

UČEBNÍ TEXTY UNIVERZITY KARLOVY

FYZIOLOGIE

gastrointestinálního traktu

Jitka Švíglerová
Jana Slavíková

KAROLINUM

Fyziologie gastrointestinálního traktu

Jitka Švíglerová
Jana Slavíková

Recenzovali:

prof. MUDr. Pavel Sobotka, DrSc.

prof. MUDr. Marie Nováková, Ph.D.

Vydala Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum
jako učební text pro Lékařskou fakultu UK v Plzni
Praha 2025
Sazba Stará škola
3. vydání

© Univerzita Karlova, 2025

© Jitka Švíglerová, Jana Slavíková, 2025

ISBN 978-80-246-6022-6

ISBN 978-80-246-6023-3 (pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum 2024

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Předmluva ke 3. vydání	8
1. GASTROINTESTINÁLNÍ TRAKT – ÚVOD	9
1.1 Funkce gastrointestinálního traktu	9
1.2 Stavba trávicí trubice	9
1.3 Inervace GIT	11
1.4 Cévní zásobení GIT	14
1.5 Imunitní systém GIT	17
2. MOTILITA TRÁVICÍ TRUBICE	19
2.1 Hladká svalovina GIT	19
2.2 Elektrické projevy buněk hladké svaloviny	21
2.3 Pohyby GIT	22
2.4 Migrující motorický komplex	24
2.5 Činnost svěračů	24
3. DUTINA ÚSTNÍ, HLTAN A JÍCEN	25
3.1 Žvýkání	26
3.2 Polykání	26
3.2.1 Ústní fáze	27
3.2.2 Hltanová fáze	27
3.2.3 Jícenová fáze	28
3.3 Sekrece slin	29

3.3.1 Objem, složení a funkce slin	29
3.3.2 Slinné žlázy, mechanismus sekrece slin	30
3.3.3 Regulace sekrece slin	32
4. ŽALUDEK	35
4.1 Motorické funkce žaludku	36
4.1.1 Skladování potravy	36
4.1.2 Mísicí funkce	36
4.1.3 Vyprazdňování žaludku	38
4.1.4 Kontrola žaludečního vyprazdňování	38
4.1.5 Hladové kontrakce	41
4.1.6 Zvracení	41
4.2 Žaludeční sekrece	42
4.2.1 Žlázy fundu a těla žaludku	43
4.2.2 Pylorické žlázy	46
4.2.3 Regulace sekrece HCl	47
4.2.4 Regulace žaludeční sekrece	49
5. JÁTRA	53
5.1 Stavba jater	53
5.1.1 Jaterní buňka	53
5.1.2 Jaterní lalůček, primární jaterní acinus, portální lalůček	55
5.2 Cévní zásobení jater, produkce lymfy	57
5.3 Funkce jater	58
5.3.1 Metabolické funkce jater	58
5.3.2 Nemetabolické funkce jater	60
5.4 Žluč	62
5.4.1 Žlučové cesty	62
5.4.2 Složení a množství žluči, skladování žluči ve žlučníku	63
5.4.3 Tvorba žluči a její regulace	63
5.4.4 Sekrece žluči	66
5.4.5 Funkce žluči	66
6. SLINIVKA BŘIŠNÍ	68
6.1 Pankreatická šťáva	68
6.1.1 Sekrece v pankreatických acinech	69
6.1.2 Sekrece v pankreatických vývodech	71
6.2 Regulace pankreatické sekrece	73
6.2.1 Humorální regulace pankreatické sekrece	73
6.2.2 Fáze pankreatické sekrece	74

