Digesce a resorpce

doc. MUDr. Zdeněk Wilhelm, CSc.
Fyziologický ústav LF MU, Brno

Digesce a resorpce hrají v metabolizmu organizmu zásadní roli. Poruchy, ať už postihují pouze jednu či obě výše uvedené funkce, významně ovlivňují organizmus jako celek. V případě onemocnění jsou spoluurčující pro další vývoj nemoci, a to jak z pohledu zajištění celkové energetické potřeby, tak i z pohledu optimálního složení přijímaných substrátů v konkrétní situaci. Omezení funkce digesce i resorpce by mělo vést k indikaci náhradní nutrice, a to jak přípravky ve formě sipingu či ve formě speciálních enterálních výživ. Náhradní nutrice vybranými preparáty v klinické praxi, aby měla očekávaný efekt, musí odpovídat fyziologickým požadavkům za situací omezené digesce a resorpce gastrointestinálního traktu.

Klíčová slova: sacharidy, lipidy, proteiny, siping, enterální výživa.

Digestion and resorption

Digestion and resorption play an essential role in the body's metabolism. Disorders involving one or both of the functions mentioned above significantly affect the organism as a whole. In the case of disease, they codetermine the further course of the disease both in terms of providing the total energy needs and in terms of the optimal composition of the substrates ingested in a particular situation. Impaired function of digestion and resorption should be an indication for nutritional support, both in the form of sipping and in the form of special enteral feeding. In order to have the expected effect, nutritional support with selected products in the clinical practice must meet the physiological needs in the setting of impaired digestion and resorption by the gastrointestinal tract.

Key words: saccharides, lipids, proteins, sipping, enteral feeding.

Prakt. lékáren. 2011; 7(2): 71–75

Jednou z hlavních rolí gastrointestinálního systému, vedle funkcí zásobních i imunologických je digesce a následná resorpce přijatých substrátů. Tyto procesy jsou vázány z hlediska typu substrátu na různé oddíly gastrointestinálního traktu a v závislosti na dalších doprovodných faktorech mohou vykazovat výrazné změny. Podmínky pro optimální digesci a resorpci jsou významné také z pohledu podávání náhradní výživy v klinické praxi, která je podávaná do zažívacího traktu za specifických a závažných klinických stavů. Právě s ohledem na digesci a resorpci se jednotlivé nutriční preparáty rozdělují do skupin podle toho, jak velký výpadek trávicích enzymů je aktuálně u nemocného přítomný. Jedině substituce nutričními prepráty podle těchto zásad splňuje požadavky na ní kladené.

O střevu i jeho histologické stavbě již bylo v tomto časopise referováno (1). Pouze pro připomenutí uvádím, že střevo a celá oblast splanchniku je významně prokrvena (okolo 25–30 % minutového krevního objemu), přičemž spotřeba energie ve vazbě na střevo se odhaduje na 20 % z celkové energie organizmu, připočteme-li jaterní tkáň, zvýší se podíl na spotřebě celkové energie o dalších 27 %).

Trávicí trubice je inervována autonomním nervovým systémem (fyziologické účinky viz tabulka 1), které významně ovlivňují jak motilitu, tak sekreční funkce střeva. Plocha střeva v důsledku přítomného vnitřního zvrásnění (řasa, klk, mikroklk) se blíží hodnotě 300 m^2. Tato plocha uváděná u dospělého, zdravého jedince se v závislosti na věku postupně snižuje, takže mezi 60.– 70. rokem klesá fyziologicky o jednu třetinu na hodnoty okolo 200 m^2.

Voda

Aby mohly všechny děje, spojené s digescí a následně resorpcí ve střevu proběhnout, je nutná přítomnost vody v gastrointestinálním systému. Nejnižší hodnoty, a to jak sekrece, tak resorpce, uvádí tabulka 2. Bez vodného prostředí by nebyly účinné enzymové systémy digesce, stejně tak by nemohla proběhnout transformace například mastných kyselin s krátkým uhlíkatým řetězcem z vlákniny či tvorba vitaminů B komplexu v tlustém střevě.

