

VYMÍTÁNÍ MÝTŮ

Evoluce apendixu

Bc. Anna Nováčková

Lékařská fakulta, Masarykova univerzita, Brno

Úvod

Apendix neboli výběžek slepého střeva byl po dlouhou dobu považován za archaický pozůstatek trávicího traktu. Předpokládalo se, že tato struktura nemá v lidském těle žádný význam a funkci. O apendixu se mluví jako o srašťelé části slepého střeva, která našim předkům sloužila k trávení listnaté potravy. Po přechodu na bohatší stravu však slepé střevo ztratilo význam a zakrnělo v apendix. Veřejností je apendix a slepé střevo vnímáno především jako zdroj bolesti při akutní apendicitidě. Současné studie zabývající se imunologií a fylogenezí apendixu však naznačují, že je načase tyto domněnky přehodnotit, jelikož výsledky ukazují, že zmíněné struktury mají v lidském těle důležitou roli.

Anatomie apendixu

Z anatomického hlediska je apendix slepě zakončený výběžek konce slepého střeva. Slepé střevo se nachází před místem, kde se tenké střevo napojuje na tlusté neboli v proximální části tlustého střeva. Lokalizace apendixu je tedy relativně oddělena od hlavního toku střevního obsahu. Tvar apendixu u člověka je tzv. červovitý. Napříč jednotlivými taxonomickými skupinami se však tvar apendixu značně liší.

Původní hypotézy

První pozorování apendixu bylo provedeno Charlesem Darwinem, který tvrdil, že apendix se vytvořil v návaznosti na přechod ze stravy tvořené převážně z kořenů a tuhých listů na stravu založenou na ovoci. Tento přechod způsobil zmenšení slepého střeva, jelikož jeho trávicí funkce nebyla již od té doby ve větší míře využívána. Apendix tedy podle této teorie vznikl jako srašťelý pozůstatek slepého střeva. Slepé střevo sloužilo ke zpracování celulózy (k její fermentaci), která je ve velké míře zastoupena právě v kořenech a listech. Ze stejného důvodu je slepé střevo přítomné u všech býložravců. S tímto pojetím je spojena i druhá hypotéza, která říká, že apendix je v současné době struktura bez funkce a významu. Poslední hypotézou je předpoklad, že apendix z důvodu své nadbytečnosti vymizel již u mnoha druhů.

Vyvrácení původních hypotéz

Všechny výše zmíněné hypotézy jsou v současné době již vyvráceny. Darwinova teorie nebyla nikdy statisticky potvrzena. Pokud apendix u člověka vznikl v návaznosti na zmenšení slepého střeva, pak se jednalo o pouhou výjimku než o pravidlo evoluce apendixu. Při analýze napříč savčími

větvemi nebyla objevena žádná korelace mezi délkou slepého střeva a přítomností apendixu či velikostí apendixu. Stejně tak nebyla nikdy nalezena žádná korelace mezi způsobem stravování či fermentací potravy a přítomností, velikostí či tvarem apendixu.

Proti druhé a třetí zmíněné hypotéze se staví zjištění, že apendix je u savců přítomen více než 80 milionů let a významně častěji došlo k jeho vytvoření než vymizení u jednotlivých druhů. Přesněji se jedná o vytvoření u minimálně 30 na sobě nezávislých linií a o ztrátu u maximálně 12 linií. Přičemž však žádná ztráta nebyla jednoznačně potvrzena, a tedy se může jednat o vytvoření až u 42 linií. Dále bylo zjištěno, že pokud se apendix jednou vytvoří, je velmi nepravděpodobné, že zmizí. Tudíž ze studií vyplývá, že vytvoření apendixu je mnohem pravděpodobnější, a tedy nejspíše i výhodnější než jeho ztráta. Jeho přítomnost tedy s vysokou pravděpodobností zastává specifickou biologickou funkci.

