

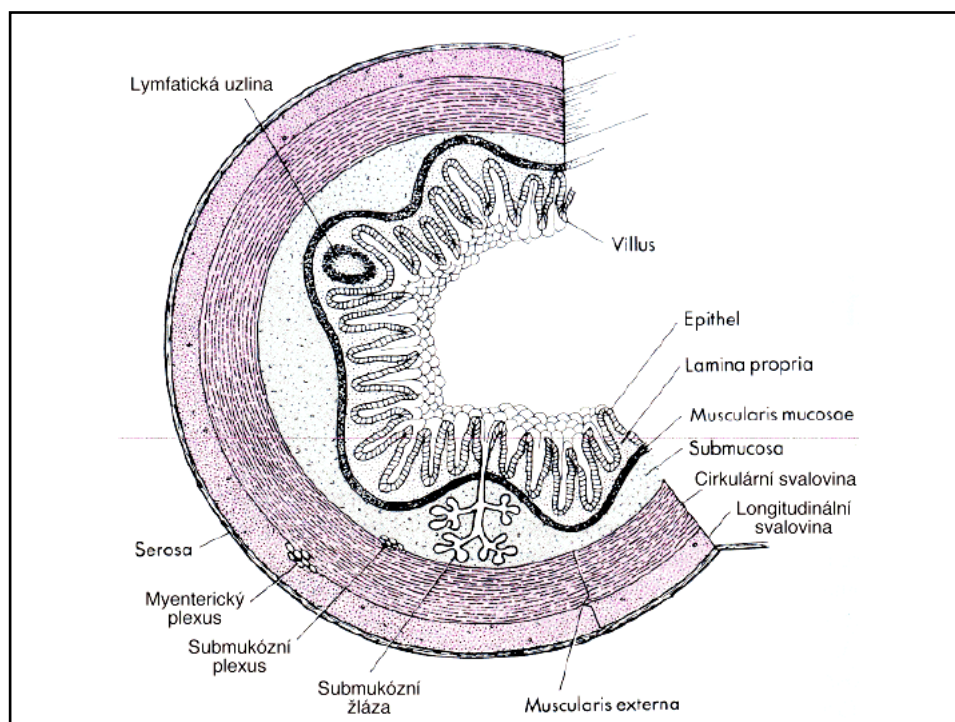
# Motilita trávicího traktu

vaclav.hampl@lf2.cuni.cz

<http://fyziologie.lf2.cuni.cz/>

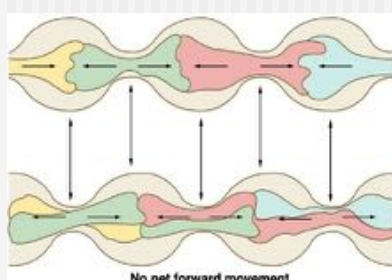


1



3

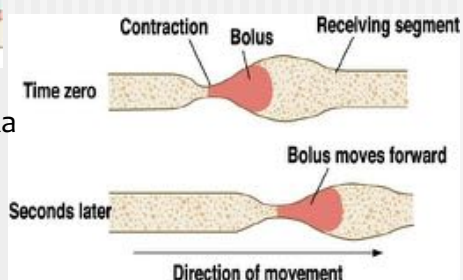
## Typy pohybu



1. mísící

2. peristaltika

3. rezervoár



4

## Řízení motility

- Nervy
  - **Enterický nervový systém (ENS)**
  - parasympatikus, sympatikus
  - část. i somatické motoneurony
- Hormony
  - tvořené v GIT
    - gastrin, sekretin, cholecystokinin, motilin,...
  - část. i ostatní
    - např. glukokortikoidy a katecholaminy při stresu

6

## Řízení motility

- Působky GI imunitního systému
  - má nejmíň tolik buněk jako imunitní systém zbytku těla
- Žírné buňky
- Histamin, PGs, LTs, cytokiny,...

