

11. Gerich JE. Role of the kidney in normal glucose homeostasis and in the hyperglycaemia of diabetes mellitus: therapeutic implications. *Diabet Med* 2010; 27(2): 136-142. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2009.02894.x>>.
12. Sutton EF, Beyl R, Early KS et al. Early time-restricted feeding improves insulin sensitivity, blood pressure, and oxidative stress even without weight loss in men with prediabetes. *Cell Metab* 2018; 27(6): 1212-1221.e3. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2018.04.010>>.
13. Inagaki T, Dutchak P, Zhao G et al. Endocrine regulation of the fasting response by PPAR α -mediated induction of fibroblast growth factor 21. *Cell Metab* 2007; 5(6): 415-425. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2007.05.003>>.
14. Fisher FM, Maratos-Flier E. Understanding the physiology of FGF21. *Annu Rev Physiol* 2016; 78: 223-241. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-physiol-021115-105339>>.
15. Ho KY, Veldhuis JD, Johnson ML et al. Fasting enhances growth hormone secretion and amplifies the complex rhythms of growth hormone secretion in man. *J Clin Invest* 1988; 81(4): 968-975. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1172/JCI113450>>.
16. Heilbronn LK, Smith SR, Ravussin E. Alternate-day fasting in non-obese subjects: effects on body weight, body composition, and energy metabolism. *Am J Clin Nutr* 2005; 81(1): 69-73. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/81.1.69>>.
17. Tinsley GM, La Bounty PM. Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutr Rev* 2015; 73(10): 661-674. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/nutrit/nuv041>>.
18. Wilkinson MJ, Manoogian ENC, Zadourian A et al. Ten-hour time-restricted eating reduces weight, blood pressure, and atherogenic lipids in patients with metabolic syndrome. *Cell Metab* 2020; 31(1): 92-104.e5. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2019.11.004>>.
19. Mattson MP, Moehl K, Ghena N et al. Intermittent metabolic switching, neuroplasticity and brain health. *Nat Rev Neurosci* 2018; 19(2): 63-80. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/nrn.2017.156>>. Erratum in: *Nat Rev Neurosci* 2020; 21(8): 445. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41583-020-0342-y>>.
20. Hall JE. Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. 15th ed. Elsevier: Philadelphia, PA 2025. ISBN 978-0443111013.
21. Stanley WC, Recchia FA, Lopaschuk GD. Myocardial substrate metabolism in the normal and failing heart. *Physiol Rev* 2005; 85(3): 1093-1129. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1152/physrev.00006.2004>>.
22. Taegtmeier H, Sen S, Vela D. Return to the fetal gene program: a suggested metabolic link to gene expression in the heart. *Ann NY Acad Sci* 2010; 1188: 191-198. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05100.x>>.
23. Koepfen BM, Stanton BA. Renal Physiology. 6th ed. Mosby/Elsevier: St Louis, MO 2021. ISBN 978-0323722105.
24. Carter S, Clifton PM, Keogh JB. The effects of intermittent compared to continuous energy restriction on glycaemic control in type 2 diabetes: a pragmatic pilot trial. *Diabetes Research and Clinical Practice* 2016; 122: 106-112. Dostupné z DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.diabres.2016.10.010>>.
25. Patterson RE, Sears DD. Metabolic effects of intermittent fasting. *Annu Rev Nutr* 2017; 37: 371-393. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064634>>.
26. Varady KA. Intermittent versus daily calorie restriction: which diet regimen is more effective for weight loss? *Obes Rev* 2011; 12(7): e593-601. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00873.x>>.
27. Harris L, Hamilton S, Azevedo LA et al. Intermittent fasting interventions for treatment of overweight and obesity in adults: a systematic review and meta-analysis. *V JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports* 2018; 16(2): 507-547. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.11124/JBISIRI-2016-003248>>.