Nové důkazy o evoluci apendixu

Studie savců

Na téma evoluce apendixu bylo provedeno mnoho studií, které zkoumaly dohromady více než 500 druhů savců. Jak již bylo výše zmíněno, apendix je přítomný minimálně u 30 až 42 na sobě nezávislých savčích linií. Přičemž značná rozdílnost struktury apendixu mezi jednotlivými taxonomickými skupinami naznačuje komplexní a rozdílný evoluční vzorec pro vytvoření této struktury. Apendix tedy nejspíše vznikl jako adaptivní reakce na rozdílné vnější faktory, které u jednotlivých živočichů způsobily sice rozdílnou strukturu apendixu, ale stejnou funkci. Příkladem může být skutečnost, že jen u vačnatců došlo ke třem samostatným evolučním cestám k vytvoření apendixu. Apendix má tedy pravděpodobně u savců hlubokou evoluční historii.

Z fylogenetických a anatomických studií vyplývá, že apendix je přítomný u primátů, zajícovitých, u některých hlodavců a vačnatců. Apendix naopak není například u krys, morčat, prasat, koček a psů.

Z primátů má vedle člověka apendix přítomný makak, orangutan, šimpanz a gorila. Tvar apendixu je mezi nimi velmi odlišný. A to v takové míře, že primáti jsou nejvíce variabilní savčí větví, co se týče tvaru slepého střeva a apendixu. Například makak má apendix základního tvaru na rozdíl od gorily, která má tvar apendixu červovitý stejně jako člověk. Je tedy pozorován fenomén, že vyšší primáti mají více vyvinutý apendix, s nejvyšším vyvinutím ve formě červovitého tvaru u goril a člověka. Toto pozorování naznačuje, že apendix může mít specifickou biologickou funkci, kdy jeho vývoj je ovlivněn pozitivní selekcí. Důvod, proč primáti jsou nejvíce variabilní v tomto ohledu, může být dvojího typu.

První vysvětlení je takové, že anatomie primátů je mnohem více prozkoumána oproti jiným savcům, a proto jsou pozorovány nejzásadnější rozdíly. Druhý důvod přiznává fakt, že primáti jsou opravdu nejvíce variabilní větví, co se apendixu týče, což společně se statisticky významnou frekvencí apendixu v tomto řádu naznačuje, že apendix má u primátů zvláštní adaptivní význam.

Vliv ekologických faktorů

Další výzkum ohledně apendixu byl zaměřen na otázku, čím byla evoluce apendixu způsobena. Jednalo se o vliv morfologické a anatomické evoluce slepého střeva, nebo o vliv ekologických faktorů? Ekologickými faktory jsou myšleny například velikost skupiny, geografický rozsah nebo velikost místa výskytu.

Z části na tuto otázku odpověděly studie, které objevily korelaci mezi délkou slepého střeva a velikostí skupiny. Vysvětlení této korelace je následující. Druhy žijící ve velkých skupinách žijí v těsné vzájemné blízkosti. Tato blízkost představuje vyšší riziko rozšíření přenosných onemocnění. Schopnost odolávat patogenům je zásadním ekologickým tlakem, který ovlivní, jak se druh na zemi bude rozšiřovat. Jelikož slepé střevo a apendix má významnou koncentraci lymfatické tkáně s imunitní funkcí, zdá se tedy logické, že druhy, které žijí ve velkých skupinách, si vytvořily anatomickou a imunitní adaptaci pro život ve větší blízkosti, která jim zvýší odolnost vůči patogenům. Stejně tak byla objevena inverzní korelace mezi délkou slepého střeva a velikostí místa výskytu.