7

## Enterický nervový systém

- Anatomie 19. stol.  
~ přepojovací ganglia
- Bayliss, Starling 1899:  
peristaltický reflex,  
i po denervaci  
denervace ostatních orgánů je  
zastavuje
- Dnes:
  - ENS je autonomní komplexní systém
  - neurogastroenterologie



8

## Enterický nervový systém

- Řídí řadu funkcí GIT i bez vnější inervace (ta jen moduluje)
  - motilita
  - sekrece
  - spolupráce s imunitním systémem na obraně
  - regulace růstu

11

## ENS

- $\sim 10^8$  neuronů
  - ☞  $1/1000$  mozku
  - ☞  $>$  mícha
- ne distinktní nervosvalová spojení (nervová zakončení volně rozprostřená mezi SMC)
- inervuje i cévy (hl. vazodilatace) a okolní orgány (moč. měchýř, pankreas)
- asi fylogeneticky starší než CNS (jídlo bylo potřeba před lokomocí)

12

## ENS a CNS: podobnosti

- Glie (podobné astrocytům v CNS)
- Všechny neurotransmittery dosud známé z CNS:
  - excitační motoneurony: hl. ACh (muskarinní receptory na SMC)
  - inhibiční motoneurony: VIP a NO
  - interneurony: hl. ACh (nikotinové receptory na cílových neuronech) a GABA
  - serotonin (5-HT; 95 % všeho)

13

## ENS a CNS: podobnosti

Podobná citlivost k toxinům, lékům a chorobám

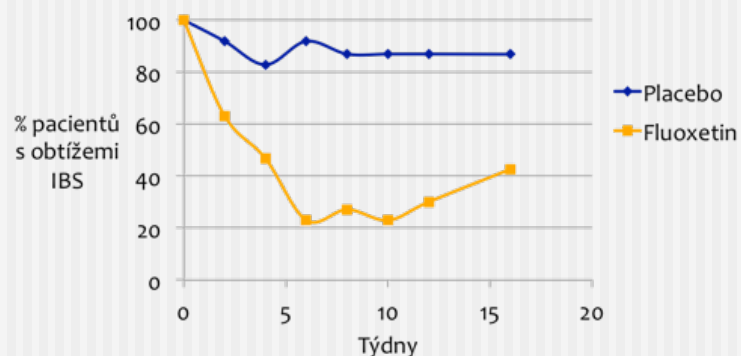
- Antidepresiva: ↓ 5-HT re-uptake v mozku i v ENS - nausea, průjem, posléze zácpy (desensitizace)
  - lze využít pro zklidnění GIT (ENS citlivější než CNS)
- Lewyho tělíska (Parkinsonova choroba) a amyloidní plaky a neurofibrilární shluky (Alzheimerova choroba) i ve střevě (diagnostika rektální biopsií?)
- I proto GI a psychické obtíže často koexistují

14

## Antidepresivum fluoxetin (Prozac)



Selectivní inhibitory reuptaku serotoninu (SSRI)



VAHEDI et al: The effect of fluoxetine in patients with pain and constipation-predominant irritable bowel syndrome: a double-blind randomized-controlled study. *Aliment. Pharmacol. Therap.* 2005

15

## ENS a CNS: podobnosti

### Schopnost „učení“

- Hirschsprungova choroba - geneticky podmíněná absence nervů v nejdistanější části GIT - nemožnost defekace
- do 18 měsíců po odoperování defektní části se "naučí" defekovat ke konečníku přišitá proximálnější část střeva, která to předtím neuměla

17

## ENS a CNS: komunikace

- ~10x víc AP ENS → CNS než CNS → ENS
- např. žaludeční vředy:
  - dříve: psychosomatické (psychika → GI)
  - dnes: spíše obráceně - primární je *Helicobacter pylori*, psychický diskomfort důsledkem iritace ENS (GI → psychika)
- aferentace z ENS do CNS může působit antidepressivně, podporovat učení (nálada při hladu x po dobrém jídle)

18

## Lokální reflexy ENS

- senzorický neuron v ENS
  - mechano-
  - chemo-
  - termo-
  - noci-
- interneuron(y) v ENS
- eferentní neuron v ENS

např. peristaltický reflex

19

## Vegetativní inervace

- Hl. pro koordinaci odlehlých částí
  - např. gastrokolický reflex:  
naplnění žaludku → ↑ aktivita tlustého střeva
- Sympatikus
- Parasympatikus

