kísérlet, labor

Katedra

Emberközeli és interdiszciplináris fizikatanítás

II. rész

A szív fizikája

Mérjük meg a vérnyomásunkat!

Ráhelyezzük a felkarunkra a nyomásmérő tömlőjét, rászorítjuk, elzárjuk a levegő kiáramló csapját, meghallgatjuk a pulzusunkat a sztetoszkópban. Addig pumpáljuk bele a levegőt, amíg már nem halljuk a pulzusunkat. Ezután lassan kiengedjük a levegőt. Megjegyezzük a manométer által mutatott nyomást, amikor meghalljuk az első lüktetést (szisztolés nyomás), majd tovább engedve ki a levegőt, feljegyezzük azt a nyomásértéket is, amelynél ismét eltűnik a pulzusunk (diasztolés nyomás). Ma már karra helyezhető elektronikus nyomásmérők léteznek, amelyek egyből megadják e két értéket. (Figyelem, pontosabb értéket adnak azok a vérnyomásmérők, amelyeket a felkarra kell helyezni!)

A szív szerkezete és működése

A szív szervezetünk hajtómotorja. Önálló idegrendszerrel rendelkezik, akaratunkkal működését nehezen lehet befolyásolni. Négy üregből áll, kettőt kamrának, kettőt pitvarnak nevezünk. Kétféle vért pumpál folyamatosan a szervezetünkbe a két vérkörünkben, az artériás és a vénás vért. Az egyik oxigéndús és a sejteket táplálja, a másik a tüdőhöz vezet, ahol oxigénnel telítődik. Másodpercenként átlagban mintegy 72-szer húzódik össze izmai révén, és pumpál hozzávetőleg 70 ml vért az erekbe. A bal kamra és a jobb pitvar közötti szisztolés nyomáskülönbség (normális körülmények között 120 Hgmm értékű), juttatja ki a vért az érrendszerbe.

Mekkora munkát végez a szívünk egyetlen összehúzódás során?

Tudva, hogy a munka a nyomáskülönbség és a térfogatváltozás szorzata. A bal kamra által végzett mechanikai munka, miközben a vért a jobb pitvarba átnyomja:
$L_0 = \Delta p \cdot \Delta V = 120 \cdot 133{,}3 \cdot 70 \cdot 10\text{-}6 = 1{,}12$ J, ahol 1 Hgmm = 133,3 N/m2.

Mekkora munkát végez a szívünk egy perc alatt?

Egy perc alatt a szív átlagban mintegy 70 összehúzódást végez. Ez idő alatt a bal kamra által végzett mechanikai munka értéke: $L_1 = N \cdot L_0 = 70 \cdot 1{,}12 = 78{,}4$ J.

Ha a jobb kamra munkáját is figyelembe vesszük, amelynek értéke az előbbinek egy ötöde, azt kapjuk, hogy a két kamra együttes munkája percenként hozzávetőlegesen $L \approx 100$ J.

Mekkora munkát végez a szívünk egész életünk alatt?

Ha az átlagéletkort 70 évnek tekintjük, akkor ez idő alatti percek száma 70 év = $70 \cdot 365{,}25 \cdot 24 \cdot 60 = 3{,}68 \cdot 10^7$ perc, ami alatt a szív $L = 3{,}68 \cdot 10^7 \cdot 100 = 3{,}68 \cdot 10^9$ J munkát végez.

Milyen magas pályára lehetne feljuttatni ezzel a munkával egy 2 tonna tömegű műholdat?

$L \approx mgh$, ahonnan kifejezve a h magasságot:
$h = L/mg = 3{,}68 \cdot 10^9 / 2 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 = 187$ km.

Miért fárad el a szív idősebb korban?