28. Moro T, Tinsley G, Bianco A et al. Effects of eight weeks of time-restricted feeding (16/8) on basal metabolism, maximal strength, body composition, inflammation and cardiovascular risk in resistance-trained males. *J Transl Med* 2016; 14(1): 290. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1186/s12967-016-1044-0>>.
29. de Cabo R, Mattson MP. Effects of intermittent fasting on health, aging, and disease. *N Engl J Med* 2019; 381(26): 2541-2551. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra1905136>>. Erratum in: *N Engl J Med* 2020; 382(3): 298. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMp190038>>. Erratum in: *N Engl J Med* 2020; 382(10): 978. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMp200002>>.
30. Sutton EF, Beyl R, Early KS et al. Early time-restricted feeding improves insulin sensitivity, blood pressure, and oxidative stress even without weight loss in men with prediabetes. *Cell Metab* 2018; 27(6): 1212-1221.e3. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2018.04.010>>.
31. Regmi P, Heilbronn LK. Time-restricted eating: benefits, mechanisms, and challenges in translation. *iScience* 2020; 23(6): 101161. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isci.2020.101161>>.
32. Wehrens SM, Hampton SM, Kerkhofs M et al. Mood, alertness, and performance in response to sleep deprivation and recovery without weight loss in men with prediabetes. *Chronobiol Int* 2012; 29(5): 537-548. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.3109/07420528.2012.675258>>.
33. Harvie MN, Pegington N, Mattson MP et al. The effects of intermittent or continuous energy restriction on weight loss and metabolic disease risk markers. *Int J Obes (Lond)* 2011; 35(5): 714-727. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2010.171>>.
34. Cho Y, Hong N, Kim KW et al. The effectiveness of intermittent fasting to reduce body mass index and glucose metabolism: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med* 2019; 8(10): 1645. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/jcm8101645>>.
35. Jamshed H, Beyl RA, Della Manna DL et al. Early Time-Restricted Feeding Improves 24-Hour Glucose Levels and Affects Markers of the Circadian Clock, Aging, and Autophagy in Humans. *Nutrients* 2019; 11(6): 1234. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.3390/nu11061234>>.
36. Nauck MA, Meier JJ. Incretin hormones: their role in health and disease. *Diabetes Obes Metab* 2018; 20(Suppl 1): 5-21. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1111/dom.13129>>.
37. Alirezaei M, Kembal CC, Flynn CT et al. Short-term fasting induces profound neuronal autophagy. *Autophagy* 2010; 6(6):702-710. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.4161/auto.6.6.12376>>.
38. Mizushima N, Levine B. Autophagy in human diseases. *N Engl J Med* 2020; 383(16): 1564-1576. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1056/NEJMra2022774>>.
39. Galluzzi L, Baehrecke EH, Ballabio A et al. Molecular definitions of autophagy and related processes. *EMBO J* 2017; 36(13): 1811-1836. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.15252/embj.201796697>>.
40. Levine B, Kroemer G. Biological functions of autophagy genes: a disease perspective. *Cell* 2019; 176(1-2): 11-42. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2018.09.048>>.
41. Koh A, De Vadder F, Kovatcheva-Datchary P et al. From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell* 2016; 165(6): 1332-1345. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041>>.
42. Cheng CW, Adams GB, Perin L et al. Prolonged fasting reduces IGF-1/PKA to promote hematopoietic-stem-cell-based regeneration. *Cell Stem Cell* 2014; 14(6): 810-823. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.stem.2014.04.014>>.
43. Sonnenburg JL, Bäckhed F. Diet-microbiota interactions as moderators of human metabolism. *Nature* 2016; 535(7610): 56-64. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature18846>>.
44. Zmora N, Suez J, Elinav E. You are what you eat: diet, health and the gut microbiota. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 2019; 16(1): 35-56. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41575-018-0061-2>>.
45. Everard A, Belzer C, Geurts L et al. Cross-talk between Akkermansia muciniphila and intestinal epithelium controls diet-induced obesity. *Proc Natl Acad Sci USA* 2013; 110(22): 9066-9071. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1219451110>>.