21

## Vegetativní inervace: Parasympatikus

- Po příčný tračník větve vagu,  
zbytek pánevní nervy
- Pregangliová převážně cholinergní vlákna
- Neinervují přímo hladké svaly,  
nýbrž neurony ENS
- Většinou stimuluje motilitu a sekreci

22



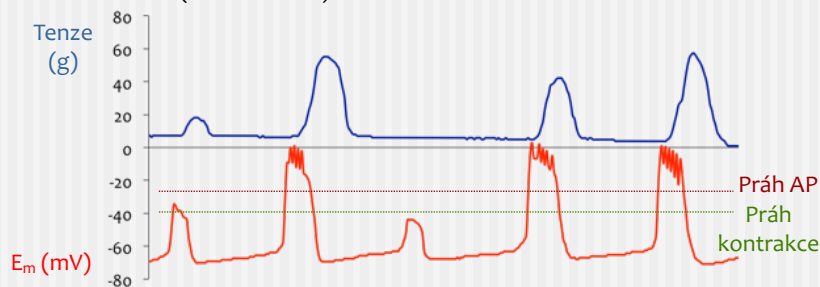
## Vegetativní inervace: Sympatikus

- Postgangliová adrenergní vlákna z prevertebrálních a paravertebrálních ganglií
- Neinervují přímo hladké svaly, nýbrž
  - neurony ENS, ty zprostředkují vliv na svaly
  - cévní hladké svaly (vazokonstrikce)
  - žlázy
- Většinou tlumí motilitu, zvyšuje tonus některých svěračů

23

## Pomalé vlny $E_m$ v SMC (bazální elektrický rytmus, BER)

- ~3/min v žaludku, 12/min v duodenu
- Snadno se šíří elektrickými spoji  
→ synchronizace pohybu segmentů GIT
- Od spontánní aktivity např. v srdci se BER liší:
  - nižší frekvenci (max ~40/min, typicky 3-12/min)
  - nižší amplitudou (nepřestřelují přes 0 mV)
  - delším trváním (mnoho sekund)



24

## BER generují intersticiální (Cajalovy) buňky

- Vlastnosti hladkého svalu i fibroblastu
- Mezi 2 vrstvami svaloviny
- Gap junctions se svaly obou vrstev a spolu navzájem - šíření depolarizace
- Těsné synapse s neurony (zprostředkování vlivu ENS na svaly)
- Oddělená aktivita různých částí GIT: diskontinuita intersticiálních buněk

26

## Žvýkání

- Vědomé i nevědomé  
(polykání na prázdnou i v lehčích fázích spánku)
- Funkce:
  - z velkých kusů malé (5-15 ml)
  - lubrikace
  - amyláza (začátek trávení škrobu)
- U člověka není výživa ohrožena ani při podstatném úbytku zubní plochy
- Může generovat sílu až 50-80 kg (!) na molárech

29

## Polykání: stavba reflexu

- aferentní část: dotykové receptory hl. ve vstupu do faryngu
- polykací centrum v medule a dolním mostu
  - snadno narušeno při postižení CNS (mrtvice,...)
- eferentní část:
  - hlavovými nervy do faryngu a začátku jícnu
  - vagem do zbytku
  - do dýchacího centra
- Ale x vagu ihned evokuje alternativní cesty peristaltiky (ENS, myogenní mechanismy)

30

## Polykání: orální fáze

- volní
- častěji reflexně podrážděním faryngu slinami nebo soustem (asi 1000x denně, i ve spánku)
- jazyk posune tlakem proti tvrdému patru jídlo do začátku faryngu

31

## Polykání: faryngeální fáze

- <1 sec
- reflexní, aktivace mech. podrážděním
- měkké patro ↑, uzavře vstup do nosu
- hlasivky k sobě, larynx ↑ (uzavření hrtanové příklopky)
- ↓ dýchání
- krátká relaxace horního jícnového svěrače (po průchodu sousta se reflexně zavírá)
- kontrakce začátku jícnu (kosterní svaly)
- iniciace peristaltické vlny

