



Přeběhl by Usain Bolt dilofosaura?

Dinosauři vzbuzují spousty otázek a vášni nejen u laiků, ale také u vědců. Jak se stalo, že ovládli Zemi na mnoho milionů let? Proč byli tak evolučně úspěšní? Co o nich vlastně spolehlivě víme? Jak můžeme rekonstruovat jejich životní projev? Jak přesné jsou naše odhady jejich velikosti, hmotnosti a způsobu pohybu? Kolik energie potřebovali k zabezpečení nezbytných životních funkcí?

Dinosauři jako vývojová skupina obratlovců vládli na pevninách naší planety po cca 134 milionů let. Z hlediska evoluce šlo o velmi úspěšnou skupinu živočichů. Řadíme ji mezi plazy, i když se od jejich dnešních zástupců v určitých ohledech liší (například postavením končetin).

Dinosauři zejména v období jury a křídly poměrně rychle osídlili pevniny naší planety a svým evolučním tlakem nedovolili mnoha dalším živočišným druhům příliš výrazný rozvoj. Objevili se ve středním triasu nebo na počátku svrchního triasu, relativně krátce po hromadném vymírání koncem permu, tedy asi před 250 až 235 miliony let. Vyhnuli (kromě jediné vývojové větve – ptáků) před 66 miliony let v průběhu hromadného vymírání na konci křídly. Jako jedna z možných příčin jejich odchodu z evoluční scény se uvádí dopad asteroidu na hranici křídly – paleogén, případně podstatně zvýšený rozsah vulkanismu. Dnes je však výrazně favorizována rozhodující role dopadu asteroidu.

Jak se pohybovali

Dinosauři bývají považováni za obrovská a velmi hmotná zvířata. Těch ale byla v tehdejší populaci spíše menšina, zatímco většina dinosaurů byla tvory malými. Fosilní záznam je totiž značně výběrový, protože velcí tvorové s mohutnými kostmi mají samozřejmě podstatně vyšší šanci „zkamenět“ a dochovat se v příslušných sedimentech než jejich drobní příbuzní. I tak ale známe kostřičky druhohorních dinosaurů velkých jen jako holub nebo ještět menších. V současnosti je za nejmenšího plně dospělého dinosaura považován čínský opeřený druh *Microraptor zhaoianus* s odhadovanou hmotností kolem 434 gramů. Přibližně tolik váží dnešní vrána.

Jak se tedy pohybovali obří sauropodní dinosauři, jako třeba kolosální *Argentinosaurus huinculensis*? Vždyť tito tvorové představovali nehmotnější suchozemské tvory všech dob. Pokud bychom je porovnali s největšími tvory současnosti, tedy s kytovci, došli bychom k závěru, že evoluce dokázala vyřešit problém překonání gravitace na suché zemi v podobě velmi zajímavých adaptací. Na rozdíl od velryb, jejichž ohromná těla nadnáší voda, musely sauropody unést jejich vlastní nohy. Kvůli obrovské zátěži, jakou těla sauropodů kladla na jejich končetiny, na nich nastaly různé zajímavé změny. Jejich končetiny se napřímily do podoby jakýchsi pevných sloupů, schopných unést obří hmotnost. Kostra se odlehčila dutinami v obratlích, žebrech a pánevních kostech, čímž se snížila i průměrná hustota tělních tkání.

Koncové části předních končetin byly značně redukovány. U titanosaurů, skupiny vývojově pokročilých sauropodních dinosaurů, kam patřili také největší známí suchozemští živočichové všech dob, například *Argentinosaurus*, až na výjimky zcela zanikly záprstní kosti, aby byla noha kompaktnější a pevnější. Velkými změnami musely samozřejmě projít i další orgánové soustavy, od nervové a trávicí přes dýchací a oběhovou až po vylučovací. Srdce těchto dinosaurů vážilo pravděpodobně kolem 200 kg a žaludek dokonce přes 2 500 kg, odhadem se do něho přitom vešlo až 8 500 kg rostlinné potravy. Tito dinosauři přibývali na váze v průběhu rychlé fáze růstu až několik desítek kg denně.

Zajímavý je i velikostní limit sauropodních dinosaurů. Nikdo s jistotou neví, do jaké hmotnosti mohli tito giganti dorůst. Můžeme je opět porovnat s kytovci – dlouho se předpokládalo, že ani největší velryba plejtvák obrovský (*Balaenoptera musculus*) nepřesáhl hmotnost 100 tun, přičemž dinosauři se k této hranici dokonce ani neměli přiblížit. Dnes už víme, že největší jedinci plejtváků obrovských mohou vážit dokonce až 200 tun, zatímco někteří sauropodi možná přesáhli s obstojnou „rezervou“ onu stotunovou hranici.

