

### Бягането – енергиен подход

Бягането представлява поредица от скокове, при които потенциалната енергия на бегача периодично нараства и намалява. Периодично намалява (в моментите, когато изнесенят напред крак докосне земята) и се увеличава (при отгласване от земята) и неговата кинетична енергия.

Да разгледаме бягането на един добър маратонец с маса 70 kg и средна скорост 4,5 m/s. При всяка крачка неговият център на масите се издига и спуска примерно с 6 cm, което прави разлика в потенциалните енергии между най-високото и най-ниското положение на центъра на масите  $mg\Delta h = 70 \cdot 9,8 \cdot 0,06 = 41$  J. Ако при бягането на всяка крачка промените на скоростта са между 4,4 m/s и 4,6 m/s, промяната на кинетичната енергия на бегача е  $\frac{m}{2}(v_{\max}^2 - v_{\min}^2) = \frac{70}{2}(4,6^2 - 4,4^2) = 63$  J. Следователно, на всяка крачка общата механична енергия на бегача варира с около 100 J.

Ако в краката няма някакъв механизъм, чрез който тази механична енергия да се превръща в друг вид и след това – отново в механична, в мускулите, които действат като спирачки, би следвало на всяка крачка да се отдели 100 J количество топлина. При следващата крачка мускулите следва да извършат най-малко 100 J механична работа, за да поддържат средната скорост на движението. Загубите на енергия при такова бягане биха били твърде големи.

Всъщност, природата ни е снабдила с твърде ефикасен механизъм, който позволява голяма част от въпросната енергия да се спести. Този механизъм е скрит в сухожилията, посредством които мускулите се свързват с костите. Именно сухожилията играят роля на пружини, в които може да се натрупа известен запас от енергия – както във всяка свита или разтегната пружина. Механичните свойства на сухожилията могат да бъдат изследвани по същия начин, по който се изследват за всяко друго тяло. Подобни изследвания показват, например, че еластичните им свойства са подобни на тези на найлона. (това не е изненадващо, защото и найлонът, и колагенът – главната съставка на сухожилията, са полимери.)

При оценяване каква енергия може да се запаси в едно сухожилие, когато то се разглежда като пружина, ще използваме тази аналогия и ще отчетем, че една найлонова нишка се къса, когато силата, която действа на  $1 \text{ mm}^2$  от напречното ѝ сечение, надмине  $100 \text{ N/mm}^2$ , при което тази сила предизвиква 8 % удължение на нишката.

Най-важна роля за спестяване на енергия при бягането играе ахилесовото сухожилие, което е свързано с петата. Неговата дължина е примерно  $l = 30$  cm, а напречното му сечение  $S = 90 \text{ mm}^2$ . Сухожилието би се скъсало от сила  $F_{\max} = 100 \cdot 90 = 9$  kN, при което удължението му би било  $\Delta l = 0,08 \cdot 30 = 2,4$  cm. Това означава, че

$$\text{коефициентът на пружината е } k = \frac{F_{\max}}{\Delta l} = \frac{9 \cdot 10^3}{0,024} = 375 \text{ kN/m.}$$

Сигурно няма да бъдем много далеч от истината, ако предположим, че в процеса на бягане максималното удължаване на ахилесовото сухожилие е около  $\Delta l = 1,5$  cm. (С това предположение ние се осигуряваме, че сме далеч от границата, при която сухожилието се къса.) При това максимално удължение запасената в сухожилието

енергия ще бъде  $E_{\text{пр.}} = \frac{k}{2}(\Delta l)^2 = \frac{1}{2} \cdot 375 \cdot 10^3 \cdot 0,015^2 = 42$  J. С други думи, при разтягане

само на ахилесовото сухожилие в процеса на бягане се запасява около 40 % от онази механична енергия, която иначе би се отделила като количество топлина в мускулите. При скъсяването на сухожилието тази енергия отново се превръща в механична (кинетична и потенциална), намалявайки по такъв начин механичната работа, която трябва да извършат мускулите.

Всъщност, от енергийна гледна точка нещата са по-сложни, защото сухожилието не е идеална пружина – то не връща цялата запасена енергия, тъй като около 7 % от нея се отделя в него като количество топлина.

Повече информация по въпроса (и въобще за ролята на еластичността при движението на човека) може да се намери в статията на R. McNeill Alexander *Human elasticity*, Phys. Educ., 6, 1994, от където са взети посочените по-горе данни.