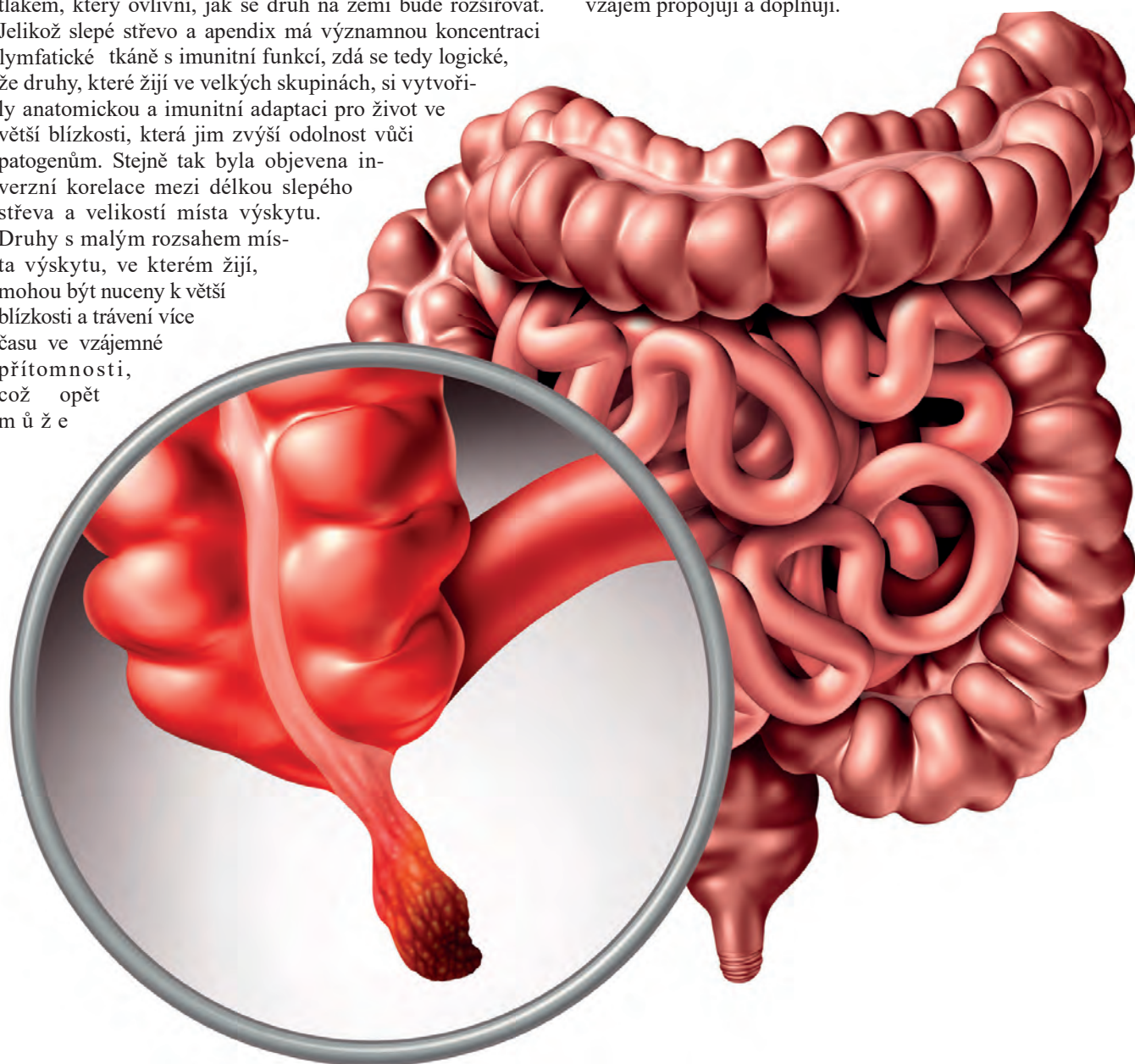
Druhy s malým rozsahem místa výskytu, ve kterém žijí, mohou být nuceny k větší blízkosti a trávení více času ve vzájemné přítomnosti, což opět

zvýšit náchylnost k přenosným onemocněním. Přestože byla objevena výše zmiňovaná korelace mezi slepým střevem a ekologickými faktory, mezi apendixem a ekologickými faktory nalezena nebyla. Vliv ekologických faktorů však není jediným faktorem podílejícím se na evoluci slepého střeva, jelikož tato korelace není shledána u všech druhů, které žijí ve velkých skupinách nebo na malém území.