K účinnosti enzymových systémů přispívá nejenom prostředí, ale také jeho proměnlivé pH v různých úsecích trávicí trubice, čímž samotný faktor změny pH ovlivňuje nejenom aktivitu různých enzymových systémů, ale i samotnou digesci.

Transit time

Průchod potravy celým gastrointestinálním traktem charakterizuje tzv. transit time. Pro jednotlivé úseky se udávají časová rozmezí, která vykazují vysokou variabilitu v závislosti na složení potravy, množství potravy, procentu přijaté vlákniny i tekutin, fyzické zátěži, časovému intervalu, který předcházel mezi jednotlivými jídly (tabulka 3).

Sliny

Významnou funkci, a to nejen zvlhčení přijaté potravy, ale i zahájení jejího enzymatického štěpení, zajišťují sliny. Ve vztahu k jednotlivým slinným žlázám jsou přítomny významné rozdíly:

- Příušní žláza: slina bohatá na elektrolyty a enzymy (amylázy), hlen je zastoupen minimálně
- Podjazykové žlázy: slina bohatá na hlen (a tedy i vysoce viskózní), přítomny protilátky
- Podčelistní žlázy: slina obsahující elektrolyty, enzymy i buňky, které vylučují hlen
- Vedlejší žlázy: slina s výrazným zastoupením mukózního sekretu

Podíl jednotlivých žláz i složení sliny (celkové, průměrné) v klidu a při podráždění uvádějí tabulky 4 a 5.

Žaludek

Žaludek se v rámci gastrointestinálního traktu podílí na rozmělnění potravy, významném snížení obsahu mikroorganizmů v potravě

Tabulka 1. Anatomicko-fyziologické poznámky k sympatiku a parasympatiku GITu

Sympatikus	
Vlákna sympatiku vychází z	5.– 12. hrudního segmentu
	1.– 3. bederního segmentu
Celkové účinky: inhibice motility a sekrece	
Parasympatikus	
N. glossopharyngeus	inervace přiušních žláz
N. facialis	inervace oblasti dolní čelisti a podjazykové oblasti
N. vagus	inervace oblasti jícnu, žaludku, tenkého střeva, proximální části tlustého střeva, jater, žlučových cest, slinivky břišní
vlákna oblasti křížové	inervace sestupné části tlustého střeva, sigmatu, rekta
Celkové účinky: zvýšení motility střevní a sekrece	
Jednotlivé oddíly gastrointestinálního traktu můžeme podle převažující funkce rozdělit na úseky:	
■ rozmělnění potravy (dutina ústní, žaludek)	
■ snížení počtu mikroorganizmů a zásobní úsek (žaludek)	
■ enzymatického štěpení substrátů (žaludek, duodenum, proximální část tenkého střeva)	
■ resorpce (tenké a tlusté střevo)	

Tabulka 2. Denní obrat vody v gastrointestinálním traktu

	Příjem v litrech	Resorpce v litrech	Ztráty v litrech
potrava	1–2		
slinné žlázy	1,5		
žaludeční šťávy	2		
pakreatická šťáva	1,5		
žluč	0,5		
střevo	2–3		
tenké střevo		9	
tlusté střevo		1	
rektum			0,1

Tabulka 3. Časové hodnoty pro jednotlivé úseky gastrointestinálního traktu v hodinách

ústa, jícen, žaludek	1–6
tenké střevo	2–5
tlusté střevo, rektum	5–72

Tabulka 4. Podíl jednotlivých žláz v procentech na celkové produkci (2)

	V klidu	Po stimulaci
příušní	20	50
podčelistní	65	30
podjazykové	7–8	10
vedlejší	7–8	10

Tabulka 5. Některé součásti slin (2)