46. Ríos-Covián D, Ruas-Madiedo P, Margolles A et al. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health. *Front*

- Microbiol 2016; 7: 185. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>>.
47. Dao MC, Everard A, Aron-Wisniewsky J et al. Akkermansia muciniphila and improved metabolic health during dietary intervention in obesity. *Gut* 2016; 65(3): 426–436. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1136/gutjnl-2014-308778>>.
48. Kovatcheva-Datchary P, Nilsson A, Akrami R. Dietary Fiber-Induced Improvement in Glucose Metabolism Is Associated with Increased Abundance of *Prevotella*. *Cell Metab* 2015; 22(6): 971–982. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.10.001>>.
49. Kovatcheva-Datchary P, Nilsson A, Akrami R et al. Dietary fiber-induced improvement in glucose metabolism is associated with increased abundance of *Prevotella*. *Cell Metab* 2015; 22(6): 971–982. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2015.10.001>>.
50. Cani PD, Amar J, Iglesias MA, et al. Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. *Diabetes* 2007; 56(7): 1761–1772. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.2337/db06-1491>>.
51. Mattson MP, Moehl K, Ghena N et al. Intermittent metabolic switching, neuroplasticity and brain health. *Nat Rev Neurosci* 2018;19(2): 81–94. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/nrn.2017.156>>. Erratum in: *Nat Rev Neurosci* 2020; 21(8): 445. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41583-020-0342-y>>.
52. Witte AV, Fobker M, Gellner R et al. Caloric restriction improves memory in elderly humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009; 106(4): 1255–1260. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0808587106>>.
53. Newman JC, Verdin E. β -hydroxybutyrate: a signaling metabolite. *Annu Rev Nutr* 2017; 37: 51–76. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nutr-071816-064916>>.
54. Marosi K, Mattson MP. BDNF mediates adaptive brain and body responses to energetic challenges. *Trends Endocrinol Metab* 2014; 25(2): 89–98. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tem.2013.10.006>>.
55. Harvie MN, Pegington M, Mattson MP et al. The effects of intermittent or continuous energy restriction on weight loss and metabolic disease risk markers: a randomized trial in young overweight women. *Int J Obes (Lond)* 2011; 35(5): 714–727. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1038/ijo.2010.171>>.
56. Lopresti AL, Hood SD, Drummond PD. A review of lifestyle factors that contribute to important pathways associated with major depression. *J Affect Disord* 2013; 148(1): 12–27. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jad.2013.01.014>>.
57. Calabrese EJ. Hormesis: principles and applications. *Homeopathy* 2015; 104(2): 69–82. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.homp.2015.02.007>>.
58. Mager DE, Wan R, Brown M et al. Caloric restriction and intermittent fasting alter spectral measures of heart rate and blood pressure variability in rats. *FASEB J* 2006; 20(6): 631–637. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1096/fj.05-5263com>>.
59. Panda S. Circadian physiology of metabolism. *Science* 2016; 354(6315): 1008–1015. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aah4967>>.
60. Tinsley GM, La Bounty PM. Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutr Rev* 2015; 73(10): 661–674. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/nutrit/nuv041>>.
61. Treasure J, Duarte TA, Schmidt U. Eating disorders. *Lancet* 2020; 395(10227): 899–911. Dostupné z DOI: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30059-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30059-3)>.
62. Nutton V. *Ancient Medicine (Sciences of Antiquity)*. 2nd ed. Routledge: London 2012. ISBN 978-0415520959.
63. Longo VD, Anderson RM. Nutrition, longevity and disease: from molecular mechanisms to interventions. *Cell* 2022; 185(9): 1455–1470. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2022.04.002>>.
64. Anton SD, Moehl K, Donahoo WT et al. Flipping the metabolic switch. *Obesity (Silver Spring)* 2018; 26(2): 254–268. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1002/oby.22065>>.