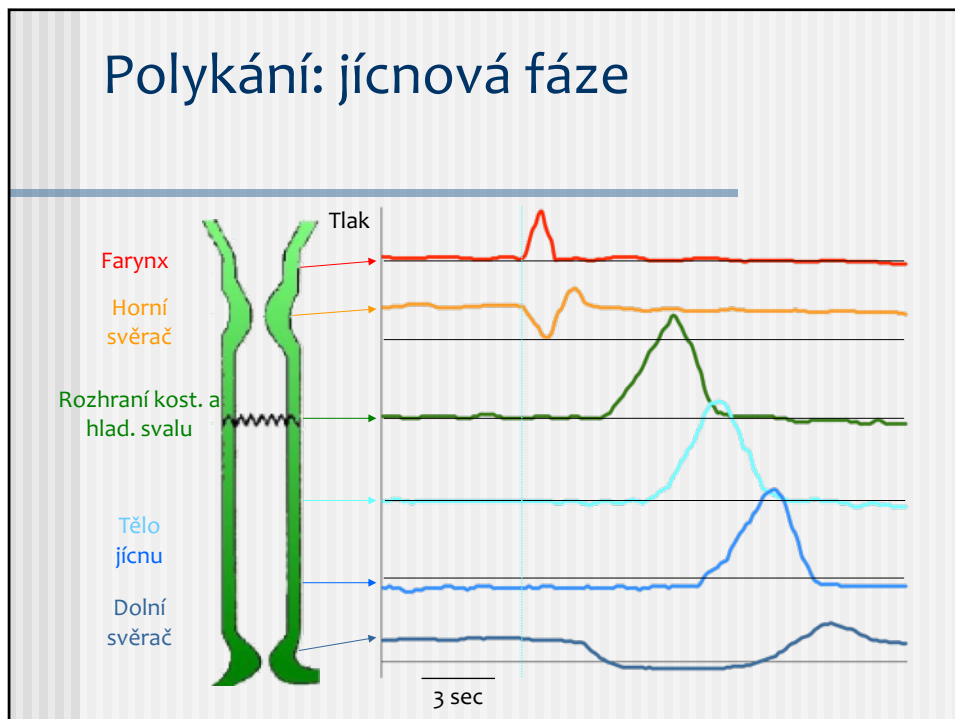
32

## Polykání: esofageální fáze

- Horní ~1/3 esofagu = kosterní svalovina (longitudinální i cirkulární vrstva)
- Pak "gradient" kosterní -> hladký
- Poslední ~1/3 = hladký sval
- Kosterní i hladký: inervace vagem
  - u kosterního končí vagová vlákna nervosvalovými ploténkami (myenterický plexus jen senzor. fce)
  - vagová vlákna do části z hl. svalu končí u neuronů ENS
- primární peristaltická vlna 3-4 cm/s (6-8 s)
- pokud nestačí → sekundární peristaltická vlna (reflex z distenze esofagu)

33

## Polykání: jícnová fáze



36

## Esofageální reflux

- Dolní svěrač se občas otevře i mimo polykání (tzv. fyziologický reflux)
- Když to dělá moc → esophagitis (“pálení žáhy”)
- Tlak v esofagu ~ nitrohruční < nitrobřišní
  - využívá se pro měření intrapleurálního tlaku
  - napomáhá refluxu
- Jícen prochází bránicí v úrovni dolního svěrače → kontrakce bránice pomáhá zavření svěrače - nefunguje při brániční kýle

39

## Žaludek - stavba

---

- Cirkulární svalovina se ztlušťuje směrem k antru
- Longitudinální prakticky chybí v horní třetině
- Šikmá jen v dolní polovině

41

## Žaludek - funkce

---

- Rezervoár
- Rozmělnění
- Promíchání s žaludečními sekrety
- **Plynulé plnění střeva**

42

## Žaludek - rezervoár

- Hl. fundus a tělo
  - slabé kontrakce - minimální promíchávání po dlouhou dobu
  - slabá vrstva svaloviny
- Prázdný objem 50 ml, tlak ~ 5 torr
- Objem může ↑ až na ~ 4 l
- Tlak ↑ až při ↑ objemu o >1-1.5 l
  - receptivní relaxace  
(vago-vagový reflex, tj aferentace od receptorů natažení vagem do CNS [asi do stejné oblasti jako polykání] a eferentace k hladkému svalu taky vagem)