Právě oním chybějícím vlivem může být vliv anatomické a morfologické evoluce slepého střeva, jelikož byla objevena silná korelace mezi přítomností apendixu a tloušťkou konce slepého střeva a tvarem slepého střeva, přičemž s přítomností apendixu je nejvíce spojován tvar slepého střeva, který se zužuje nebo má tvar spirály. Souvislost mezi délkou slepého střeva a přítomností apendixu nalezena nebyla.

Funkce a význam apendixu

Jaký je tedy důvod vytvoření těchto anatomických změn a proč je vytvoření apendixu výhodné? Z výše popsaných pozorování se ukazuje, že apendix si vytvořil dvě hlavní funkce – imunologickou a ochranou. Obě tyto funkce se navzájem propojují a doplňují.



Imunologická funkce

Ve slepém střevě a appendixu je přítomna největší koncentrace lymfatické tkáně ve střevě, což naznačuje, že lze uvažovat o sekundárním lymfatickém orgánu. Lymfatická tkáň představuje hlavní produkci IgA v těle, tedy tzv. slizničních protilátek, které bojují proti nežádoucím mikroorganismům z vnějšího prostředí. Tvrzení, že appendix má imunologickou funkci, podporuje také objev silné korelace mezi koncentrací lymfoidní tkáně a přítomností appendixu.

Zajímavostí je skutečnost, že u zmiňovaných zvířat, která nemají appendix, je přítomna vysoká koncentrace lymfatické tkáně ve vrcholu slepého střeva. A to v takové míře, že toto pozorování bylo zjištěno u všech zvířat, která mají slepé střevo. Lymfatická tkáň je seskupená zpravidla do oddělených ostrůvků, nebo je rovnoměrně rozložena po celé délce slepého střeva. Především pro savce je toto typické. U všech druhů appendix nebo slepé střevo obsahuje nadměrné množství lymfoidní tkáně v porovnání s ostatními částmi trávicího traktu. Přičemž savcím druhům, které v průběhu evoluce přešly na fermentování potravy žaludkem, se slepé střevo současně svažilo a ztratilo svou trávicí funkci, imunitní funkce však byla zachována.

Pokud porovnáme savce s jinými třídami, tak například ryby a obojživelníci nemají přítomné slepé střevo ani lymfoidní tkáň, naopak ptáci mají přítomnou lymfoidní tkáň v podobné lokalizaci trávicího traktu, jako mají savci.

Ochranná funkce

Výše popsaná pozice appendixu se ukazuje jako strategické místo pro symbiotické střevní bakterie. Jedná se o ochranné místo, kde je jakási zásoba střevních bakterií. Význam této lokalizace a zásoby je nejspíše takový, že napomáhá rychlému opětovnému osídlení střevní sliznice po akutním průjemovém onemocnění. S tímto vysvětlením se opět pojí již zmiňovaná úvaha, zda evoluci appendixu nemohly ovlivnit faktory, které způsobují zvýšenou incidenci střevních infekcí. V tomto případě však ne z důvodu imunitního, jako bylo popsáno výše, ale z důvodu udržení střevní mikrobioty. Faktory, které stálost střevní mikrobioty narušují, mohly způsobit evoluční tlak appendixu směrem vedoucím k jeho vytvoření. U člověka největším faktorem, který ovlivňuje střevní mikrobiotu v následku průjemového onemocnění, je voda. Průjemová onemocnění způsobená kontaminovanou vodou jsou vedoucí příčinou úmrtí dětí v rozvojových zemích. Matoucí je však skutečnost, že mezi stravou, tedy i příjmem tekutin, a přítomností či velikostí appendixu nebyla nalezena žádná souvislost.