	V klidu	Po stimulaci
sodík	8 mmol/l	32 mmol/l
draslík	21 mmol/l	22 mmol/l
chlorid	8 mmol/l	18 mmol/l
hydrogenuhličitan	3 mmol/l	20 mmol/l
amyláza	0,6 mmol/l	1,2 mmol/l
bílkoviny celkově	2,6 g/l	3,2 g/l
osmolalita	85 mosmol/kg	127 mosmol/kg

(i když ne absolutní) a na enzymatickém štěpení substrátů. Toto štěpení není regulováno pouze přítomností specifických enzymů, ale i velmi nízkým pH. Složení jednak žaludečních šťáv, stejně jako pH závisí, a to velmi výrazně, na fázi žaludeční sekrece. Nejčastěji se rozdělují tyto fáze na fázi cefalickou, gastrickou a intestinální.

Fáze cefalická je zahájena podněty typu vůně, chuť, ale také hypoglykemie a je charakterizována prázdným obsahem žaludku. V důsledku stimulace parasympatických vláken dochází k uvolňování gastrinu z G buněk. Gastrin způsobí následné uvolnění kyseliny chlorovodíkové i pepsinogenů. Současně dochází k uvolňování histaminu.

Fáze gastrická je spuštěna roztažením žaludku přijatou potravou. Dochází k sekreci kyseliny chlorovodíkové, pepsinogenu a současně hlenu. Významné je zmínit skutečnost, že například bílkoviny, přesněji štěpné produkty bílkovin v podobě peptidů a volných aminokyselin stimulují žaludeční sekreci gastrinu. Naopak nízké pH v žaludku sekreci gastrinu tlumí. Tato fáze může trvat, podle složení potravy, až 5 hodin. Potrava, promísená se žaludečními šťávami a rozmělněná, přechází do duodena.

Začíná ***fáze intestinální***. Rychlost vyprazdňování žaludku je regulována rozšířením duodena, přítomností lipidů i nízkým pH přicházejícího chymu do duodena. Všechny výše zmíněné faktory rychlost vyprazdňování tlumí. Jedině tak je zajištěno, aby rychlost postupu natrávené potravy odpovídala možnostem dalšího oddílu gastrointestinálního optimálně dokončit digesci přijaté potravy. Přítomnost natrávené potravy i kyselé pH způsobí uvolnění dalších významných látek. Sekretin, uvolněný v důsledku nízkého pH, tlumí sekreci gastrinu. Mastné kyseliny podporují tvorbu peptidů – gastric inhibitpory peptide (GIP) a cholecystokinin (CCK), jež také tlumí produkci gastrinu i kyseliny solné. Na druhé straně aktivují uvolňování pepsinogenu z hlavních žaludečních buněk, čímž napomáhají dalšímu štěpení bílkovin (tabulky 6 a 7).

Slinivka břišní

Slinivka břišní produkuje tzv. pankreatickou šťávu. Ta ústí hlavním pankreatickým vývodem u většiny lidí společně s žlučovým vývodem přes Oddiho svěrač do duodena. Co se týká složení pankreatické šťávy, je to především přítomnost enzymů (amylázy, lipázy, ribonukleázy, deoxyribonukleázy a proteolytické enzymy typu trypsin, chymotripsin, elastázy, karboxypep-

tidázy). Za jejich sekreci, přesněji regulaci jejich sekrece – je zodpovědný cholecystokinin. Další a neméně významnou složkou pankreatické šťávy je voda a hydrogenuhličitanové ionty. Záleží již pouze na složení potravy, přicházející do duodena, jak se bude měnit složení pankreatické šťávy. Významná je také skutečnost, že produkce enzymů se děje v podobě forem neaktivních enzymů, které jsou aktivovány až v lumen střeva – například enterokinázou. Pokud dojde k aktivaci těchto enzymů již v samotné tkáni pankreatu, jedná se o velmi závažný stav (akutní pankreatitidu).

Sacharidy

Štěpení sacharidů – a to jak polysacharidu škrobu, disacharidů fruktózy či laktózy je zahájeno v dutině ústní. Podílí se na ní přítomné amylázy, produkované slinnými žlázami. V dalším průběhu procházejí sacharidy žaludkem s výrazně nízkým pH, přičemž následně na úrovni dvanácterníku tato digesce je prakticky ukončena a je zahájena resorpce.