7. TENKÉ STŘEVO	75
7.1 Motilita tenkého střeva	77
7.2 Sekrece v tenkém střevě	79
8. TLUSTÉ STŘEVO	82
8.1 Pohyby tlustého střeva	83
8.2 Defekace, defekační reflex	85
8.3 Sekrece v tlustém střevě	88
8.4 Bakterie v tlustém střevě	88
8.5 Stolice	89
9. TRÁVENÍ A VSTŘEBÁVÁNÍ	91
9.1 Trávení a vstřebávání cukrů	92
9.1.1 Trávení cukrů	92
9.1.2 Vstřebávání cukrů	93
9.2 Trávení a vstřebávání bílkovin	94
9.2.1 Trávení bílkovin	94
9.2.2 Vstřebávání bílkovin	95
9.3 Trávení a vstřebávání tuků	96
9.3.1 Trávení tuků	96
9.3.2 Vstřebávání tuků	97
9.4 Vstřebávání elektrolytů, vody a vitaminů	99
9.4.1 Vstřebávání elektrolytů a vody	99
9.4.2 Vstřebávání vitaminů	102
10. REGULACE FUNKCÍ GIT	103
10.1 Hormony GIT	103
10.1.1 Enteroendokrinní buňky GIT	103
10.1.2 Charakteristika hormonů GIT	104
10.1.3 Rozdělení hormonů GIT	105
10.1.4 Přehled účinků nejdůležitějších hormonů GIT	105
10.2 Hormony produkované mimo GIT	112
10.3 Nervové přenašeče	112

Děkujeme prof. MUDr. Marii Novákové, Ph.D., z Fyziologického ústavu Lékařské fakulty Masarykovy univerzity v Brně a prof. MUDr. Pavlovi Sobotkovi, DrSc., z Ústavu patologické fyziologie Lékařské fakulty v Plzni za ochotu, se kterou se ujali revize tohoto výukového textu. Oběma recenzentům děkujeme za pečlivé posouzení rukopisu, za veškeré opravy a podnětné připomínky.

Rovněž bychom chtěly poděkovat paní Ivaně Hajdúkové a slečně Martě Peroutkové za výraznou pomoc při přípravě obrazové dokumentace a za jejich pečlivost a trpělivost, se kterou napomáhaly vzniku tohoto učebního materiálu.

MUDr. Jitka Švíglerová, Ph.D.
doc. MUDr. Jana Slavíková, CSc.

Předmluva ke 3. vydání

Poslední vydání skript *Fyziologie gastrointestinálního traktu* vyšlo před 11 lety. Za tu dobu jsme na našem ústavu vyzkoušeli více než 2 500 studujících a postupně jsme zjišťovali, která témata umí lépe, a která jim naopak činí větší obtíže. Těmito poznatky jsme se řídily při přípravě třetího vydání, v němž jsou upraveny zejména ty podkapitoly, které (podle našeho názoru) zasluhovaly srozumitelnější vysvětlení. Doufáme, že se náš záměr povedl a skripta budou sloužit studujícím ku prospěchu.

Části textu napsané kurzivou obsahují buď patofyziologické, nebo klinické poznámky související s popisovaným tématem.

1. GASTROINTESTINÁLNÍ TRAKT – ÚVOD

1.1 Funkce gastrointestinálního traktu

Základní úlohou trávicího traktu je zásobování organismu živinami, vodou, minerály a vitaminy. Gastrointestinální trakt (GIT) se skládá z dutiny ústní, hltanu, jícnu, žaludku, tenkého a tlustého střeva. K trávicímu traktu dále patří několik žláz (slinné žlázy, játra, slinivka břišní), které secernují svoje produkty do trávicí trubice.

GIT plní následující funkce:

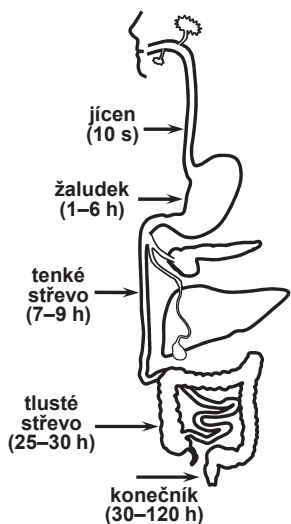
1. **příjem potravy**,
2. **trávení** – štěpení živin na vstřebatelné složky,
3. **resorpce** – přestup produktů trávení přes sliznici střeva do krevního či lymfatického oběhu,
4. **skladování** – uchování dosud nezpracované potravy,
5. **vylučování** – odstraňování nevstřebaných zbytků potravy a odpadních látek.

Výše zmíněné aktivity GIT jsou regulovány nervovou a humorální cestou. GIT je rovněž vybaven vysoce účinným obranným systémem, který likviduje patogeny přicházející do organismu společně s potravou.

