

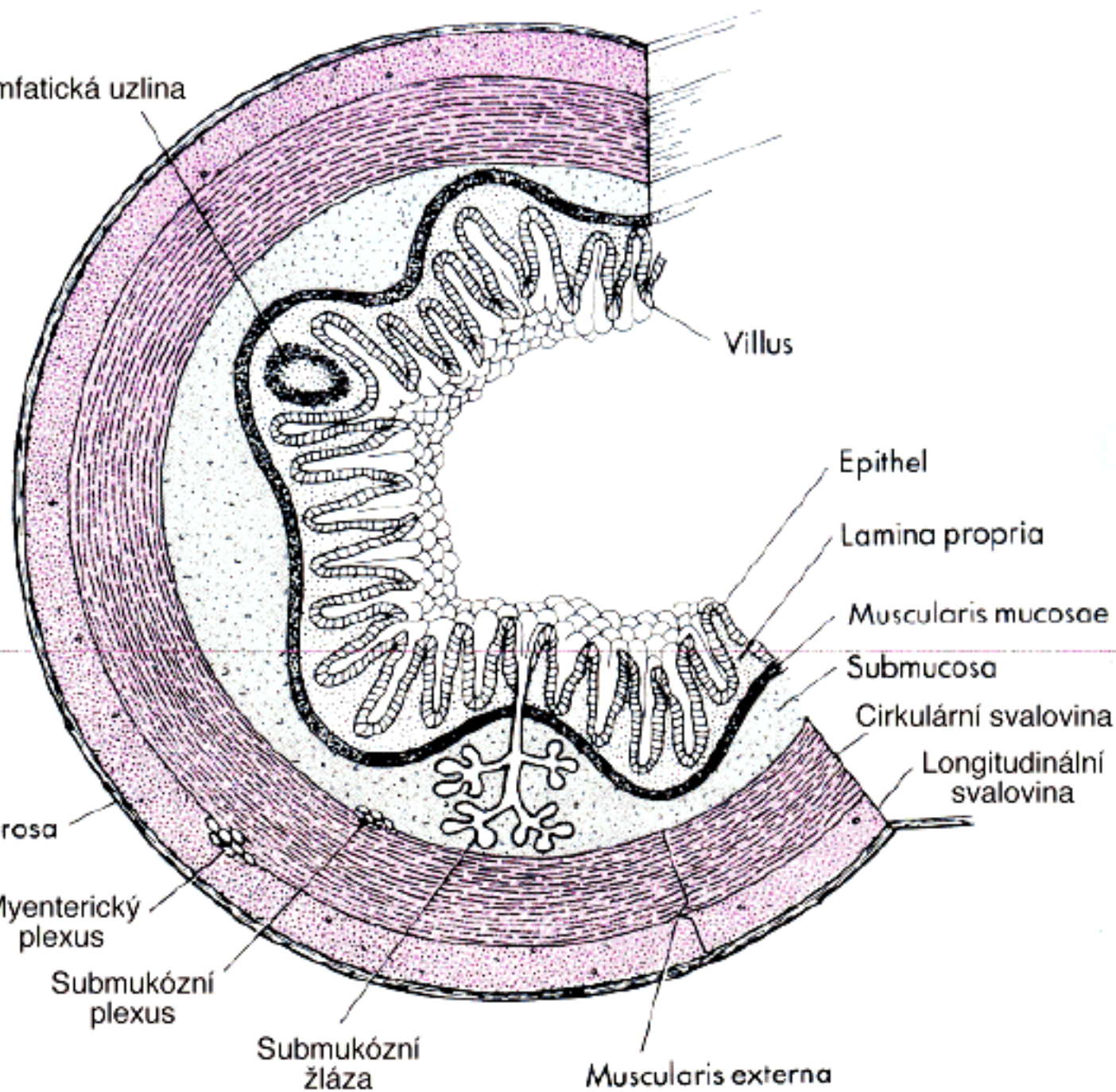
Motilita trávicího traktu

vaclav.hampel@lf2.cuni.cz

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



Lymfatická uzlina



Villus

Epithel

Lamina propria

Muscularis mucosae

Submucosa

Cirkulární svalovina

Longitudinální
svalovina

Serosa

Myenterický
plexus

Submukózní
plexus

Submukózní
žláza

Muscularis externa

Řízení motility

- Nervy

- ☐ Enterický nervový systém (ENS)

- ☐ sympatikus, parasympatikus

- ☐ část. i somatické motoneurony

- Hormony

- ☐ tvořené v GIT

- gastrin, sekretin, cholecystokinin,...