65. Wilkinson MJ, Manoogian ENC, Zadorian A et al. Ten-Hour Time-Restricted Eating Reduces Weight, Blood Pressure, and Atherogenic Lipids in Patients with Metabolic Syndrome. *Cell Metab* 2020; 31(1): 92–104. e5. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.11.004>>.
66. Cho Y, Hong N, Kim KW et al. Effect of Time-Restricted Eating on Weight Loss and Other Metabolic Parameters in Overweight and Obese Adults. *Nutrients* 2019; 11(6): 1387. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.3390/nu11061387>>.
67. American Diabetes Association. Standards of Care in Diabetes – 2024. *Diabetes Care* 2024; 47(Suppl 1): S1–S350. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.2337/dc24-SINT>>.
68. Abdelrahim D, Faris ME, Hassanein M. Impact of Ramadan Diurnal Intermittent Fasting on Hypoglycemic Events in Patients With Type 2 Diabetes: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Observational Studies. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2021; 12: 624423. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.3389/fendo.2021.624423>>.
69. Sutton EF, Beyl R, Early KS, et al. Early time-restricted feeding improves metabolic health. *Cell Metab* 2018; 27(6): 1212–1221.e3. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2018.04.010>>.
70. de Cabo R, Mattson MP. Effects of Intermittent Fasting on Health, Aging, and Disease. *N Engl J Med* 2019; 381(26): 2541–2551. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1056/NEJMr1905136>>.
71. Newman JC, Verdin E. Ketone bodies as signaling metabolites. *Trends Endocrinol Metab* 2014; 25(1): 42–52. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tem.2013.09.002>>.
72. Volkert D, Beck AM, Cederholm T et al. ESPEN guideline on clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clinical Nutrition* 2019; 38(1): 10–47. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.05.024>>.
73. Tinsley GM, La Bounty PM. Effects of intermittent fasting on body composition and clinical health markers in humans. *Nutr Rev* 2015; 73(10): 661–674. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1093/nutrit/nuv041>>.
74. Jamshed H, Beyl RA, Della Manna DL et al. Early Time-Restricted Feeding Improves 24-Hour Glucose Levels and Affects Markers of the Circadian Clock, Aging, and Autophagy in Humans. *Nutrients* 2019; 11(6): 1234. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.3390/nu11061234>>.
75. Trepanowski JF, Kroeger CM, Barnosky A et al. Effect of Alternate-Day Fasting on Weight Loss, Weight Maintenance, and Cardioprotection Among Metabolically Healthy Obese Adults: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Intern Med* 2017; 177(7): 930–938. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1001/jamainternmed.2017.0936>>.
76. Wei M, Brandhorst S, Shelehchi M et al. Fasting-mimicking diet and markers/risk factors for aging, diabetes, cancer, and cardiovascular disease. *Sci Transl Med* 2017; 9(377): eaai8700. Dostupné z DOI: <<http://doi.org/10.1126/scitranslmed.aai8700>>.
77. Mehanna HM, Moledina J, Travis J. Refeeding syndrome: what it is, and how to prevent and treat it. *BMJ* 2008; 336(7659): 1495–1498. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1136/bmj.a301>>.
78. Yin C, Li Z, Xiang Y et al. Effect of Intermittent Fasting on Non-Alcoholic Fatty Liver Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Nutr* 2021; 8: 709683. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2021.709683>>.
79. Lange M, Nadkarni D, Martin L et al. Intermittent fasting improves hepatic end points in nonalcoholic fatty liver disease: A systematic review and meta-analysis. *Hepatol Commun* 2023; 7(8): e0212. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1097/HC9.0000000000000212>>.
80. Memel ZN, Wang J, Corey KE. Intermittent Fasting as a Treatment for Nonalcoholic Fatty Liver Disease: What Is the Evidence? *Clin Liver Dis (Hoboken)* 2022; 19(3): 101–105. Dostupné z DOI: <<http://dx.doi.org/10.1002/cld.1172>>.