Jisté je, že biomechanická omezení související s pohybem po souši neumožnila sauropodům dosáhnout hmotnosti největších plejtváků, ale hodnota kolem 120 tun, odpovídající dvaceti dospělým slonům, je nejspíš zcela reálná. Pokud ale dinosauři prohrávají pomys-

lné měření sil v kategorii hmotnosti, naopak vyhrávají z hlediska celkové délky. Zatímco totiž nejdelší známý plejtvák obrovský měřil na délku 29,9 m (údaje o jedinci dlouhém až 33,6 m nejsou potvrzené), hned několik sauropodních dinosaurů mělo přes 32 m. Prozatím by jakýmsi neoficiálním „rekordmanem“ mohl být pozdně jurský severoamerický sauropod *Supersaurus vivianae*, který pravděpodobně měřil na délku asi 39 až 42 m.

Pravěcí sprinteři

Tělesné rozměry sauropodních dinosaurů jsou zajisté úctyhodné. A jak by se jejich pohybové schopnosti mohly rekonstruovat, když nikdo z nás takového tvora neměl možnost vidět v pohybu? Základem je anatomie kostry, především pohybového ústrojí. Na základě délky jednotlivých částí kostry končetin je možné s velkou mírou pravděpodobnosti stanovit, zda se jednalo o rychlého nebo spíše pomalého tvora.

O vysoké rychlosti pohybu svědčí například relativně dlouhé části „nártu“, dále celková lehká a štíhlá stavba skeletu, obvykle spíše menší rozměry, tedy i hmotnost, a některé další parametry.

Je pravděpodobné, že ti největší sauropodi s hmotností nad 50 tun chodili spíše jen relativně pomalu. Důvody nejsou pouze čistě biomechanické, protože velcí sauropodi nepotřebovali utíkat před predátory, a navíc riziko smrtelného zranění při případném pádu bylo u nich příliš vysoké. Naopak velcí teropodi, tedy skupina bipedních (po dvou se pohybujících) primárně masožravých dinosaurů dokázali krátkodobě vyvinout vyšší rychlost, třeba při útoku na kořist. Pokud bychom si zde dovolili porovnat například populárního tyranosaura s některými současnými krokodýly, došli bychom k závěru, že schopnost rychlého pohybu byla do určité míry vlastní oběma. Krokodýli jsou totiž schopni krátkodobě vyvinout na souši rychlost až 17 km/h, ačkoliv obvykle se pohybují podstatně pomaleji.

Dále tu máme ornitomimidy (Ornithomimidae) – takzvané pštrosí dinosaury. Tato skupina menších až středně velkých dinosaurů dokázala při běhu vyvinout vyšší rychlost. Na základě tělesné stavby a paleoekologie lze předpokládat, že ornitomimidi byli schopni vysokou rychlost udržovat, a to i po delší dobu. Jejich těla byla stavěna výrazně kurzoriálně – to znamená s adaptacemi pro rychlý pohyb, tedy štíhlým tělem, dlouhými a silnými nohama apod. Maximální rychlost jejich běhu je odhadována na 56 km/h (15,6 m/s), možná to však bylo i podstatně více. Jde přitom o výrazně vyšší hodnotu, než jaké dosáhl nejrychlejší člověk historie jamajský sprinter Usain Bolt. Ten v roce 2009 při svém světovém rekordu v běhu na 100 metrů překonal jeden dvacetimetrový úsek za 1,61 s, což činí 12,42 m/s, tedy 44,72 km/h.

Velkou náповědou pro vědce jsou také objevené série fosilních stop, které po sobě někteří dinosaury zanechali na březích jezer, moří i řek nebo v bahně vlhkých pralesů. I když se v takovém prostředí nedá vyvinout nejvyšší rychlost (bahňatý materiál je kluzký a noha se do něho boří), podle některých sérií byla vypo-

čítána rychlost běhu jejich původců až kolem 50 km/h. V některých případech se dochoval celý příběh, odehrávající se v dávné minulosti. Například před 113 miliony lety na území dnešního Texasu kráčeli vedle sebe potenciální kořist a lovec – středně velký sauropodní dinosaur a velký dravý teropod. V jednom místě dokonce mizí jeden z tříprstých otisků nohou dravce, což někteří badatelé interpretují jako místo, kde vyskočil na bok své vyhlédnuté oběti a snažil se ji strhnout na zem. V tomto i většině ostatních případů je rychlost pohybu poměrně nízká – zhruba do 5 km/h.

Hodnotu rychlosti běhu lze odvodit z velikosti a vzájemné vzdálenosti stop matematickým vzorcem, který v roce 1976 stanovil britský přírodovědec a biomechanik Robert McNeill Alexander (1934 – 2016). Vzorec odvodil z Froudeho čísla (pro matematické „fajnsmekry“ uvádíme jeho podobu:

$$v = 0,25 \cdot g^{0,5} \cdot SL^{1,67} \cdot h^{1,17},$$

kde g – gravitační zrychlení, SL – délka kroku, h – výška páneve). Později byl vzoreček ještě mírně modifikován, ale dodnes je používán paleontology po celém světě. Podle tohoto vzorce jsou zatím za „rekordní“ považovány série fosilních stop známé z Utahu (13,7 m/s; 49,3 km/h) a z Polska (přibližně 13,9 m/s; 50,0 km/h); ty patřily menším dravým dinosaurům.