Obrázek 1.1 popisuje základní funkce orgánů GIT a dobu pasáže tráveniny v jednotlivých úsecích trávicí trubice.

1.2 Stavba trávicí trubice

Přestože jednotlivé etáže GIT mají svoji specializovanou funkci, stavba stěny trávicí trubice se v celém průběhu od jícnu až po konečník významně neliší. Je tvořena sliznicí, podslizničním vazivem, svalovou vrstvou a povrchovou vrstvou (obr. 1.2). Nejvnitřnější vrstvu trávicí trubice tvoří sliznice



Dutina ústní – rozžvýkání potravy, získání informace o kvalitě potravy (čich, dotyk, chuť), začátek trávení cukrů, antibakteriální činnost, formování sousta

Jícen – přesun potravy do žaludku

Žaludek – skladovací funkce, trávení bílkovin, antibakteriální činnost, formování tráveniny a její regulované vyprazdňování do střeva

Slinivka břišní – produkce enzymů pro trávení všech živin, neutralizace kyselého pH žaludeční šťávy

Játra – produkce žluči, zvyšování rozpustnosti vylučovaných látek, vylučování odpadních látek, metabolické funkce

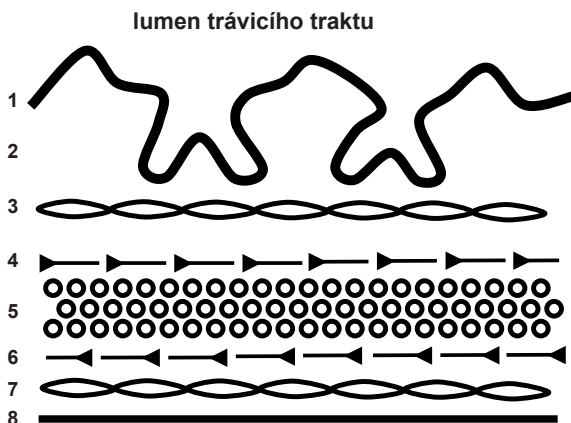
Tenké střevo – trávení všech živin, vstřebávání živin, minerálů, vody a vitaminů, imunitní funkce

Tlusté střevo – vstřebávání vody, minerálů a vitaminů, tvorba některých vitaminů, imunitní funkce

Konečník – formování a vylučování stolice

Obr. 1.1 **Struktura a základní funkce orgánů GIT:** Časové údaje v závorkách uvádějí dobu pasáže tráveniny měřenou od příjmu potravy dutinou ústní

(**mucosa**). Vnitřní povrch sliznice je pokryt epiteliálními buňkami, pod kterými se nachází vrstva slizničního vaziva (**lamina propria mucosae**) a tenká vrstvička hladké svaloviny (**lamina muscularis mucosae**). Mezi epiteliálními buňkami mohou být vmezeřeny enteroendokrinní buňky, které produkují hormony regulující činnost GIT, popřípadě i dalších orgánů. V některých částech GIT vytváří sliznice řasy nebo klky, které významně zvětšují slizniční plochu. Pod sliznicí je vrstva kolagenního vaziva (**tela submucosa**), která obsahuje bohatou síť krevních i lymfatických cév a nervovou pletěň (**plexus submucosus Meissneri**). Svalová vrstva (**tunica muscularis**) je v dutině ústní, hltanu, horní části jícnu a v oblasti análního otvoru tvořena příčně pruhovanou svalovinou. V ostatních částech trávicí trubice je svalovina hladká, která je většinou tvořena vnitřní cirkulární a zevní longitudinální vrstvou. V některých místech je cirkulární svalovina zesílena, čímž vytváří svěrač (**sfinkter**). Mezi cirkulární a longitudinální svalovinou je umístěna druhá nervová pletěň (**plexus myentericus Auerbachí**). Část trávicí trubice mimo dutinu břišní (jícen a část rektu) je kryta řídkým vazivovým obalem (**tunica adventitia**), v břišní dutině je adventicie nahrazena jednovrstevným epitelem (**tunica serosa**).