- ☐ část. i ostatní

- např. glukokortikoidy a katecholaminy při stresu

Řízení motility

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

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

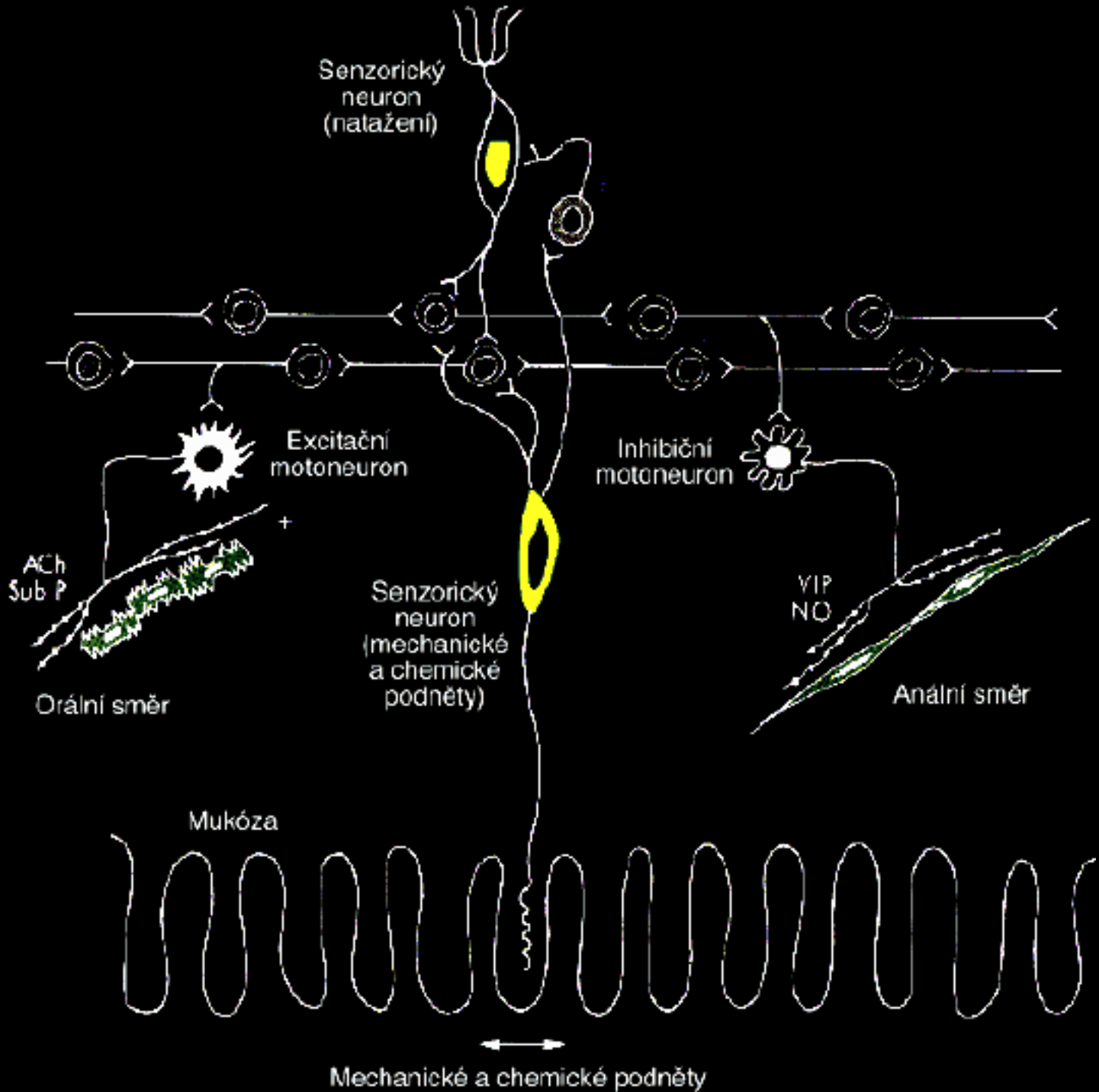
ENTERICKÝ NERVOVÝ SYSTÉM

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

Lokální reflexy ENS

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

např. peristaltický reflex



- ☰ ~ 10^8 neuronů - jako 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)

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)

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 tělíka (Parkinsonova choroba) a amyloidní plaky a neurofibrilární shluky (Alzheimerova choroba) i ve střevě (diagnostika rektální biopsií?)
- I proto GI a psychické obtíže často koexistují

ENS a CNS: podobnosti

Schopnost „učení“

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

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)

Vegetativní inervace

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

Vegetativní inervace: Sympatikus

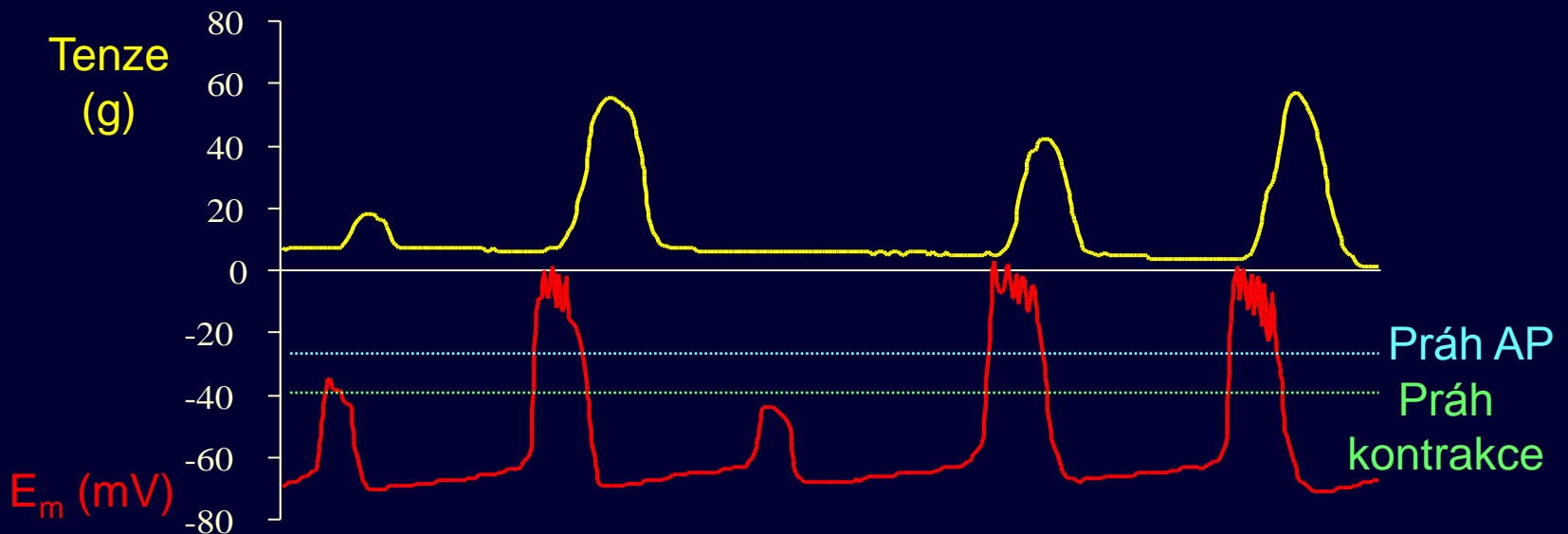
- Postgangliová adrenergní vlákna z prevertebrálních a paravertebrálních ganglií
- Neinervují přímo hladké svaly, nýbrž
 - ☐ neurony ENS, ty zprostředkují vliv na svaly
 - ☐ cévní hladké svaly (vazokonstrikce)
 - ☐ žlázy
- Většinou tlumí motilitu, zvyšuje tonus některých svěračů