V případě glukózy na straně přivrácené k lumen střeva tzv. symportem společně s ionty sodíku, na straně bazolaterální membrány pak s využitím transportního systému pro glukózu GLUT-2 (obdobný mechanizmus je i na úrovni ledviny, konkrétně proximálního tubulu). V případě fruktózy není přítomný symport na straně přivrácené k lumen střeva, ale využívá se transportního systému GLUT-5.

Transport monosacharidů laktózy (galaktóza a glukóza) nevykazuje v transportu přes enterocyt žádných zvláštností. Co je ale potřeba připomenout z hlediska digesce, je skutečnost, že okolo 15–20 % naší populace nemá dostatečnou přítomnost tohoto enzymu (laktázy) a v důsledku toho pak vzniká nejenom neschopnost disacharid laktózu štěpit, ale dochází i k osmotické vazbě vody na tento cukr a k nepříjemným projevům dyspepsie, které mohou vyústit v nauzeu, zvracení i průjmy. V některých oblastech světa je procento této intolerance ještě vyšší (například státy rovníkové Afriky mají až 100% deficit enzymu laktázy). Z těchto důvodů je kontraindikováno podání laktózy u takto postižených jedinců. Podrobný transport monosaharidů přes enterocyt viz obrázek 1.

Lipidy

Lipidy jsou značně nehomogenní skupinou. Řadíme do ní jak triacylglyceroly, mastné kyseliny, ale i například vosky. Z hlediska výživy se v dalším textu zaměřím na triacylglyceroly a mastné kyseliny, které jsou nejvýznamnějšími představiteli lipidů. Digesce lipidů začíná prakticky až působením pankreatických lipáz, kdy v případě triacylglycerolů se odštěpí glycerol a volné mastné kyseliny, cholesterolestery dají vzniknout cholesterolu a mastným kyselinám, fosfolipidy jsou zdrojem vedle mastných kyselin také lysofosfolipidů. Následně se velké tukové kapky působením emulgátorů – žlučových kyselin, kyseliny cholové – zmenší až na částice o průměru 1 µm. Volné mastné kyseliny společně se žlučovými kyselinami i monoglyceridy vytvoří kuličky – micely, jejichž vnější část přitahuje vodu (je hydrofilní), zatímco jádro micel vodu odpuzuje (je hydrofobní). Další transport přes kartáčový lem enterocytu se uskutečňuje pasivní difuzí.

Tabulka 6. Typy buněk žaludku, jejich produkty sekrece i faktory zvyšující jejich sekreci

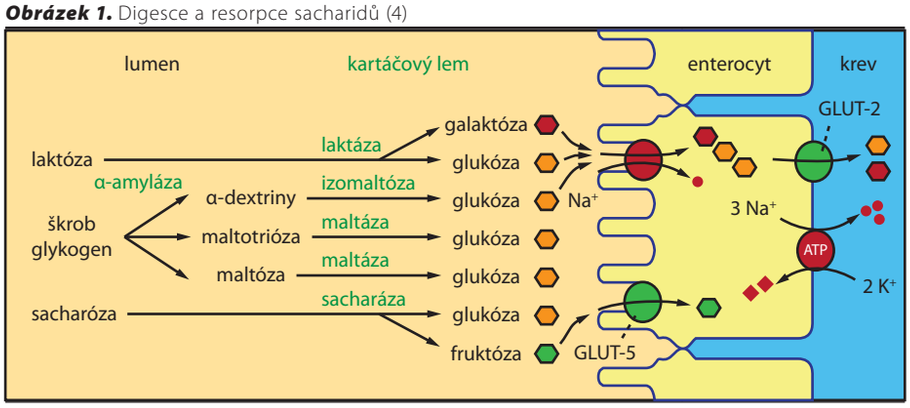
Typ buňky	Oblast žaludku	Produkt sekrece	Stimulace sekrece
parietální buňky	tělo fundus	HCl vnitřní faktor	gastrin acetylcholin histamin
hlavní buňky	tělo fundus	pepsinogen konverze na pesin (↓ pH)	acetylcholin (parasympatikus)
G buňky	antrum	gastrin	stimulace n. vagu
mukózní buňky	antrum	hlen pepsinogen	acetylcholin