Obr. 1.2 **Stavba stěny trávicí trubice:** 1 – slizniční epitel, 2 – slizniční vazivo (lamina propria mucosae), 3 – hladká svalovina sliznice (lamina muscularis mucosae), 4 – podslizniční nervová pleteň (plexus submucosus Meissneri), 5 – cirkulární svalovina, 6 – zevní nervová pleteň (plexus myentericus Auerbachi), 7 – longitudinální svalovina, 8 – seróza (v dutině břišní) nebo adventicie (mimo dutinu břišní)

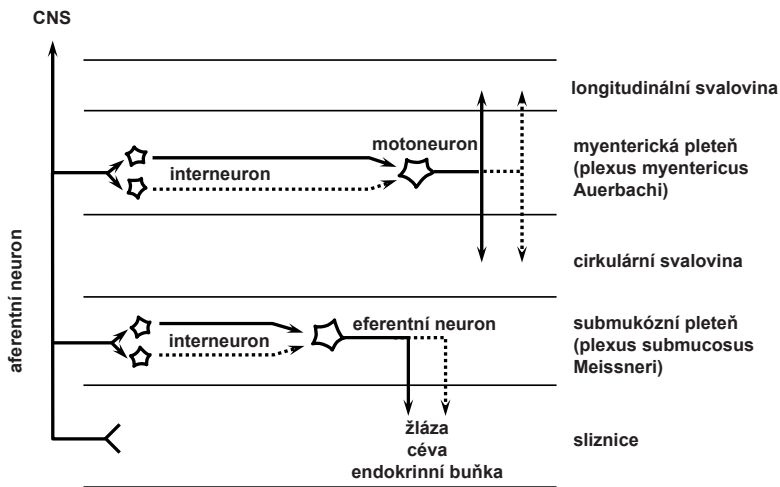
1.3 Inervace GIT

Stěna trávicí trubice obsahuje vlastní nervový systém označovaný jako **enterický nervový systém** (ENS), který je vedle sympatiku a parasympatiku součástí autonomního nervového systému. Skládá se z obrovského počtu (asi 100 milionů) nervových buněk. Neurony ENS tvoří dvě pleteně, které jsou morfologicky i funkčně propojeny a navzájem se ovlivňují:

1. Vnitřní **submukózní pleteň (plexus submucosus Meissneri)** se nachází v podslizničním vazivu a ovlivňuje zejména děje spojené se sekrecí a vstřebáváním.
2. Zevní **myenterická pleteň (plexus myentericus Auerbachi)**, která je umístěna mezi cirkulární a longitudinální hladkou svalovinou, se podílí hlavně na koordinaci motility GIT.

Obě pleteně obsahují axony aferentních neuronů, excitační a inhibiční interneurony a eferentní neurony inervující cílovou (efektorovou) tkáň.

Volná nervová zakončení aferentních neuronů ENS jsou stimulována mechanickými, chemickými, tepelnými a osmotickými vlivy. Jejich excitace vede k aktivaci interneuronů (podle typu podnětu buď excitacích, nebo inhibičních), které převádějí signál k eferentní části ENS, čímž propojují obě pleteně navzájem. Senzorické podněty jsou současně vedeny viscerosenzorickými nervy do centrálního nervového systému (CNS). Eferentní inervace ovlivňuje aktivitu cílových tkání – hladké svaloviny, sekrečně aktivních buněk, endokrinních buněk a pravděpodobně i imunitní tkáň. Pro eferentní neurony ENS je rovněž používán termín **motoneurony**. Motoneurony inervující hladkou svalovinu se stejně jako interneurony dělí na excitacní a inhibiční (obr.1.3). S ohledem na své uspořádání může činnost ENS probíhat nezávisle na inervaci vycházející z centrálního nervového systému (CNS). Pro svoji výraznou autonomii a velký počet neuronů je ENS někdy nazýván „**minimozkem**“ GIT.



Obr. 1.3 **Organizace enterického nervového systému:** Volná nervová zakončení aferentních sensorických neuronů jsou drážděna různými podněty z trávicího traktu. Podráždění je vedeno k oběma pletením enterického nervového systému a do centrálního nervového systému. Pro zjednodušení nejsou zobrazeny interneurony propojující obě nervové pleteně. Plná čára – excitacní vlákna, tečkovaná čára – inhibiční vlákna

Reflexní odpověď zprostředkovaná výhradně ENS je označovaná jako **místní reflex** (nazývaný též **lokální** nebo **krátký**). Informace o podráždění receptorů mohou být rovněž vedeny aferentními vlákny do míchy či mozkového kmene, kde se přepojují na těla pregangliových sympatických či parasympatických neuronů. Eferentní autonomní vlákna poté regulují činnost GIT. Tento typ reflexní odpovědi, koordinovaný na úrovni CNS, je označován jako **dlouhý reflex**.