43

## Žaludek - rezervoár

- chymus se usazuje do vrstev podle hustoty, velké kusy odchází poslední
- tuky tvoří film na povrchu, proto se tráví poslední
- tekutiny "předbíhají"

44

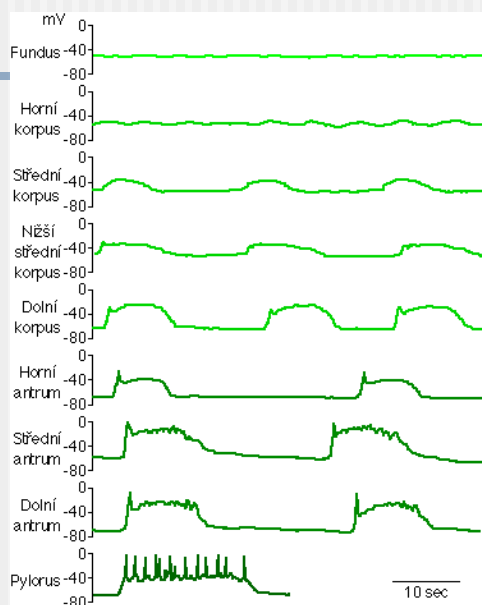
## Žaludek - rozmělnění a promíchání se sekrety

- Peristaltika antra
  - začíná blízko středu těla (shluk intersticiálních buněk)
  - zesiluje a zrychluje se směrem k antru
- Retropulze
  - silné kontrakce konce antra proti směru peristaltické vlny
  - propasírovává chymus zpátky do žaludku zúženinou tvořenou peristaltickou vlnou

46

## Elektrická aktivita žaludku

- pomalé vlny (BER) se šíří z pacemakerové zóny asi uprostřed těla
- BER ↑ směrem k antru
- jen v antru amplituda BER > práh pro AP
- tvar podobný AP v srdci, ale 10x delší



47



## Žaludek - plnění střeva

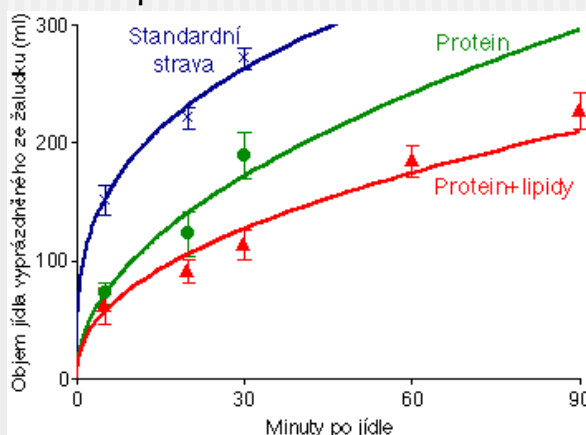
- plynulé zpracování duodenem (i přes nárazovitý charakter jedení)
- proti poškození duodena kyselinou
- Silné kontrakce antra (silná svalovina, střední šikmá vrstva) proti skoro uzavřenému pyloru (brání regurgitaci - žluč může poškodit žaludeční stěnu)
- Vyprázdnění žaludku ~ 3 hodiny