Tabulka 7. Výběr hormonů, hormonálních peptidů a neuropeptidů gastrointestinálního traktu (3)

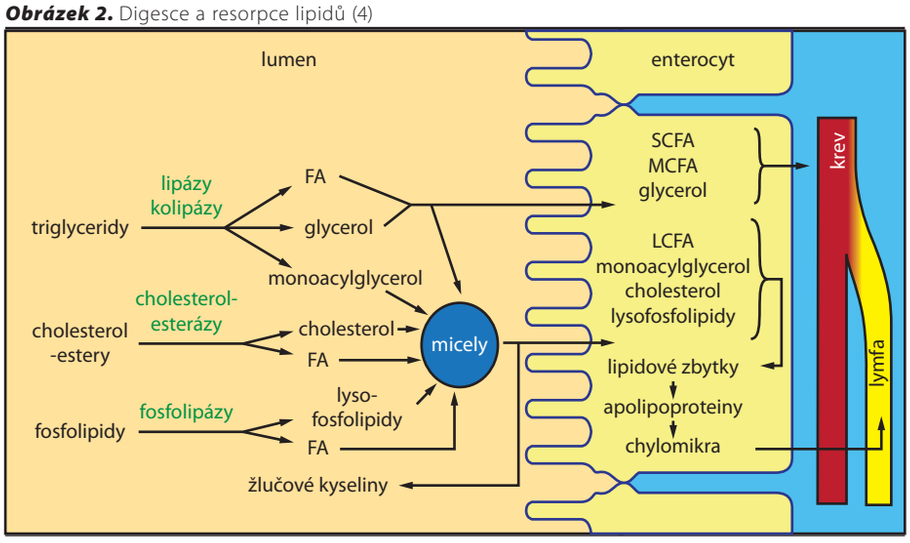
Hormon (peptidy)	Místo syntézy	Uvolnění	Hlavní účinky
gastrin	G buňky, antrum, duodenum	produkty proteinového metabolizmu aktivace n. vagu	↑ HCl sekrece ↑ sekrece pepsinu ↑ růst sliznice ↑ motilita žaludku
cholecystokinin	I buňky, duodenum, jejunum, nervová zakončení	produkty proteinového metabolizmus LCFA	↑ sekrece enzymů pankreatu ↑ sekrece pepsinogenu relaxace Oddiho svěrače
sekretin	S buňky, duodenum, jejunum	pH < 4 v duodenu žlučové kyseliny v duodenu	↑ HCO3 sekrece ↑ sekrece pepsinogenu ↑ sekrece žluči
GIP	K buňky, duodenum, jejunum	↑ glukózy, mastné kyseliny, aminokyseliny v duodenu	↑ sekrece inzulinu ↓ sekrece HCl ↓ motilita žaludku
VIP	nervová zakončení	aktivace enterických nervů	↓ motilita gastrointestinálního traktu ↓ sekrece HCl ↑ intestinální sekrece
enteroglukagon	L – buňky, ileum, kolon	glukóza FA v ileu	↑ růst sliznice ↓ sekrece HCl ↓ sekrece enzymů pankreatu ↓ motilita
somatostatin	D – buňky, pankreas, tenké střevo, žaludek, nervová zakončení	FA, peptidy, žlučové kys. v tenkém střevě	↓ sekrece žaludeční sliznice ↓ motilita mezi jídly ↓ uvolňování gastrinu, VIP, motilinu, CCK, sekretinu
motilin	M – buňky, duodenum, jejunum	↓ pH ↑ FA v duodenu	↓ motilita mezi jídly
neurotensin	N buňky (ileum), nervová zakončení	↑ FA v tenkém střevě	↓ žaludeční sekrece ↑ sekrece pankreatu
pankreatický polypetid	F buňky (pankreas)	produkty proteinového metabolizmu aktivita n. X	↓ pankreatická sekrece ↓ střevní motilita
neuropeptid Y	nervová zakončení	aktivita enterické pleteně	↓ prokrvení splanchnické oblasti
substance P	nervová zakončení	aktivita enterické pleteně	↑ motilita GIT
GRP	nervová zakončení	aktivita enterické pleteně	↑ vylučování gastrinu