Parasympatická inervace GIT je tvořena hlavovými nervy n. VII. (n. facialis), n. IX. (n. glossopharyngeus) a n. X. (n. vagus) a pánevními nervy (nn. pelvici z míšních segmentů S₂–S₄). Nn. VII. a IX. se podílejí na inervaci slinných žláz, n. X. inervuje trávicí trubici od jícnu po slezinné ohbí tlustého střeva, zbytek tlustého střeva až ke konečníku je inervován vlákny nn. pelvici. Pregangliová parasympatická vlákna se většinou přepojují na úrovni ENS a postgangliová vlákna jsou součástí jedné z enterických pletení.

Sympatická inervace GIT vychází z míšních segmentů Th₅–L₂. Většina pregangliových sympatických vláken prochází sympatickými ganglii truncus sympatikus bez připojení a přepojuje se až v některém z prevertebrální ganglii (**ganglion coeliacum**, **ganglion mesentericum superius et inferius**). Postgangliová sympatická vlákna inervující GIT končí většinou na neuronech ENS, méně často na buňkách cílové tkáně. Sympatikus, na rozdíl od parasympatiky, působí na činnost GIT spíše nepřímou, tím, že ovlivňuje aktivitu ENS.

Parasympatikus má obecně stimulační vliv na sekreci a motilitu GIT, sympatikus má účinky opačné. Výjimku tvoří sfinktery, jejichž svalový tonus je zvyšován sympatikem a snižován parasympatikem. Vzájemné propojení enterického, sympatického a parasympatického nervového systému je zobrazeno na obr. 1.4.

Dříve se soudilo, že se na přenosu nervového vzruchu v ENS podílejí pouze klasické přenašeče autonomního nervstva – **acetylcholin** a **noradrenalin**. Později byly v ENS objeveny neurony, které komunikují i pomocí jiných nervových přenašečů a tyto neurony byly označeny jako **neadrenergní necholinergní**. Zdroj a funkce některých přenašečů ENS jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Funkce GIT jsou samozřejmě modulovány i z vyšších center CNS. Příkladem může být vliv silných emocí (každý už asi zažil, jak strach před těžkou zkouškou ovlivní činnost GIT), smyslových podnětů (vůně jídla či pohled na něj zvyšuje sekreci trávicích šťáv) apod.

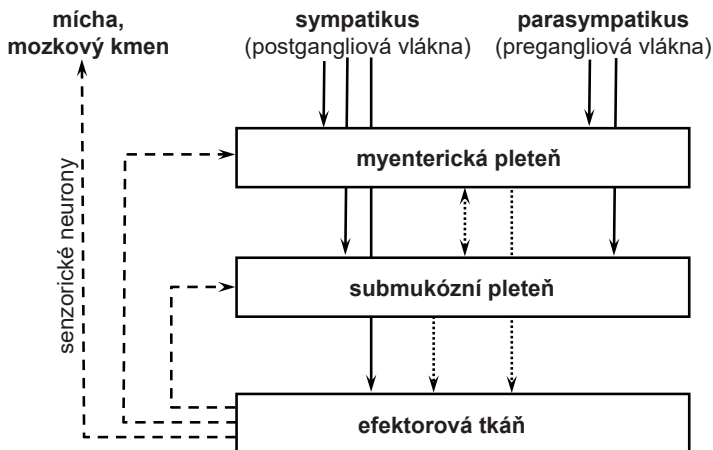
Tab. 1.1 Lokalizace a funkce některých nervových přenašečů ovlivňujících činnost enterického nervového systému