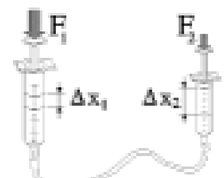
Mivel idős korra az erek belső falára általában mész rakódik le (érelmeszesedés), keresztmetszetük lecsökken, nagyobb nyomást (kóros esetben 160Hgmm-nél nagyobbat is) kell a szívnek kifejtenie az ellenállás legyőzéséhez. Ezért a szívnek hozzávetőlegesen 25%-al nagyobb teljesítményt kell kifejtenie.

A normális szív teljesítménye

A teljesítmény: $P = L/t$ a nyomás és a térfogathozam szorzatával is kifejezhető, azaz = pQ_V. A mi példánk esetén $P = 100J/60s = 1{,}67W$. Könnyen belátható, hogy ugyanezt az értéket kapjuk a nyomással és a térfogathozammal is. Összehasonlítva ezt egy zseblámpaizzó teljesítményével: $P = UI = 3{,}5V \cdot 0{,}2A = 0{,}7W$, látható, hogy 2-3 ilyen izzót tudna a szívünk működtetni.

Köri feladatok

1. *Az $L = \Delta p \cdot \Delta V$ képlet levezetése*



Tekintsük az ábrán látható, vízzel telt eszközt! Pascal törvénye értelmében a két fecskendőben az erők által létrehozott nyomás azonos: $p_1 = p_2$, ami erő szorozva keresztmetszet formában: $F_1/S_1 = F_2/S_2$.

Mivel a folyadék összenyomhatatlan, $\Delta V = \Delta x_1 S_1 = \Delta x_2 S_2$ = állandó. Ha ezt a folyadéktérfogatot F_1 erővel átnyomjuk az egyik fecskendőből a másikba, az F_2 ellenálló erő ellenében, akkor a végzett mechanikai munka:

$$L_0 = F_1\Delta x_1 - F_2\Delta x_2 = F_1\Delta V/S_1 - F_2\Delta V/S_2 = (p_1 - p_2)\Delta V = \Delta p \cdot \Delta V.$$

2. *Az $L = mR^2g_0[1/R - 1/(R+h)]$ képlet levezetése*

A mechanikai munka változó tömegvonzási erő esetén integrállal számítható ki:

$$L = \int_R^{R+h} F dr = \gamma mM \int_R^{R+h} \frac{dr}{r^2} = \gamma mM\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+h}\right) = R^2 mg_0 \frac{h}{R(R+h)} \approx R^2 mg_0 \frac{h}{R^2} = mg_0 h$$

Az egyetemes tömegvonzás törvénye $F = \gamma mM/r^2$. (A $\gamma = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Nm^2/kg^2 az egyetemes tömegvonzási állandó.) Ha az m tömegű test a Föld felszínén van, azaz $r = R = 6{,}37 \cdot 10^6$m a Föld sugara, akkor ez az erő éppen a test súlya: $G = mg_0$ (ahol $g_0 = 9{,}81$ m/s^2 a nehézségi gyorsulás). Következésképpen $\gamma mM/R^2 = mg_0$. Innen $\gamma mM = mg_0R^2$. Nem túl nagy magasságra (pl. 100-200 km esetén) $R \approx R+h$, a hiba csupán 1,5-3%. Tehát, a Föld gravitációs tere ellenében végzett munka egyenlő a tömeg és a gravitációs potenciálkülönbség közötti szorzattal: $L = m[\gamma M/(R+h) - \gamma M/R] = mR^2g_0\,[h/(R+h)R] \approx mg_0h$.

3. *A $P = p\,Q_V$ képlet levezetése*

$P = L/t = mgh/t = \rho Vgh/t = (\rho gh)(V/t) = p_{helyz}Q_V$.

$P = E_{kin}/t = mv^2/2t = \rho Vv^2/2t = (\rho v^2/2)(V/t) = p_{din}Q_V$.

Könyvészet

1] Tarján Imre: **Fizika** - orvosok és biológusok számára. Medicina könyvkiadó, Budapest, 1971.
2] Heinrich László: **Színes fizika**. Dacia könyvkiadó, Kolozsvár, 1987.

Kovács Zoltán