CCK – cholecystokinin; GIP – gastric inhibitory peptid; GRP – gastrin releasing peptid; LCFA – mastná kyselina s dlouhým uhlíkatým řetězcem; VIP – vazoaktivní intestinální polypeptid

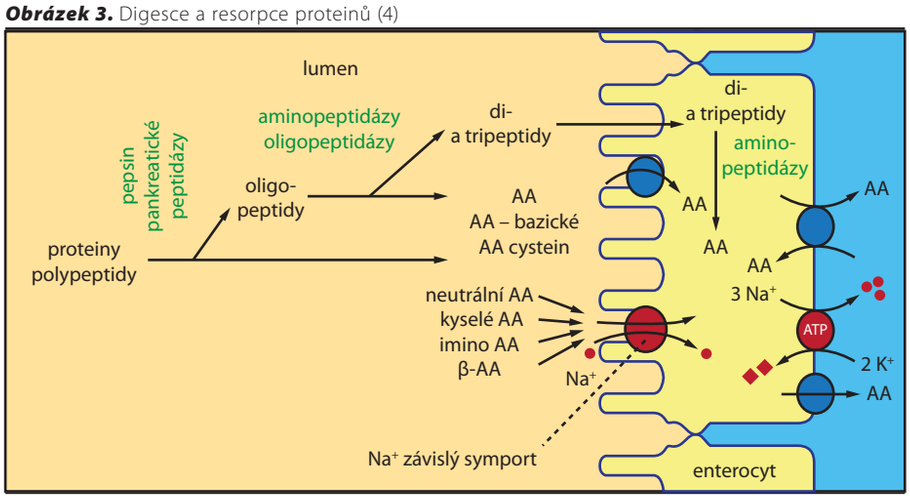
Obrázek 1. Digesce a resorpce sacharidů (4)



Obrázek 2. Digesce a resorpce lipidů (4)



Obrázek 3. Digesce a resorpce proteinů (4)



Další osud mastných kyselin v enterocytu se odvíjí od délky jejich uhlíkatého řetězce. Mastné kyseliny s krátkým uhlíkatým řetězcem – SCFA (do 2 uhlíků: kyselina octová, propionová, máselná), podobně jako mastné kyseliny se střední délkou řetězce – MCFA (8–12 uhlíků v molekule mastné kyseliny) procházejí přes bazolaterální membránu přímo do portální krve. Mastné kyseliny s dlouhým uhlíkatým řetězcem – LCFA (> 16 uhlíků) vytváří tzv. chylomikrony (společně s vitaminy rozpustnými v tucích, fosfolipidy, triglyceridy) a ty na bazolaterální membráně procesem podobným exocytóze vstupují do lymfatického oběhu. Životnost útvarů chylomiker je odhadována pouze asi na 5 minut. Teprve ústí lymfatického oběhu do krevního oběhu přivádí jednotlivé složky chylomiker do krevního oběhu (obrázek 2).

Proteiny

Štěpení proteinů na menší celky – oligopeptidy a di- a tripeptidy začíná výrazněji až na úrovni žaludku v důsledku působení kyseliny solné. Následně působící pankreatické enzymy na úrovni duodena prakticky štěpení proteinů dokončí. Obdobně jako v případě glukózy je zde přítomný na straně enterocytu přivrácené do lumen střeva symport společně se sodnými ionty, na straně bazolaterální, vedle jiných mechanizmů, sehrává velmi významnou roli aktivní sodíko-draslíková pumpa, která významně přispívá k udržení nerovnováhy iontů uvnitř i vně enterocytu (obrázek 3).