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

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 frekvencí (max ~40/min, typicky 3-12/min)
 - nižší amplitudou (nepřestřelují přes 0 mV)
 - delším trváním (mnoho sekund)

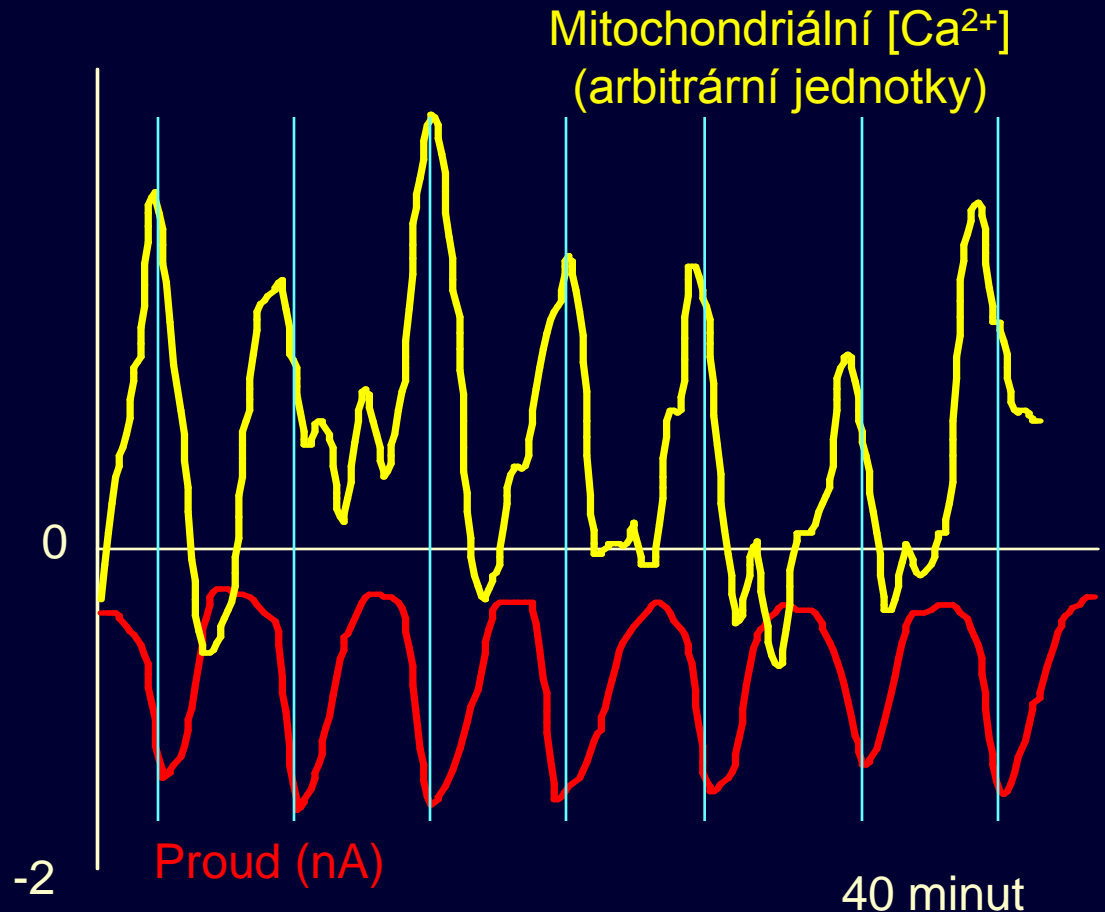


BER generují intersticiální (Cajalovy) buňky

- 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

Vznik BER v Cajalových buňkách

- uvolnění Ca^{2+} z retikula v blízkosti mitochondriálního Ca^{2+} uniporteru (poháněného H^+ gradientem z ETC)
- čerpání Ca^{2+} do mitochondrií
- stimulace neselektivního kationtového kanálu plasmalemy



Žvýkání

- Vědomé i nevědomé
(polykání na prázdko 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

Polykání: stavba reflexu

- aferentní část: dotykové receptory hl. ve vstupu do faryngu
- polykací centrum v medule a dolním mostu
- eferentní část:
 - ☐ hlavovými nervy do faryngu a začátku jícnu
 - ☐ vagem do zbytku
 - ☐ do dýchacího centra

