

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 30 (2002/2003)

Številka 1

Strani 12-15

Janez Strnad:

O GIBANJU DINOZAVROV

Ključne besede: fizika, mehanika, hoja, tiranozaver, gibanje vretenčarjev.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1502-Strnad.pdf>

© 2002 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

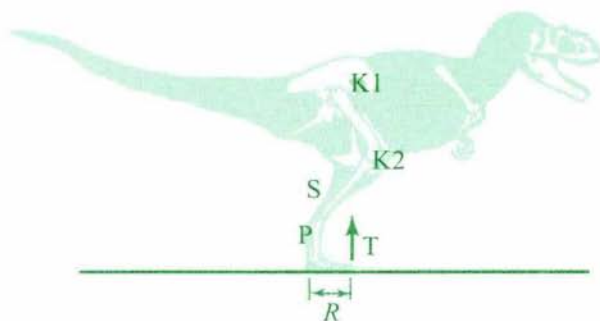
© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

O GIBANJU DINOZAVROV

Članek *Kako hitro so se gibali dinozavri?* (Presek **27** (1999/2000) 142) je opisal, kako so fiziki pomagali določiti hitrost izumrlih plazilcev. Privzeti smemo, da so vsi vretenčarji *geometrijsko podobni* in se gibljejo *dinamično podobno*. Potem je razmerje dolžine koraka in dolžine nog linearno odvisno od hitrosti, deljene s korenem iz zmnožka težnega pospeška in dolžine nog. Dolžino nog so določili po izkopanih okamenelih kosteh in dolžino koraka po okamenelih sledih stopinj. Ugotovili so, da so plazilci z majhno maso tekli hitro, dvonožni plazilci z maso pol tone npr. s hitrostjo do 12 m/s. Plazilci z veliko maso pa naj bi se premikali znatno počasneje, strah zbujujoči dvonogi tiranozaver z maso 5 ton npr. s hitrostjo do 2 m/s.

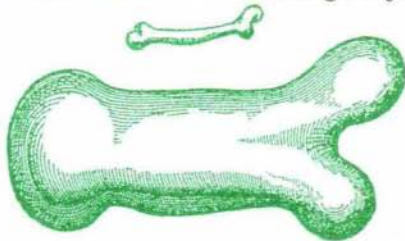
Prav pri tiranozavrih, ki so jim ameriški znanstvenofantastični filmi namenili pomembno vlogo, pa so se pojavile težave. Zanje, kot za druge mesojede velike plazilce, namreč ni bilo mogoče neposredno določiti dolžine koraka, ker ni bilo okamenelih sledi stopinj. Ohranile so se le sledi stopinj manjših plazilcev s krajšim korakom. Po primerjavi okostja tiranozavra z okostji izumrlih velikih ptic in drugih hitrih tekačev so nekateri raziskovalci sklepali, da je tiranozaver lahko dosegel hitrost 20 m/s. Takemu plenilcu z 2,5 metra dolgimi nogami in zelo močnimi čeljustmi ne bi mogla ubežati nobena žival (slika 1). Drugi pa so trdili, da bi se tiranozaver resno poškodoval, če bi se spotaknil pri hitrosti, večji od 10 m/s, in da zato ni mogel doseči tolikšne hitrosti. V Presekovem članku smo kot mejo hitrosti pettonskega tiranozavra navedli 2 m/s. Mnenja o največji hitrosti tiranozavra so se potemtakem močno razhajala.



Slika 1. Model odraslega tiranozavra z nazakanim okostjem: K1 kolčni sklep, K2 koleno, S skočni sklep, P sklep prsta na nogi, T prijemališče sile tal, ki bi pri ročici R ob odzivu na sredi koraka, ko bi med tekom bilo težišče tiranozavra najnižje, dosegla 2,5-kratno težo.

Zato je zbudil precej pozornosti članek Johna R. Hutchinsona in Mariana Garcie *Tiranozaver ni bil hiter tekač*, ki je izšel v februarški številki londonske revije *Nature*. Osnovne zamisli članka so razmeroma preproste.