48

## Vyprazdňování žaludku závisí na složení potravy

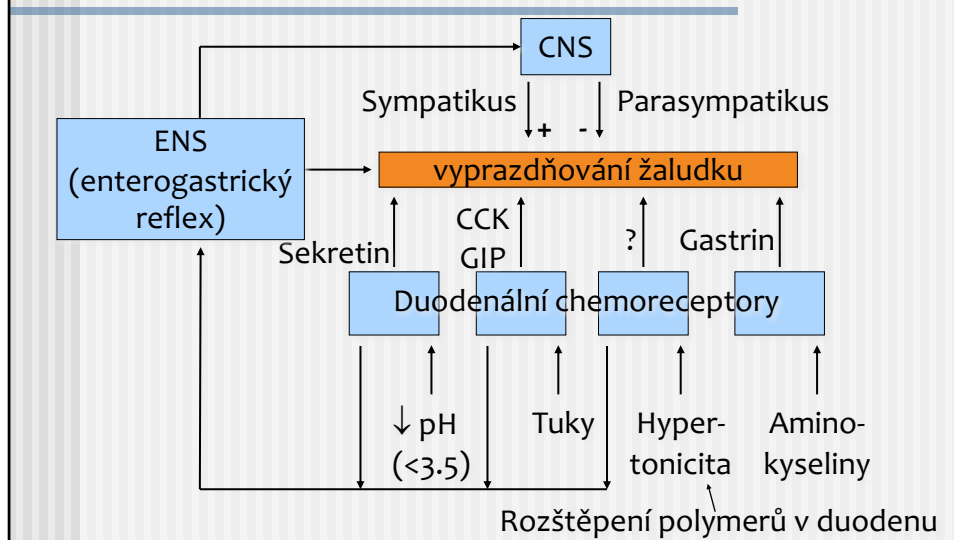
Střevo různě rychle tráví různé živiny a podle toho si "diktuje", jak rychle se bude plnit

Proto tučné pomáhá proti opilosti (tuk v žaludku déle, zdrží tam alkohol, ten se v žaludku resorbuje pomaleji než ve střevě)



49

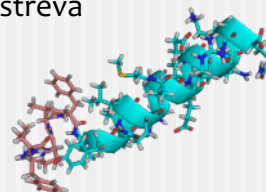
## Regulace vyprazdňování žaludku



50

## Migrující myoelektrický komplex (MMC; hladové vlny)

- Prázdný žaludek ~75-90 min v klidu, pak 5-10 min intenzivních kontrakcí antra při relaxovaném pyloru
- Odstraňuje nedotrávené zbytky (i velké kusy)
- Stimuluje ho motilin
  - polypeptidový (22 AA) hormon z tenkého střeva
  - produkován při hladovění, možná stimulace vysokým pH v duodenu?



54

## Zvracení (emesis)

- Obvykle předchází nausea, někdy anorexie, autonomní reakce (salivace, pocení, studená kůže, závratě,...)
- Zvracecí centrum v prodloužené míše (u kardiiovaskulárního a respiračního centra)
- Mechanické podněty (distenze), zranění, bolest
- Žaludek/duodenum, vchod do laryngu, vnitřní ucho
- Emetika (chemoreceptory v žaludku/duodenu nebo na dně 4. komory)

55

## Zvracení

- Reversní peristaltika od prostředku tenkého střeva po larynx
- Usilovný nádech proti zavřené glottis -  
↓ nitrohrudní tlak, ↑ nitrobřišní (bránice)
- Silná kontrakce břišních svalů a bránice
- Relaxace a pak zavření pyloru, relaxace dolního a nakonec horního svěrače esofagu (zavření glottis, inhibice dýchání)
- Ochranný reflex proti toxicitě, ale dlouhodobější zvracení -> metabolická alkalóza, dehydratace

56

## Tenké střevo

- Duodenum prvních 5% délky, jejunum dalších 40, zbytek ileum
- Většina trávení v duodenu a jejunu, bez ilea se lze obejít
- Peristaltika jen v kratších částech střeva najednou (~10 cm) (kromě MMC)

57

## Tenké střevo: segmentace

- Střídající se lokalizované kontrakce cirkulární svaloviny
- Promíchává chymus se střevní šťávou, kontakt se střevní stěnou
- Frekvence daná BER (~11-13/min v duodenu, 8-9 na konci ilea)
- BER probíhá po celé délce, ale AP jen lokalizovaně - tam segmentační kontrakce
- BER nezávislý na inervaci, kontraktilita ↑ parasympatikem, ↓ sympatikem (přes ENS)