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

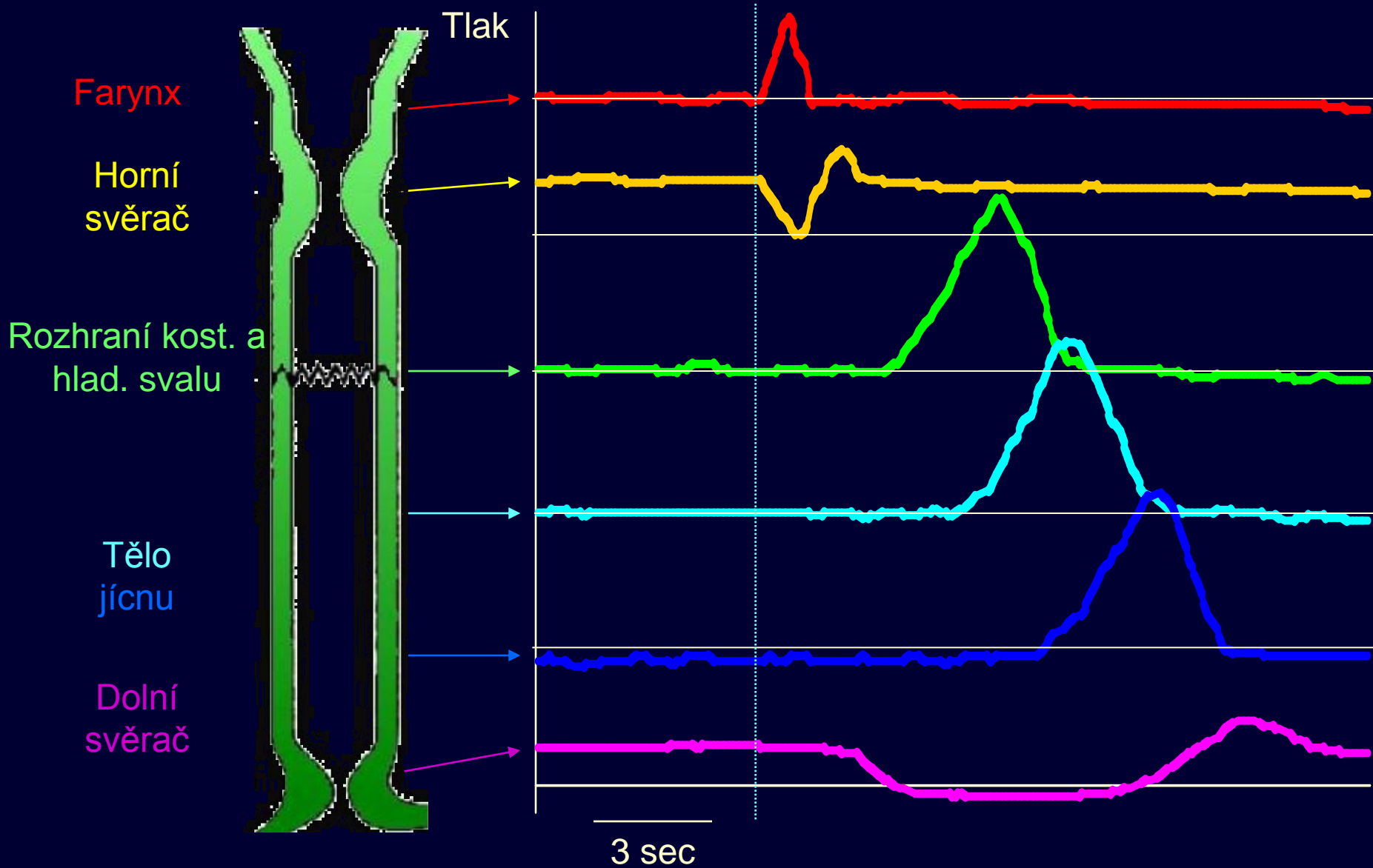
Polykání: faryngeální fáze

- <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

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 senzoričká funkce)
 - ☐ vagová vlákna do části z hladkého svalu končí u neuronů ENS
- primární peristaltická vlna 3-4 cm/s (6-8 s)
- pokud nestačí → sekundární peristaltická vlna (reflex z distenze esofagu)

Polykání: jícnová fáze



Esofageální reflux

- Dolní svěrač se občas se otevře i mimo polykání (tzv. fyziologický reflux)
- Když to dělá moc → esophagitis (“pálení žáhy”)
- Tlak v esofagu ~ nitrohrudní < 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

Žaludek - stavba

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

Žaludek - funkce

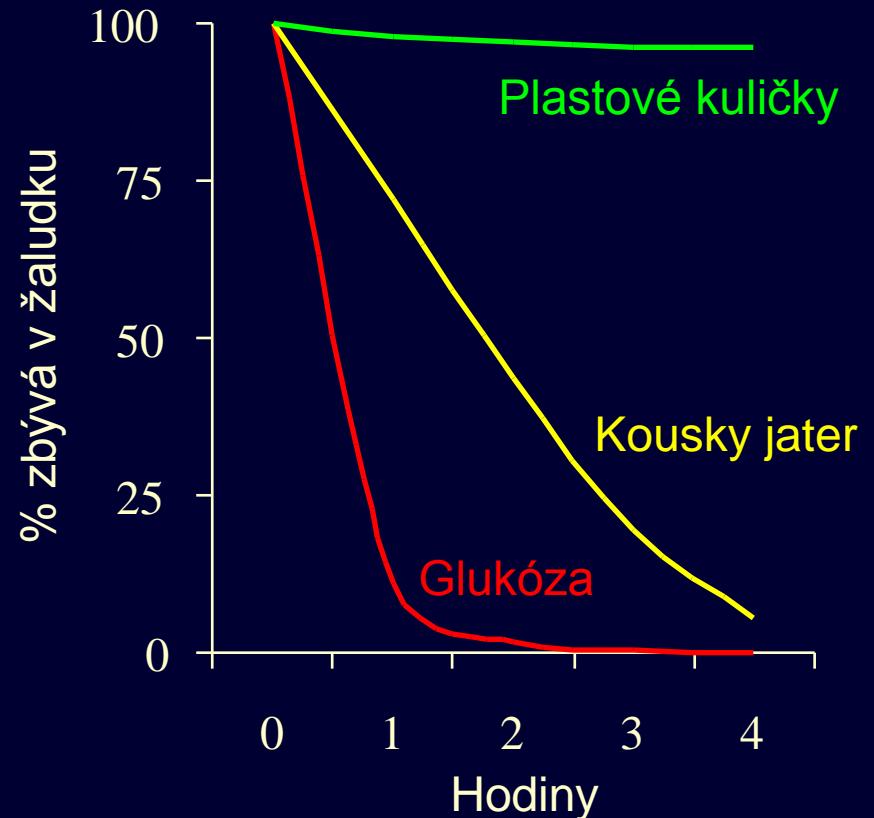
- Rezervoár
- Rozmělnění
- Promíchání s žaludečními sekrety
- **Plynulé plnění střeva**