Podobne je uporabil že Galileo Galilei v knjigi *Razprave in matematični dokazi v dveh novih znanostih, ki zadevata mehaniko in lokalna gibanja* leta 1638. "Mehanika" ali "prva nova znanost" je zajela razpravo o trdnosti: "Po rečenem preprosto vidite, da ni mogoče izdatno povečati velikosti predmetov v umetnosti ali v naravi. Niti ni na primer mogoče zgraditi zelo velikih ladij, palač ali svetišč, da bi njihova vesla, jadri prečniki, železne vezi, skratka vsi deli, opravljali svoje naloge, niti ne more narava ustvariti izredno velikih dreves, ker bi se njihove veje odlomile zaradi lastne teže. Tako ne bi bilo mogoče sestaviti kosti ljudi, konj in drugih živali, da bi opravljale svojo običajno nalogo, če bi močno povečali višino teh živali" (slika 2).



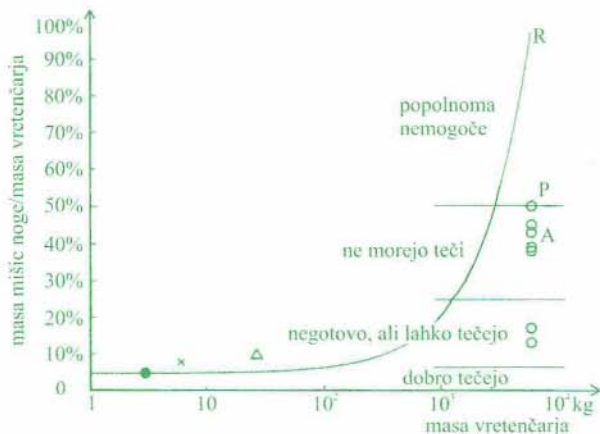
Slika 2. Galilei je narisal kost in trikrat daljšo kost s trikrat večjo trdnostjo. "S slike lahko razberete, kako nesorazmerna se zdi večja kost. Jasno, če kdo pri velikanu želi obdržati enako razmerje udov kot pri navadnem človeku, mora najti tršo in močnejšo sestavino kosti, ali se mora sprijazniti z zmanjšano močjo glede na ljudi. Če bomo povečali višino, bo [velikan] padel in ga bo stisnila lastna teža."

Prostornina geometrijsko podobnih teles in z njo masa naraščata sorazmerno s kubom linearnih razsežnosti, trdnost kosti pa sorazmerno z njihovim presekom, to je sorazmerno s kvadratom linearnih razsežnosti. Iz tega izhaja približni *potenčni zakon*, da je trdnost sorazmerna s kvadratom linearne razsežnosti, ki je sorazmeren z maso na eksponent $\frac{3}{2}$. Glede na tak razmislek bi moral imeti zelo velik kopenski vretenčar zelo debele kosti. Smiselno je namreč privzeti, da imajo vsi vretenčarji približno enako zgrajene kosti.

Podobno je mogoče sklepati za mišice. Tudi sila, s katero more delovati mišica vretenčarja, je sorazmerna s presekom mišice. Učinkovitost mišic je po tem približno sorazmerna z maso na eksponent $\frac{2}{3}$ in specifična, to je na enoto mase preračunana, učinkovitost mišic sorazmerna z maso na eksponent $-\frac{1}{3} = -0,33$. Mišice potemtakem delujejo tem bolj učinkovito, čim manjša je masa vretenčarja. (Podrobnejša raziskovanja so pokazala, da je specifična učinkovitost sorazmerna z maso na eksponent $-0,26$.) Tako sta sklepala tudi Hutchinson in Garcia, ki sta poleg tega podrobno raziskala razmere v štirih sklepih na nogi: kolčnem, kolenskem, skočnem sklepu in sklepu v prstih. Izračune sta naredila za tiranozavra, manjšega dinozavra ter za piščanca in aligatorja kot zastopnika sedanjih vretenčarjev. Podatke za sedanja vretenčarja je mogoče izmeriti enako kot podatke za dolžino kosti izumrlih plazilcev, maso slednjih pa je mogoče

dokaj zanesljivo oceniti po podobnosti. Predvsem ju je zanimalo razmerje med skupno maso glavnih mišic v štirih sklepih noge in maso vretenčarja. Ugotovila sta, da to razmerje z naraščajočo maso vretenčarja izrazito narašča.