Přenašeč	Lokalizace	Funkce v GIT
Acetylcholin	pregangliová a postgangliová vlákna parasymptiku, pregangliová vlákna sympatiku	kontrakce hladké svaloviny, snížený tonus svěračů, zvýšená sekrece šťáv, stimulace některých endokrinních buněk v GIT
ATP	inhibiční motoneurony ENS	relaxace hladké svaloviny
CCK	některé neurony ENS v distální části tenkého střeva a tračníku	kontrakce hladké svaloviny
GRP	postgangliová vlákna n. vagus	stimulace sekreční aktivity G-buněk produkujících gastrin
NPY	postgangliová vlákna sympatiku	útlum sekrece některých žlázových buněk
NO	inhibiční motoneurony ENS	relaxace hladké svaloviny
Noradrenalin	postgangliová vlákna sympatiku	relaxace hladké svaloviny, zvýšený tonus svěračů, snížená sekrece šťáv, vazokonstrikce ve střevě
Serotonin	excitační interneurony ENS	kontrakce hladké svaloviny, sekrece vody a iontů
VIP	inhibiční motoneurony ENS	relaxace hladké svaloviny, stimulace střevní sekrece, vazodilatace

ATP – adenosintrifosfát, CCK – cholecystokinin, GRP – peptid uvolňující gastrin, NPY – neuropeptid Y, NO – oxid dusnatý, VIP – vazoaktivní intestinální polypeptid, ENS – enterický nervový systém, GIT – gastrointestinální trakt

1.4 Cévní zásobení GIT

Arteriální krev je do orgánů dutiny břišní přiváděna větvemi břišní aorty. **Truncus coeliacus** zásobuje žaludek, slinivku břišní a slezinu, **a. mesenteria superior et inferior** zásobuje celé střevo, částečně také žaludek a slinivku břišní. Větvě mesenterických arterií zásobující střevo jsou arkádovitě uspořádány, čímž vytvářejí kolaterály mezi sousedními tepnami. Kolaterální uspořádání střevních arterií může do jisté míry zabránit ischemizaci střeva při uzávěru menší tepny. Venózní krev je z trávicího traktu odváděna do **v. portae**.



Obr. 1.4 **Inervace trávicí trubice:** Přerušovaná čára – aferentní senzoričká vlákna, plná čára – sympatická a parasympatická vlákna, tečkovaná čára – enterická nervová pleteň

Část krve z jícnu a konečniku je odváděna do **v. cava superior**, resp. **inferior**. Oba žilní systémy (portální a kavální) jsou v oblasti jícnu a konečniku propojeny cévními spojkami – jedná se o tzv. **portokavální anastomózy**.

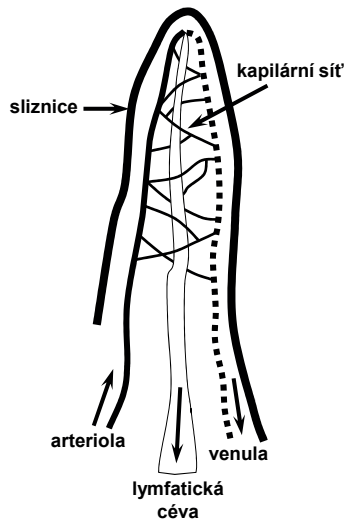
Při městnání krve v portálním systému (portální hypertenzi), např. při jaterní cirhóze, odtéká krev přednostně do dutých žil. Při dlouhodobé portální hypertenzi dochází k rozšíření portokaválních anastomóz. Tímto způsobem vznikají v oblasti jícnu a konečniku cévní abnormality (jícnové varixy a rektální hemeroidy), které se mohou stát zdrojem nebezpečného krvácení.

Cévní zásobení sliznice a podslizničního vaziva je morfologicky i funkčně odděleno od cévního zásobení hladké svaloviny. Množství protékající krve se tak může přizpůsobit aktuálním potřebám jednotlivých vrstev. Při zvýšené sekreci slizničních žlázek dochází ke zvýšení průtoku sliznicí a podslizničním vazivem, při kontrakci se zvyšuje průtok hladkou svalovinou. Krevní průtok trávicí trubici se výrazně zvyšuje po jídle, kdy dosahuje asi osminásobku klidové hodnoty (naměřené v období lačnění). Hovoří se o tzv. **postprandiální hyperémii**, která může přetrvávat několik hodin po

jídle. Postprandiální hyperémie není rovnoměrná v celém průběhu trávicí trubice. Množství protékající krve jednotlivými úseky GIT závisí na jejich momentální aktivitě a úzce koreluje s úrovní metabolismu dané části trávicí trubice.