58

## Intestinální reflexy

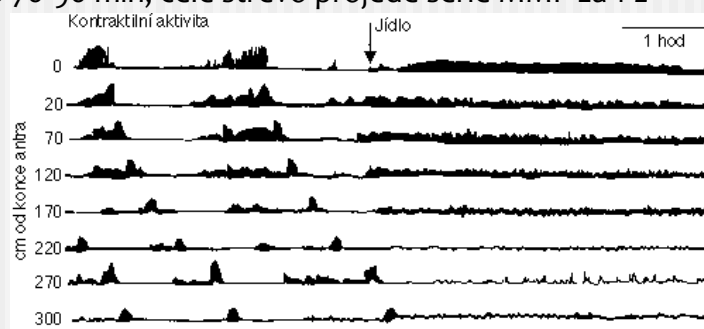
- Lokální (např. peristaltický reflex)
  - jen ENS
- Zprostředkované ENS i zevní inervací:
  - Intestinointestinální reflex - přílišná distenze části střeva relaxuje zbytek
  - Gastroileální reflex - ↑ aktivita žaludku  
→ ↑ pohyb chymy ileocékálním svěračem
  - Ileogastrický reflex - ↓ motility žaludku vyvolané distenzí ilea

59

## MMC při hladu

- Podobně jako v žaludku, odkud postupně až na konec tenkého střeva
- Segmentace ustávají
- Peristaltické vlny zahrnují ~70 cm střeva
- Opakuje se po 70-90 min, celé střevo projede série MMP za 1-2 hod

"Vymetá"  
nevstřebané  
zbytky a brání  
migraci  
bakterií z  
tlustého do  
tenkého střeva



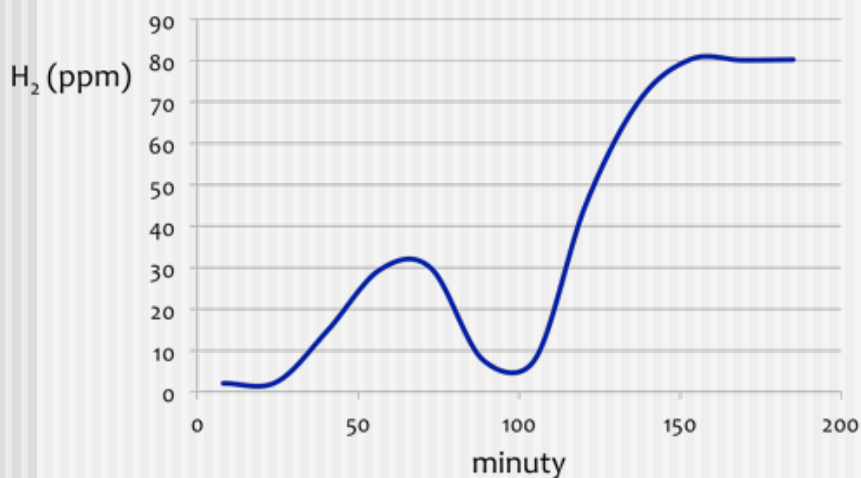
60

## Slabé MMC

- bakterie zůstávají v tenkém střevě → přibývá jich (hodně živin)
- uvolňují vodík (jiný zdroj u člověka není)
- dělají to jen když mají k dispozici nestrávené cukry (ty v tlustém střevě normálně nejsou)
- víc  $H_2$ :
  - buď nestrávený cukr v tlustém střevě (např. laktózová intolerance, zrychlená pasáž)
  - nebo bakterie jdou cukrům „naproti“ do ilea
- část do krve, odtud do dechu, tam lze měřit

61

## Test $H_2$ v dechu (laktulosový test)



62

## Kontrakce muscularis mucosae

- Mění tvar rýh a záhybů mukózy, kontrahuje villi ("dojení" produktů trávení do lymfatických cest), "mávání" klků
- Lepší kontakt chymu se sliznicí, promíchávání
- Napomáhá toku lymfy