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)

Žaludek - rezervoár

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



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

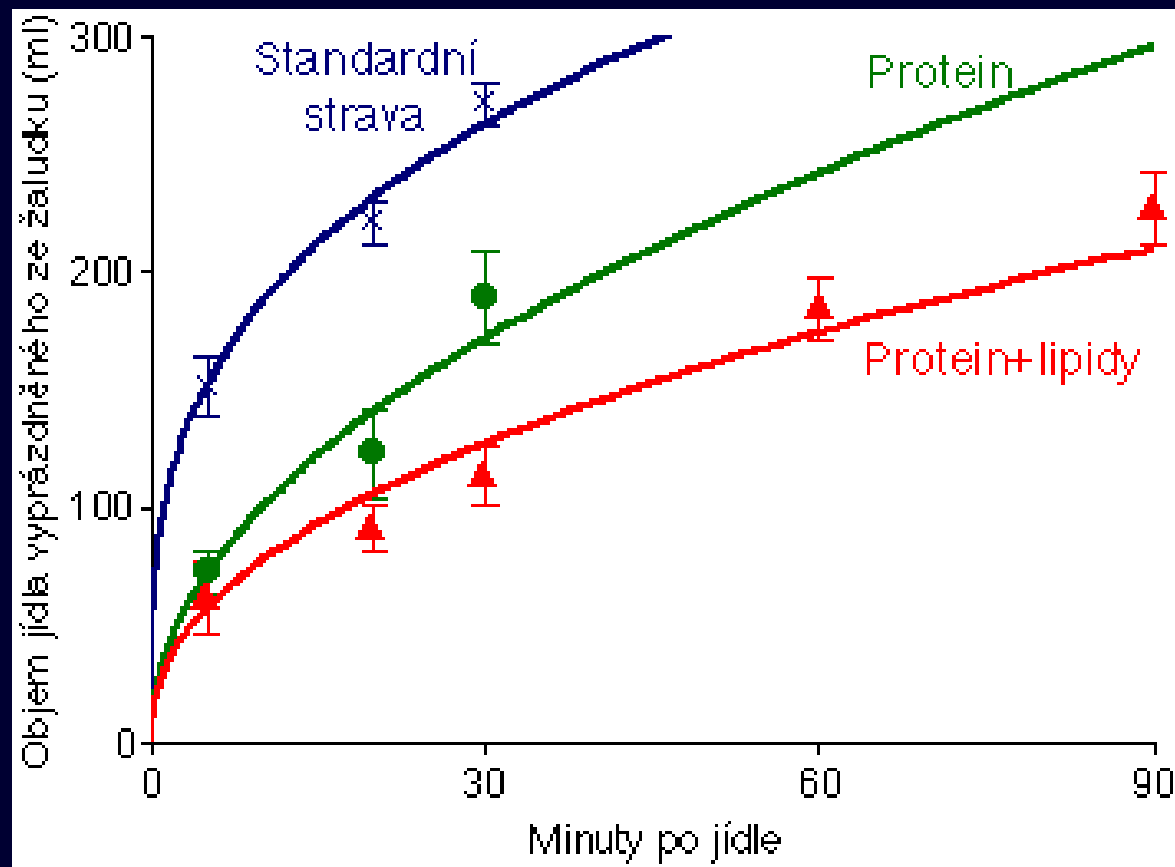
Žaludek - plnění střeva

- 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

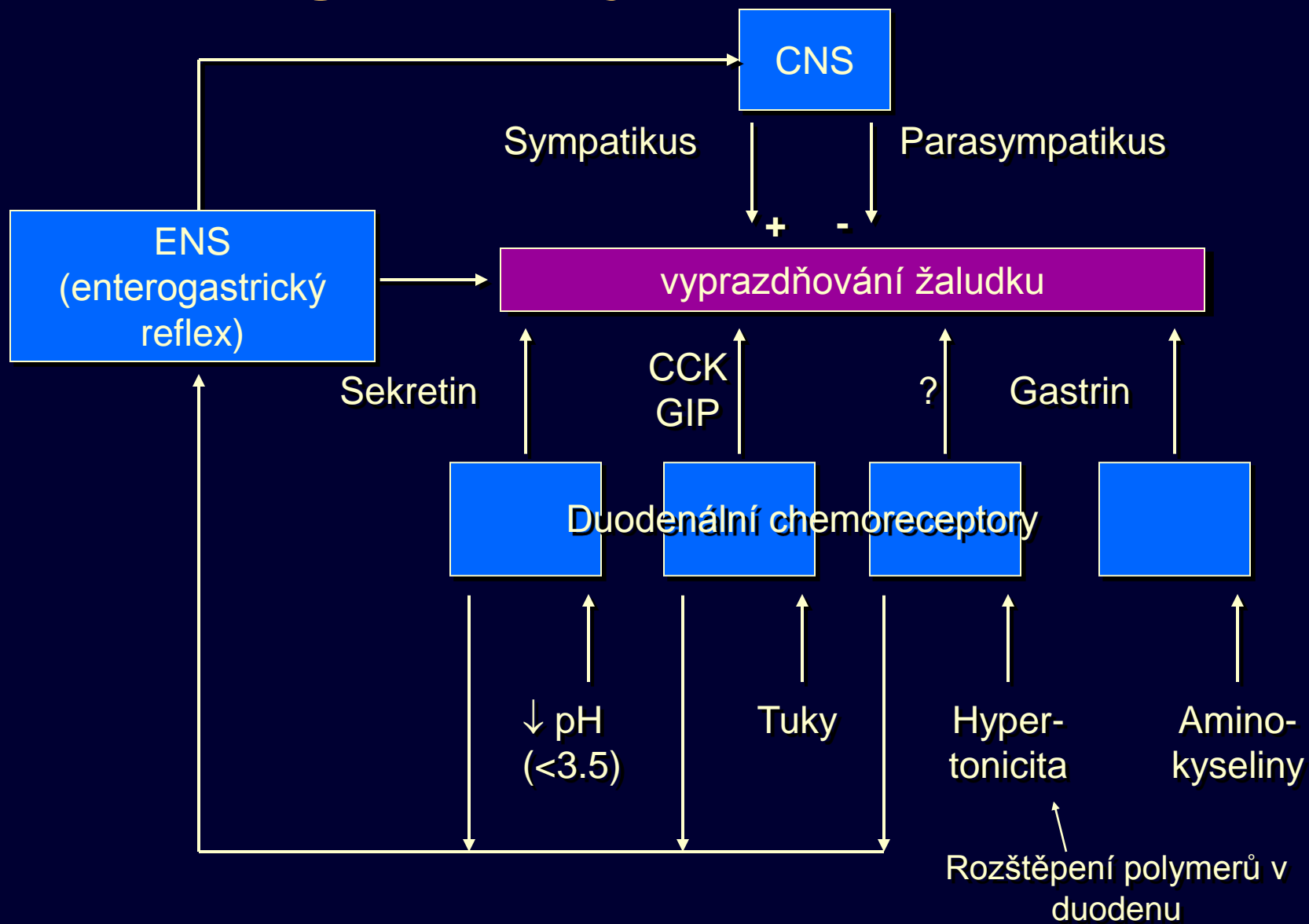
Vyprazdňování žaludku záleží na složení potravy