Voda

Voda je transportována na úrovni střeva do intersticia jednak paracelulárně po koncentračním spádu, jednak transcelulárně. Na straně přivrácené do lumen střeva je to symport společně se sodnými ionty jednak klasickým způsobem, či s využitím specifického transportního sytému – tzv. sodíko-glukózového kotransporteru 1 (SGLT1), na straně bazolaterální pak specifického transportního systému – aquaporinu 3 (AQP3).

Klinické výstupy

K výše uvedeným fyziologickým faktorům se musí přihlížet při volbě optimálního přípravku, určeného k výživě do gatrointestinálního traktu v klinické praxi. Pokud jsou přítomny trávicí enzymy v plné míře, můžeme volit přípravky ***polymerní***. Nejčastější jsou ve formě přípravků určených k popíjení (siping).

Omezená přítomnost trávicích enzymů vede k výběru přípravků výživy, kde jsou přítomné již lehčeji vstřebatelné substráty. Jedná se o přípravky, obsahující oligopeptidy, maltodextriny, mastné kyseliny s krátkým uhlíkatým řetězcem (MCFA).

Přípravky polymerní vykazují výrazně lepší organoleptické vlastnosti, přípravky určené pro stavy s nižší aktivitou trávicích enzymů jsou již přípravky většinou určené pro výživu sondou. Rozhodující je, zda ústí sondy je v žaludku (pak nemusí být přípravek důsledně sterilní), či ústí-li sonda pod žaludkem, kdy podávaný přípravek musí být vždy sterilní.

Z pohledu energetického pak přípravky dělíme na ***izokalorické (1 ml = 1 kcal)***, jejichž nejčastější složení ve 2 000 ml je: 250 g sacharidů, 80 g lipidů, 80 g proteinů. Za specifických stavů se volí přípravky s ***vyšším energetickým obsahem (1 ml = 1,5 kcal)***, jež obsahují vyšší procento proteinů, větvené aminokyseliny i například MCFA.

Pro samotnou resorpci ve střevě je důležitá současná přítomnost látek, které se na resorpci

zmiňovaných substrátů podílejí. To je příklad sodíku. Snížená přítomnost sodíku ve střevě nejenom významně sníží resorpci glukózy a aminokyselin, ale sníží resorpci i významné části vitaminů rozpustných ve vodě.

Je dobré tyto základní fyziologické mechanizmy digesce a resorpce základních substrátů znát. Jedině tak v praxi v konkrétním případě u konkrétního klienta snížíme výskyt nežádoucích komplikací v nutričním poradenství. Obdobně tyto zásady platí při výběru vhodné výživy, určené per os či do sondy.

Literatura

1. Wilhelm Z, Hegyi P. Fyziologické poznámky ke gastrointestinálnímu traktu. Praktické lékárenství, 2006; 1: 36–38.
2. Ward JPT, Linden RWA. Základy fyziologie. Praha: Galén, 2010: 164 s.
3. Schmidt FR, Lang F. Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie. Heidelberg: Springer, 2007: 1030 s.
4. Fahlke Ch, Linke W, Rassler B, Wiesner R. Taschenaatlas Physiologie. Munchen: Urban & Fischer, 2008: 473 s.
5. Deetjen P, Speckmann EJ, Hescheler J. Repetitorium Physiologie. München: Urban & Fischer, 2005: 354 s.
6. Koeppen BM, Stanton BA. Physiology. Philadelphia: Mosby, 2008: 834 s.
7. McCance KL, et al. Pathpophysiology. Maryland: Mosby, 2010: 1838 s.

doc. MUDr. Zdeněk Wilhelm, CSc.
Fyziologický ústav LF MU, Brno
Komenského nám. 2, 662 43 Brno
zwilhelm@med.muni.cz