Hutchinson in Garcia sta uporabila več modelov za izumrle plazilce in jih preskusila z modeloma piščanca in aligatorja. Piščanec ima skoraj dvakrat večje razmerje od razmerja, ki omogoča hiter tek, in zato lahko hitro teče. Aligator, bližnji sorodnik tiranozavra, pa ima približno dvakrat manjše razmerje od razmerja, ki omogoča hiter tek, ter se giblje počasi, in to po štirih, ne po dveh. Vretenčar na dveh nogah ima razmerje veliko manjše kot 50%, ker bi ga sicer sestavljale le mišice obeh nog. Po dobljenih izidih sta znanstvenika sklepala, da tiranozaver ni mogel teči. Končni izid sta izrazila dokaj previdno, kar je glede na negotovost nekaterih podatkov in privzetkov pri modelih razumljivo. Po njunem mnenju tiranozaver zagotovo ni dosegel hitrosti 20 m/s in najbrž ne hitrosti 10 m/s, morda v skrajnem primeru 5 m/s. Zanj je bila bolj značilna hoja s hitrostjo 1 do 2 m/s. Ta sklep je mogoče razširiti tudi na druge izumrle plazilce z veliko maso. Tudi ti so se gibal počasi, tako da so lahko postali plen tiranozavrov. Na splošno je mogoče reči, da so kopenski vretenčarji postajali vse počasnejši, ko je naraščala njihova masa.



Slika 3. Razmerje med skupno maso mišic ene same noge vretenčarja in telesno maso izrazito narašča z maso vretenčarja. Krivulja kaže odvisnost za piščanca z vse večjo maso in ustrezno povečanimi drugimi podatki. Pri šestttonskem tiranozavru bi razmerje doseglo 98% (R). Pri dvonožnem vretenčarju je teoretična zgornja meja za razmerje 50%, praktična meja pa je veliko nižja. Tiranozaver ni mogel teči! Votli krožci ustrezajo raznim modelom tiranozavra z maso 6 ton (P z značilnostmi piščanca, A z značilnostmi aligatorja), trikotnik majhnemu dinozavru, križec aligatorju in polni krožec piščancu.

Razprava še enkrat potrjuje misel, da je fizika zelo koristna v drugih vejah naravoslovja in v drugih znanostih.

Vzemimo, da ima glavna mišica v sklepu i z vodoravno osjo gostoto ρ , dolžino l in presek S . Masa mišice je $m_i = \rho Sl$. Mišica lahko uravnesi silo $F = \sigma S$, če na enoto preseka prenese silo σ . Navor te sile je $M = rF$, če prijemlje mišica z ročico r glede na os. Za razmerje med maso mišice in maso vretenčarja m sledi

$$\frac{m_i}{m} = \frac{\rho l S}{m} = \frac{\rho l F}{\sigma m} = \frac{\rho l M}{\sigma r m}.$$

Gostota mišic je pri vseh vretenčarjih približno $1,06 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ in sila na enoto preseka približno $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Pri teku naj bi v trenutku, ko je sredi koraka težišče najnižje in se začne pospešeno gibati navzgor, tla na nogo delovala z 2,5-kratno težo vretenčarja (pri noju so izmerili 2,7-kratno težo). Tedaj smemo vzeti, da je vsota sil v sklepih enaka sili tal in navor sil v sklepih enak navoru sile tal z ročico R od prstov do sklepa v prstih. Pri tem privzamemo, da teče vretenčar s hitrostjo 20 m/s, ko je kvocient te hitrosti in korena iz zmnožka dolžine nog s težnim pospeškom enak 4.

V kolčnem sklepu tiranozavra je npr. navor mišice $7,5 \cdot 10^4 \text{ m} \cdot \text{N}$, dolžina mišice 1,2 m in ročica $r = 0,37 \text{ m}$. To da za razmerje med maso glavne mišice v kolčnem sklepu in maso tiranozavra 15%. Za tri druge sklepe dobimo v tem primeru razmerja 4%, 15% in 9%, kar da skupaj 43% in za obe nogi 86%. Različni modeli so dali za tiranozavra z maso 6 ton v teku za omenjeno razmerje od 26% do 100%. Nasprotno od tega so za razmerje mišic noge in mase telesa pri tiranozavru neposredno izmerjeni podatki dali veliko manj, samo 7% do 10%. To je dopustilo sklep, da je tiranozaver imel premalo mišic, da bi izravnale silo tal in njen navor pri odzivu med tekom, torej ni mogel teči. Za piščanca in aligatorja izračunamo razmerji 4,7% in 7,7%, medtem ko dajo merjenja 8,8% in 3,6%. Po tem smo prej trdili, da ima piščanec skoraj dvakrat večje razmerje od razmerja, ki omogoča hiter tek, in aligator razmerje približno dvakrat manjše od razmerja, ki omogoča hiter tek, kar pomeni, da piščanec lahko hitro teče, aligator pa se giblje le počasi.