

**Megoldás.** A közölt adatokon kívül néhány további számadatra is szükségünk lesz, ezeket a hivatkozott videofelvétel és régebbi emlékeink alapján becsülhetjük meg.

Az első, durva becslés szerint az atléta sebessége a futásnál kb.  $v = 10$  m/s, egységnyi testtömegre jutó (ún. fajlagos) mozgási energiája tehát ilyenkor

$$\frac{E_{\text{futás}}}{m} = \frac{v^2}{2} \approx 50 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

A rúdugrásnál, ha  $h = 5$  m-es emelkedési magassággal számolunk, akkor az egységnyi testtömegre jutó (fajlagos) helyzeti energiája (a talajszinhez viszonyítva)

$$\frac{E_{\text{ugrás}}}{m} = gh \approx 50 \frac{\text{J}}{\text{kg}}.$$

Ez a két energia – ebben a közelítésben – megegyezik; ha tehát el akarjuk dönteni, hogy melyikük a nagyobb, finomabb megfontolásokat kell alkalmaznunk.

A  $d = 100$  méteres síkfutásnál az atléta maximális sebessége biztosan nagyobb, mint a 9,57 m/s-os átlagsebessége, hiszen nulla kezdősebességről indul. Jó becslés lehet, ha a futást egy kb.  $t_1 = 3$  s ideig tartó egyenletesen gyorsuló mozgásra és a maradék  $t_2$  ideig tartó egyenletes,  $v$  sebességű mozgásra bontjuk:

$$d = \frac{1}{2}at_1^2 + vt_2.$$

Felhasználva, hogy  $v = at_1$ :

$$d = \frac{1}{2}vt_1 + vt_2,$$

ahonnan a futó maximális sebessége:

$$v = \frac{d}{\frac{t_1}{2} + t_2} = \frac{100 \text{ m}}{1,5 \text{ s} + 7,45 \text{ s}} \approx 11 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

az ennek megfelelő fajlagos mozgási energia pedig kb. 60 J/kg.

Arról sem szabad megfeledkezni, hogy a futónak is van (a talajszinhez viszonyítva) helyzeti energiája. Az atléta súlypontját megközelítőleg  $h_0 = 1$  méter magasra becsülhetjük, így a fajlagos helyzeti energiája  $gh_0 \approx 10$  J/kg, összenergiája pedig kilogrammonként

$$\frac{E_{\text{futás}}}{m} = \frac{1}{2}v^2 + gh_0 \approx 70 \frac{\text{J}}{\text{kg}},$$

ami határozottan nagyobb, mint a rúdugrásnál (első közelítésben) számolt érték.

Vizsgáljuk most a rúdugrás esetét! Vannak-e olyan (az első közelítésben figyelmen kívül hagyott) tényezők, amelyek még járulékot adhatnak a sportoló mechanikai energiájához, és legfeljebb mekkora lehet ez a járulék?

A rúdugrónak az 5 méter magas lécz fölé kell emelkednie; ha ezt vízszintes testhelyzetben teszi, akkor a tömegközéppontja egy kicsivel, mondjuk 30 cm-rel a lécz fölé kell kerülnie. (Ügyes technikával, meghajlított testhelyzettel az is elérhető, hogy a sportoló tömegközéppontja mindvégig a lécz alatt maradjon, miközben minden testrésze áthalad a lécz fölött.) Ez a kis ráadás a helyzeti energia maximális értékét (most már a pontosabb  $g$ -vel számolva) 52 J/kg-ra növeli.

A rúdugrónak az ugrás legmagasabb pontjában (tehát amikor a függőleges irányú sebessége nullára csökkent) rendelkeznie kell valamekkora vízszintes sebességgel, ha át akar *haladni* a lécz felett. Ez a sebesség kb. 1 m/s, amit onnan tudunk, hogy az 5 méteres esés kb. 1 másodpercnyi ideje alatt alig 1 méternyit távolodik el a lécz tartóoszlopainak síkjától (lásd a videofelvételt). A vízszintes irányú mozgáshoz tartozó fajlagos energiajáruléka tehát mindössze 0,5 J/kg, a többi tag mellett nem számottevő. Ugyanilyen nagyságrendű, legfeljebb 1 J/kg a sportoló testének forgásából származó energia is. (A videofelvételen látjuk: az esés 1 másodpercnyi ideje alatt a földet érésig kb. fél fordulatot tesz meg a lécz felett vízszintes testhelyzetben áthaladó és a földre is vízszintes helyzetben érkező sportoló.)

Mindent összevetve a rúdugró mechanikai energiája tömegegységenként legfeljebb 55 J/kg, vagyis biztosan kevesebb, mint a síkfutásnál számolt 70 J/kg.

Ehhez a következtetéshez hosszas számolás nélkül is eljuthattunk volna, ha meggondoljuk: a rúdugró mechanikai energiája a lécz feletti helyzetben legfeljebb akkora lehet, mint amekkora a nekifutás során elért legnagyobb mozgási + helyzeti energiája volt. Mivel a sportoló – a kezében lévő rúd miatt – rúdugrásnál biztosan nem tud olyan gyorsan futni, mint a 100 méteres síkfutás során, a helyzeti energiája pedig mindkét futásnál ugyanakkora, az összes mechanikai energiája *a síkfutásnál volt nagyobb*.

*Megjegyzések.* 1. A megoldás során hallgatólagosan feltételeztük, hogy a sportoló tömege a két olimpia között eltelt 4 évben nem változott meg számottevően.

2. Ha a helyzeti energiákat nem a talajszinhez, hanem valamilyen más magassághoz (pl. a futó tömegközéppontjának magasságához) viszonyítjuk, akkor a mechanikai energiák számértéke megváltozik, de a különbségük ugyanakkora marad. Emiatt értelmetlen arról beszélni, hogy hányszor nagyobb az egyik esetben az összenergia a másiknál.