*Přesun většího objemu krve do GIT po jídle může vést u některých jedinců (zejména u starších, chronicky nemocných pacientů) k výraznému poklesu krevního tlaku – **postprandiální hypotenzi**. Ta se projevuje například závratí, mdlobou, nevolností, slabostí, únavou.*

Poměrně velká plocha sliznice GIT, zejména v tenkém střevě, je vybavena prstovitými výběžky – **klky** se zvláštním způsobem cévního zásobení. Do každého klku vstupuje arteriola, která dosahuje vrcholu klku a ve svém průběhu se rozpadá na kapilární síť. Krev je z kapilární sítě odváděna venulou, která rovněž probíhá celým klkem, avšak směr toku venózní krve je opačný než v arteriole (obr. 1.5). Toto **protiproudové uspořádání** cév umožňuje výměnu látek v kapilárách v celém průběhu klku. V době, kdy neprobíhá vstřebávání látek ze střeva, teče krev přednostně arteriolo-venózní anastomózou a průtok krve kapilární sítí klesá. Centrem klku probíhá lymfatická kapilára, do které se vstřebávají lipofilní látky (viz obr. 1.5).



Obr. 1.5 Cévní a lymfatické zásobení klků střevní sliznice: Plná čára – arteriální krev, tečkovaná čára – žilní krev. Šipky označují směr toku krve nebo lymfy

Jak již bylo zmíněno dříve, velikost krevního průtoku je závislá na momentální aktivitě GIT a je maximálně přizpůsobena metabolickým nárokům jeho jednotlivých etází. Na regulaci krevního průtoku se podílejí různé mechanismy:

1. **Autoregulace** – aktivní tkáň spotřebovává kyslík a uvolňuje látky s vazodilatačním účinkem (CO_2 , adenosin aj.). Lokální hypoxie a zvýšená koncentrace vazodilatačních metabolitů zvyšují průtok krve v pracující oblasti (více viz fyziologie krevního oběhu).
2. **Nervová regulace** – cévy trávicího traktu se vyznačují převahou α_1 -adrenergních receptorů, jejichž stimulace katecholaminy (adrenalin a noradrenalin) vede k vazokonstrikci. Parasympatikus má povšechně stimulační efekt na činnost GIT, čímž zvyšuje nároky aktivních tkání na kyslík a tím nepřímo (mechanismem autoregulace) i velikost krevního průtoku orgány GIT. Některé cholinergní nervy obsahují **vazoaktivní intestinální polypeptid (VIP)**, který má přímé vazodilatační účinky.
3. **Humorální regulace** – endokrinní buňky trávicího traktu jsou zdrojem hormonů, z nichž některé mají vazoaktivní účinky. Vazodilataci ve sliznici GIT způsobuje například **gastrin**, **sekretin** či **cholecystokinin (CCK)**. Epiteliální buňky GIT uvolňují **kininy** (bradykinin a kallidin), které působí rovněž vazodilatačně.

1.5 Imunitní systém GIT

Sliznice GIT tvoří největší plochu, na které přichází organismus do kontaktu s látkami ze zevního prostředí. Z tohoto důvodu je GIT dobře vybaven lymfatickou tkání a velkým množstvím imunitních buněk, souhrnně označovaných jako lymfatická tkáň spojená se střevem (**GALT, gut-associated lymphoid tissue**). GALT se skládá z **Peyerových plaků** a difúzně rozptýlených imunitních buněk. Peyerovy plaky jsou uzlíky lymfatické tkáně lokalizované zejména ve sliznici tenkého střeva. Imunitní buňky zahrnují T-lymfocyty nacházející se mezi epiteliálními buňkami sliznice, dále B-lymfocyty, plazmatické buňky a žírné buňky lokalizované v lamina propria sliznice. Pro činnost obou složek GALT je nezbytná přítomnost membránových buněk (**M-buňky**) na povrchu střevní sliznice, které transportují makromolekuly z lumenu střeva k lymfatické tkáni. M-buňky tedy zabezpečují přenos potenciálních antigenů k imunitním strukturám.

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Fyziologie gastrointestinálního traktu***.
Pokud se Vám ukáзка líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.