Schopnosti krále dinosaurů

U proslulého druhu *Tyrannosaurus rex* byla maximální rychlost stanovena i s ohledem na jeho hmotnost a rozsah pohybu kostí, svalů a šlach lokomočního aparátu. Mláďata tyranosaura do hmotnosti zhruba jedné tuny byla patrně velmi rychlími běžci, u těžkých dospělců už se tato schopnost snižovala. Mohli však být vysoce efektivními „silovými chodci“. Nedělalo jim totiž problém kráčet rychlostí až kolem 3,5 m/s (12,5 km/h), tedy rychlostí tréninkového lidského běhu, po velmi dlouhou dobu. Samozřejmě pomáhalo, že i při chůzi dělali kroky dlouhé téměř 4 metry. Ostatně známe jednu sérii stop menšího nedospělého tyranosaura z lokality Glenrock ve Wyomingu popsanou v roce 2016. Vytvořil ji mladý tyranosauri jedinec s výškou hřbetu mezi 1,56 a 2,06 m, který nejspíš poklidně kráčel a pohyboval se přitom poměrně vysokou rychlostí asi 8,1 km/h až 12,5 km/h.

Virtuální počítačové modely a další výzkumy ukázaly, že dospělý jedinec o hmotnosti nad 7200 kg nemohl běhat rychleji než přibližně 8,0 m/s (28,8 km/h), i to je ovšem stále impozantní výsledek. Výzkumy nicméně potvrzují, že i tyranosauri nejspíš preferovali podstatně nižší rychlost pohybu, při které minimalizovali svůj energetický výdej, a ta měla činit přibližně 1,28 m/s (4,6 km/h). Gigantičtí sauropodní dinosaury, jako byl možná až 96 400 kilogramů těžký

Argentinosaurus huinculensis, dokázali podle počítačových modelů dosáhnout nejvyšší rychlosti chůze kolem 2 m/s (7,2 km/h), což zhruba odpovídá velmi svižné lidské chůzi.

Vědci také díky fosilním stopám přibližně vědí, jak se někteří dinosaury dokázali zvedat ze země a pohybovat se ve svém životním prostředí. Zajímavým příkladem je opět proslulý tyranosaurus, který k takové – dalo by se říci až akrobacii – měl ještě nevýhodu ve svých zakrnělých a relativně krátkých předních končetinách. U tyranosaura se postupnou evolucí extrémně zmenšily přední končetiny, takže nakonec byly dlouhé zhruba jen jako paže dospělého muže. Zajímavé ale je, že podle mohutnosti kostí pažní byla odhadnutá síla jeho dvojhlavého svalu pažního (bicepsu) asi 3,5krát větší než u člověka. Jednou přední „prackou“ by tak ze země zvedl objekt o hmotnosti kolem 200 kg.

Čelistní stisk tohoto obřího dravého dinosaura byl díky extrémně mohutné lebce a čelistním i krčním svalům enormní, podle propočtů činil asi 35 000 až 60 000 newtonů. Tyranosauri tedy drtili svoji kořist „silou“ několika tun.

Jak tyranosauri spali a následně se zvedali ze země, to s jistotou nevíme. Pravděpodobně odpočívali s pokrčenými nohama a váhu přenašeli na mohutný kýl stydě kosti, který vyztužoval jejich tělní dutinu proti ohromnému tlaku. Vstávání samozřejmě představovalo velmi nesnadný a nebezpečný úkol, protože uklouznutí a následně zlomení nohy či žeber by pro tak velké zvíře znamenalo nejspíš jistou smrt. Ostatně podobný výzkum, zaměřený na „trampoty krále dravých dinosaurů s gravitací“ byl publikován již v roce 1995. ■

Vladimír Socha,

Hvězdárna a planetárium v Hradci Králové
Jana Žďárská, Fyzikální ústav AV ČR

(Poznámka redakcie: V spojení s dinosaurmi existuje stále veľa fám a nesprávnych interpretácií. Vďaka známym popularizátorom tejto tematiky, ako bol napríklad Jaroslav Mareš alebo v súčasnej dobe Vladimír Socha, sa dari vžitie omyly a mýty vyvracať. Ďalšie poznatky o dinosauroch, ku ktorým došla moderná veda, čitateľom sprostredkujeme v niektorom z ďalších čísiel Kozmosu).



Dokonce i pro nejrychlejšího člověka planety Jamajčana Usaina Bolta by byl Dilofosaurus nepřekonatelným soupeřem.