Apendektomie

Přes předpokládané výhodné funkce appendixu je zřejmé, že lidé mohou žít bez potíží i bez appendixu, což dosvědčuje vysoké procento lidí po apendektomii. Pro člověka může být neesenciální povaha appendixu dána moderní zdravotní péčí a hygienickými opatřeními ve vyspělých zemích. Některé studie tvrdí, že appendix je výhodný pouze v životě v přírodě, tedy spíše v rozvojových zemích, ale už méně užitečný pro země vyspělé. Toto tvrzení podporá statistika, že apendicitida má vyšší incidenci v ze-

mích s moderní medicínou a s vysokou úrovní hygieny. Objevují se však pozorování, že apendektomie je spojována se zvýšeným rizikem vzniku ulcerózní kolitidy, opakujícími se infekcemi *Clostridium difficile*, onemocněními myokardu a zánětlivými onemocněními. Tudiž odstranění appendixu i ve vyspělých zemích může mít negativní následky. Na toto téma je však potřeba pro potvrzení jednotlivých teorií provést více studií.

Nové hypotézy

Mezi další hypotézy patří například ta, že appendix a slepé střevo podstupovaly evoluci společně jako jedna struktura. Nasvědčují tomu důkazy o významné korelaci mezi morfologií slepého střeva a appendixu. Z tohoto důvodu byl také vytvořen termín „cekoapendikulární komplex“ jakožto označení používané v případech, kdy hovoříme o společných strukturních, funkčních, vývojových a evolučních souvislostech.

Jiná hypotéza uvažuje o tom, že jako první vznikl appendix a slepé střevo se vyvinulo jakožto jeho protažení. K této úvaze vědci dospěli na základě skutečnosti, že u některých živočichů je přítomný appendix, ale ne slepé střevo. Příkladem takové skutečnosti může být vombat (vačnatec), který má appendix velmi dlouhý, ale slepé střevo nemá žádné.

Závěr

Na téma významu a evoluce appendixu a slepého střeva bylo provedeno mnoho studií. Tyto studie vyvrátily hypotézy, že appendix je pouze pozůstatkový orgán bez funkce nebo že appendix u mnoha živočišných druhů v průběhu evoluce vymizel. Naopak bylo zjištěno, že pravděpodobně na základě pozitivní selekce appendix vznikl jako výhodný a důležitý funkční orgán. V lidské populaci je appendix stále přítomný a výskyt jeho malformací je minimální, tudíž jeho funkce je stále aktuální. Na rozdíl například od zubů moudrosti, jejichž výskyt v populaci postupně ustupuje, jelikož jejich funkce již není využívána. Předpokládá se, že appendix má dvě hlavní funkce – imunologickou, která zamezuje vniknutí patogenním mikroorganismům do vnitřního prostředí, a ochrannou a zásobní funkci pro symbiotické střevní bakterie, které jsou využity po průjemovém onemocnění k vytvoření opětovné stability střevní mikrobioty. Přítomnost appendixu významně koreluje s koncentrací lymfatické tkáně, tvarem slepého střeva a s tloušťkou konce slepého střeva. Tedy pokud máme přítomny všechny tři zmíněné aspekty, pak přítomnost appendixu je vysoce pravděpodobná. Naopak nebyla shledána žádná korelace mezi přítomností appendixu a stravou či délkou slepého střeva, tudíž předpoklad, že appendix u člověka vznikl jako následek na změnu stravy a s tím spojené zmenšení slepého střeva, je mylný. Přestože bylo potvrzeno, že došlo ke zmenšení slepého střeva a k vytvoření appendixu ve stejném časovém období, jedná se spíše o výjimku než o pravidlo evoluce appendixu, jak bylo zjištěno po provedení studií na velkém počtu savců. Evoluce appendixu a slepého střeva je stále ještě z velké části nerozluštěna a nepochopena. Co však nyní můžeme říct s jistotou, je to, že appendix není zbytečný orgán.

Literatura u autorky.