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

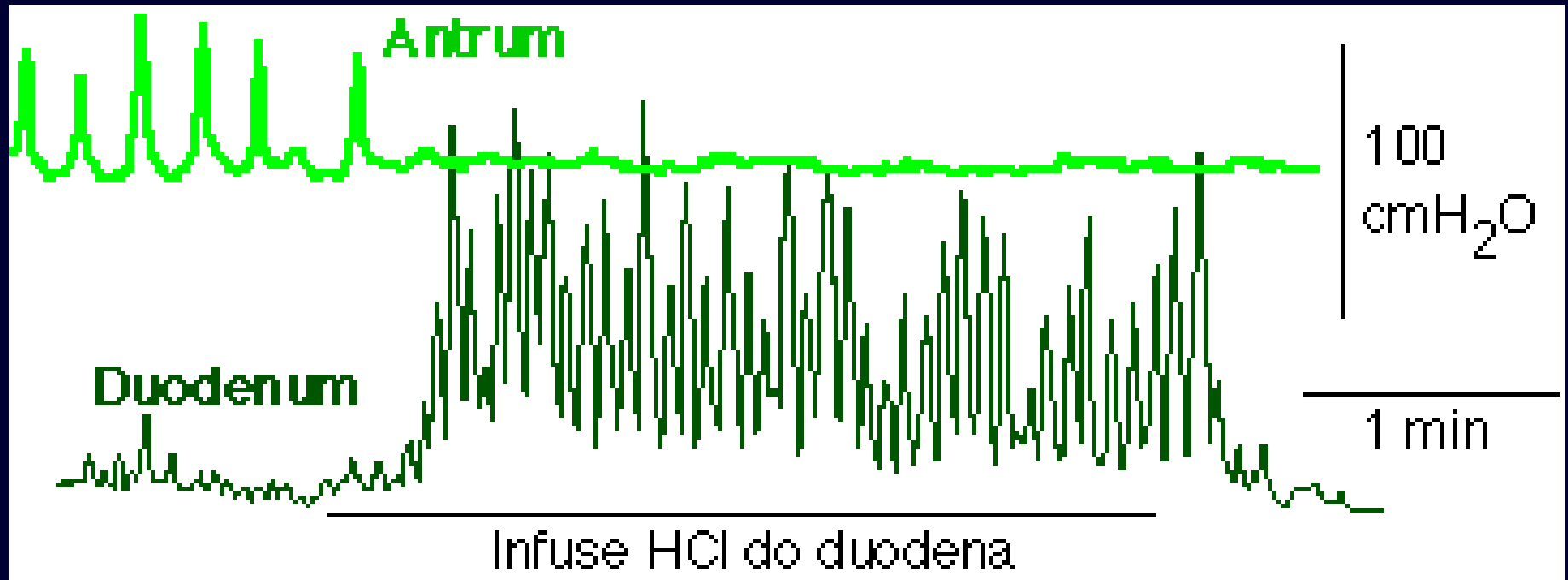
Proto tučné pomáhá proti opilosti (tuk v žaludku déle, zdrží tam alkohol, ten se v žaludku resorbuje pomaleji než ve střevě)