63

## Vyprazdňování ilea

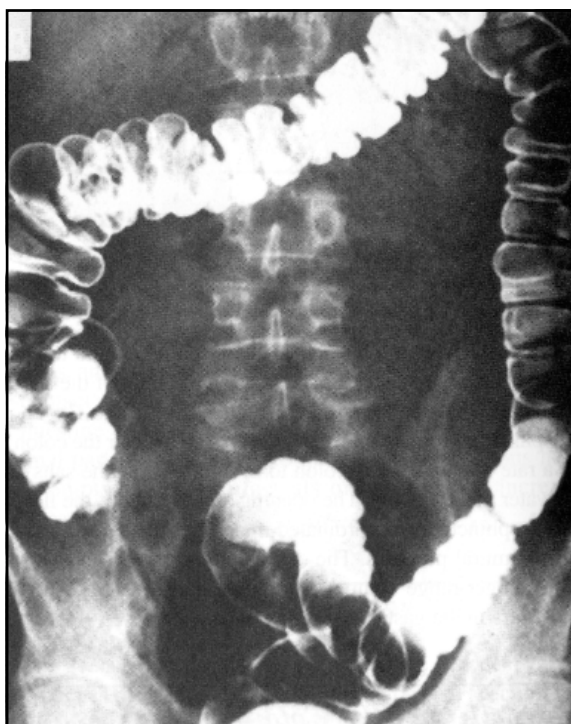
- Ileocékální svěrač (chlopeň) je normálně zavřený (m.j. kvůli bakteriím)
- Otvírá ho (lokální reflex) distenze konce ilea
- Zavírá ho (lokální reflex) distenze začátku tlustého střeva

64

## Tlusté střevo

- Hl. funkce:
  - absorpce vody a iontů (do trávení se investovalo cca 20 l vody/d)
  - skladování nepotřebných zbytků (typicky 15-30 hod, ale až 30% zde může zůstat třeba týden)
- Proto hlavně promíchávání, jen asi 5% peristaltika
- Se zahušťováním je promíchávání obtížnější
- Haustrace, kývavé pohyby, hromadný pohyb

65



### Haustrace

- Jako segmentace, ale výraznější a v anatomicky předdefinovaných místech cirkulární svaloviny
- Řízeno BER z intersticiálních buněk (~6/min)
- Většinou ne AP
- Zesilování kontrakcí (např. ACh) prodlužováním amplitudy BER

66



## Kývavé pohyby tlustého střeva

- Longitudinální svalovina, promíchávání
- Řízeno tzv. myenterickými potenciálovými oscilacemi (nižší amplituda a vyšší frekvence než pomalé vlny)
- Na jejich vrcholu AP, ty vyvolávají kontrakci
- Zesilování kontrakcí zvyšováním frekvence AP (např. ACh)

67

## Motilita tlustého střeva

- **Hromadný pohyb:** 1-3x/den (obvykle po jídle) vlna velmi silné kontrakce od posune obsah na delší vzdálenost (většina tlustého střeva), colon zůstává chvíli kontrahovaný
- Celkový pohyb je pomalý (max 5-10 cm/hod)
- Kontrolováno ENS, sympatikus brzdí pohyb, parasympatikus stimuluje haustrace proximální části a expulzivní pohyby distální části

68

## Reflexy tlustého střeva

- Kolono-kolický - distenze jednoho místa relaxuje zbytek (částečně sympatikus)
- Gastro-kolický - naplnění žaludku zvyšuje frekvenci masových pohybů (sympatikus a parasympatikus, CCK, gastrin)
- Podobně duodeno-kolický

69

## Rektum a anální kanál

- Rektum obvykle (skoro) prázdné (retrográdní kontrakce vrací obsah do sigmoidea, dokud ho není příliš)
- Těsně před defekací hromadný pohyb sigmoidea naplní rektum → ↑ tlak → reflexní relaxace vnitřního svěrače (hladký sval) a kontrakce vnějšího (kosterní sval ovládaný volně přes pudendální nervy)
- Receptory natažení rektální stěny se umí adaptovat - nucení na stoličnici může při potlačení dočasně ustoupit

72

## Defekace

- Reflex řízený ze sakrální míchy, modulovaný z vyšších úrovní (vědomí)
- Efferentní část - ACh parasympatická vlákna v pelvických nervech
- Vysoce propulsivní kontrakce colon descendens a sigmoideum
- Relaxace obou svěračů (zevní volní)
- Nádech posunuje bránici dolů
- Kontrakce expiračních svalů při plných plicích a kontrakce břišních svalů zvyšují nitrobřišní tlak (až na 200 mmHg)