Regulace vyprazdňování žaludku

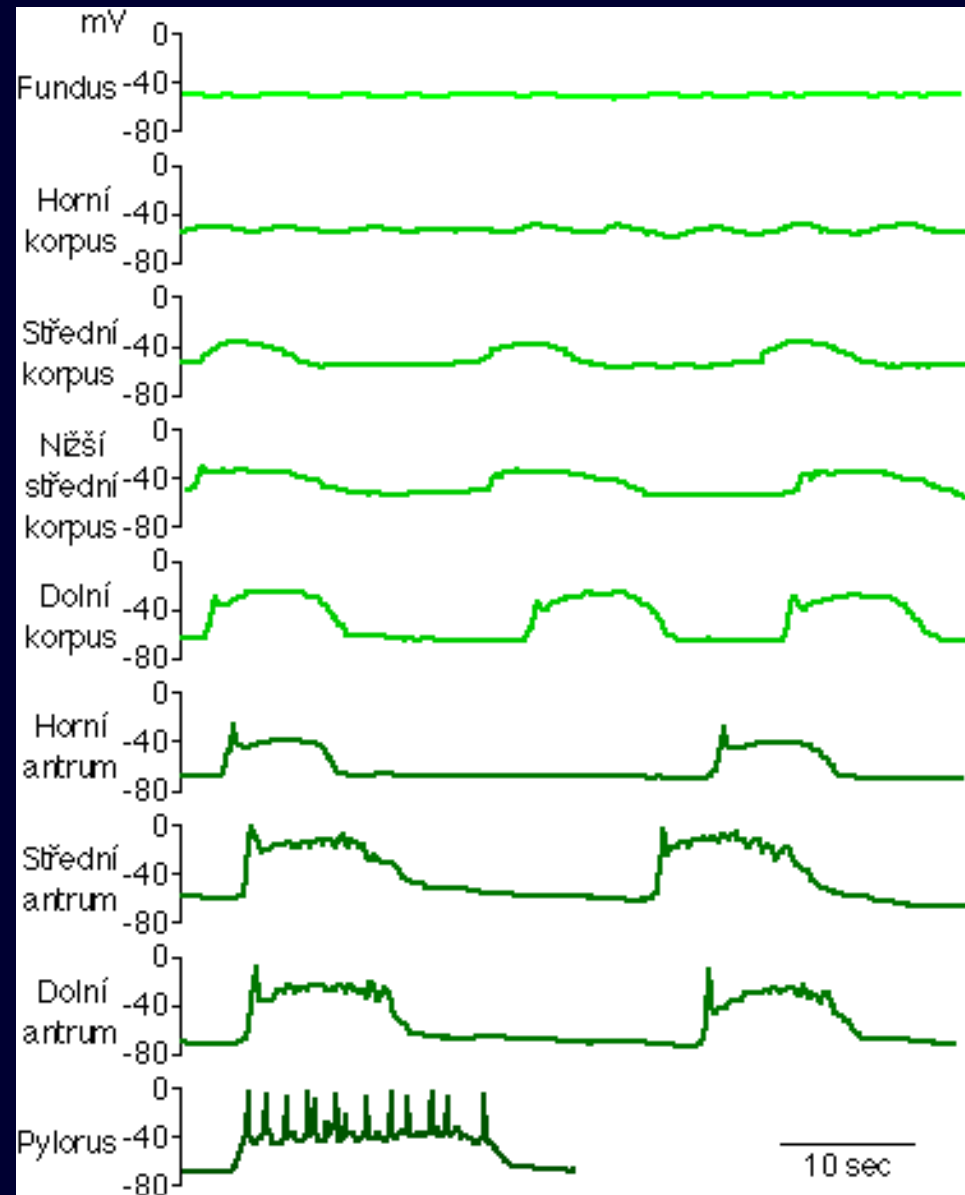


\downarrow pH \rightarrow \downarrow kontrakce antra,
 \uparrow motilita duodena



Elektrická aktivita žaludku

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



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)
- BER stejný jako po jídle, amplituda < práh kontrakci/AP (trávicí hormony → BER?)

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)

Zvracení

- Reversní peristaltika od prostředku tenkého střeva po larynx
- Usilovný nádech proti zavřené glottis -
↓ nitrohruční 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 může vést k metabolické alkalóze a dehydrataci

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)

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 ↑ parasymptikem, ↓ sympatikem (přes ENS)

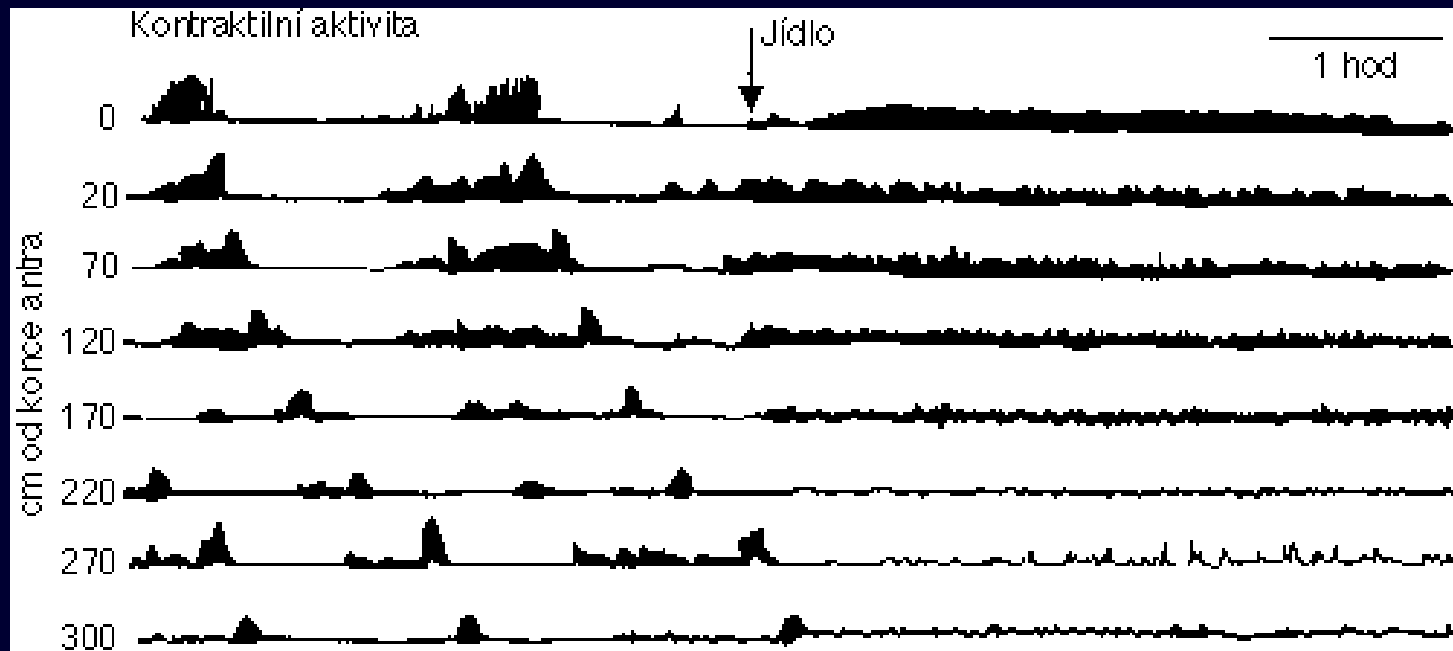
Intestinální reflexy

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

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



Kontrakce muscularis mucosae

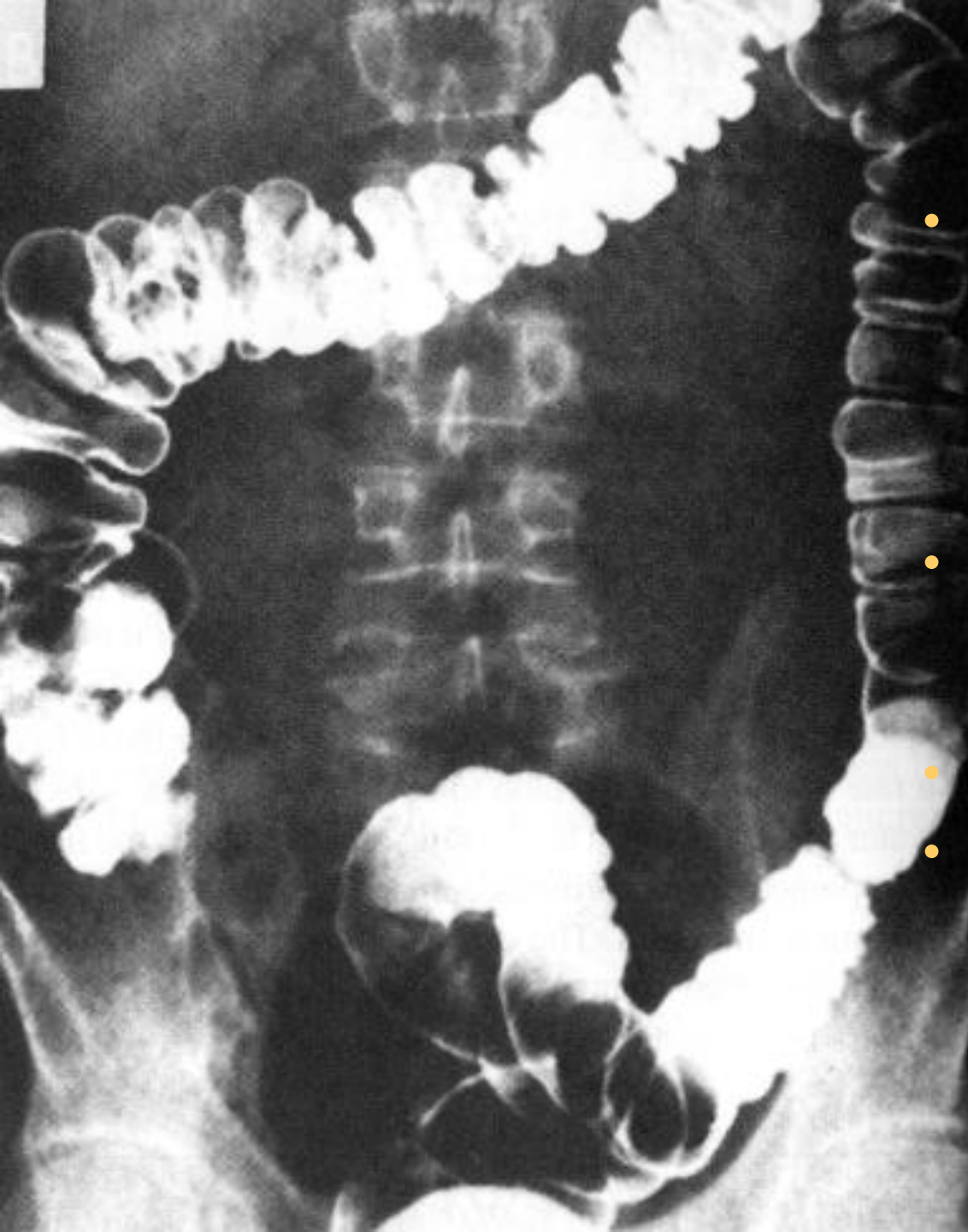
- Mění tvar rýh a záhybů mukózy, kontrahuje villi ("dojení" produktů trávení do lymfatických cest), "mávání" klků
- Lepší kontakt chymu se sliznicí, promíchávání
- Napomáhá toku lymfy

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

tlusté střevo

- Hl. funkce:
 - ☐ absorpce vody (400-1000 ml/den) a iontů (do trávení se dost vody investovalo),
 - ☐ skladování nepotřebných zbytků (typicky 16-20 hod, ale až 30% zde může zůstat třeba týden)
- Se zahušťováním je promíchávání obtížnější
- Haustrace, kývavé pohyby, hromadný pohyb



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

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)

Motilita tlustého střeva

- Hromadný pohyb: 1-3x/den (obvykle po jídle)
vlna kontrakce posunuje obsah na delší vzdálenost, střevo zůstává chvíli kontrahované
- Celkový pohyb je pomalý (max 5-10 cm/hod)
- Kontrolováno ENS, sympatikus brzdí pohyb, parasympatikus stimuluje haustrace proximální části a expulzivní pohyby distální části

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

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 stolici může při potlačení dočasně ustoupit

Defekace - to je KONEC

- 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)