

CONTRIBUȚII LA STUDIUL ENERGETIC AL APARATULUI CIRCULATOR: DESPRE INCREDIBILA ECONOMICITATE A ORGANISMULUI UMAN

Victor BENCHE, Virgil-Barbu UNGUREANU

Universitatea Transilvania din Brașov

e-mail: virbung@unitbv.ro

Abstract. The purpose of this paper is to realise a comparative study of the heart and circulating system with the generally technical systems. It is bring arguments and made some calculus (using the conventional hydraulics of machines and conduits) and it is demonstrate the incredible energetic efficiency of the human organism. The numeric applications refer to the pump with the best performance – the heart and the high economic engine – the human organism. The comparative study justifies and stimulates the interest for discovery, research and high valorisation of the complicated mechanisms of the human organism.

1. INTRODUCERE

Este greu de imaginat și modelat un agregat cu un sistem de instalații atât de complex încât lichidul care curge prin el poate transporta în siguranță substanțe nutritive, apă, oxigen și substanțe reziduale. Aceste conducte au capacitatea de a se repara singure și de a se dezvolta în funcție de necesități în continuă schimbare. Ce remarcabilă realizare inginerească!

Sistemul de instalații din corpul omenesc are mult mai mult funcții. El reglează temperatura corpului, transportă un număr uimitor de hormoni sau mesageri chimici și de apărători puternici împotriva bolilor. De asemenea, întreaga rețea este moale și elastică, reușind să amortizeze șocurile și să se îndoie cu ușurință după mișcările membrilor corpului.

Aparatul circulator uman este alcătuit de fapt din două sisteme care conlucrează. Unul este sistemul cardiovascular, care cuprinde inima, sângele și toate vasele sanguine (fig. 1). Celălalt este sistemul limfatic, o rețea de vase care introduce excesul de fluid din țesuturile corpului, numit limfă, în fluxul sanguin.

Celulele sanguine parcurg o distanță de 100.000 km prin vasele de sânge.

Centrala motrice din spatele sistemului cardiovascular este, bineînțeles, inima. Fiind aproximativ de mărimea unui pumn, ea pompează zilnic 9500 litri de sânge în tot corpul, ceea ce echivalează cu o ridicare zilnică a unei greutate de o tonă la înălțimea de 10 metri!

După calculele noastre, puterea consumată în acest scop este doar:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 10}{24 \cdot 3600} = 1,13 \text{ [W]}. \quad (1)$$

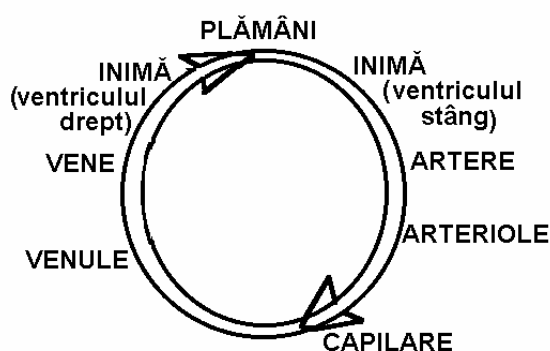


Fig. 1. Schema sistemului cardiovascular

O pompă volumică de concepție convențională ar trebui să asigure o creștere de presiune:

$$\Delta p = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 10}{9500 \cdot 10^{-3}} = 1,03 \cdot 10^4 [\text{Pa}], \quad (2)$$

ceea ce echivalează cu o tensiune arterială:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho_{\text{Hg}} \cdot g} = 7,72 \text{ cm col Hg}. \quad (3)$$

Cea mai mare arteră a corpului, aorta și ramificațiile ei principale sunt « conducte elastice ». Lumenul, sau calibrul arterial inferior, este larg, permițând sângelui să curgă nestingherit. De asemenea, pereții lor sunt groși, musculoși, căptușiți cu patru învelișuri concentrice de elastină, o proteină asemănătoare cauciucului. Când ventriculul stâng pompează sângele în aceste artere, ele se lărgesc, absorbind presiunea mare și propulsând sângele spre următorul grup de artere și anume arterele musculare sau distribuitoare, ai căror pereți conțin, la rândul lor, elastină.

Arterele distribuitoare variază în diametru de la 1 cm la 0,3 mm. Anumite fibre nervoase permit dilatarea și comprimarea acestor vase care contribuie la reglarea fluxului sanguin, făcând ca activitatea aparatului circulator să fie extrem de dinamică. Arterele « simt » sângele curgând și reacționează. Ele sunt « conducte inteligente ».

În momentul în care sângele părăsește cele mai mici artere, arteriolele, presiunea lui este constantă, de aproximativ 35 mmHg, necesară pătrunderii în capilarele având diametrul cuprins între 8 și 10 μm .

Sistemul cardiovascular este atât de activ, încât, chiar și atunci când o persoană este în repaus, prin inimă trec aproximativ 5 litri de sânge pe minut. Mersul pe jos mărește această cantitate la 6 litri și e posibil ca prin inima unui maratonist sănătos să treacă 35 litri de sânge pe minut!

Organismul uman transformă (convertește) incredibil de eficace energia potențială biochimică (hrana) în energie biomecanică. În cele ce urmează se prezintă câteva exemplificări (aplicații).

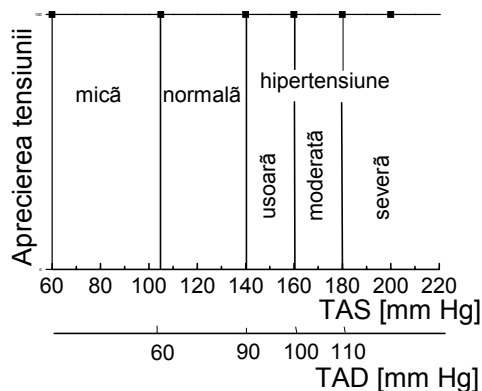


Fig. 2. Aprecierea tensiunii arteriale

2. CEA MAI ECONOMICĂ POMPĂ ESTE INIMA

Notăm capacitatea inimii cu q (notație folosită la pompele volumice pentru volumul de lucru sau cilindrul) și frecvența cu f . Capacitatea medie a inimii este $q = 45...70 \text{ cm}^3$, iar masa $m = 250...300 \text{ g}$. Ritmul contracțiilor, (bătăile de puls) ce încheie, fiecare, o sistolă cardiacă, este dat de frecvența normală $f = 60...70$ bătăi/min.

Inima pompează peste 200000 tone de sânge în 75 ani, circa $7200 \frac{\text{l}}{24\text{h}} \cong 5 \frac{\text{l}}{\text{min}}$.

Presiunea arterială este pulsatorie, în limbaj curent fiind denumită tensiune arterială. Valoarea mai mare a tensiunii este tensiunea arterială sistolică (TAS) – sistola

fiind contractia fibrelor musculare ale inimii, iar valoarea mai mică a ei este tensiunea arterială diastolică (TAD) – diastola fiind relaxarea fibrelor musculare ale inimii.

Sunt considerate ca valori normale următoarele:

- $(TAS)_{normală} = 105...140 \text{ mm Hg}$;
- $(TAD)_{normală} = 60...90 \text{ mm Hg}$.

Aprecierea tensiunii este redată în figura 2.

Debitul inimii (notat cu Q) este vehiculat în întregul organism prin vase variabile, de la aortă la vene, până la cele mai mici capilare. Vena este un vas de sânge (conductă) cuprins între sistemul capilar și atriile inimii, în care sângele circulă spre inimă. Ca o particularitate structurală este de relevat prezența valvulelor semilunare în venele ascendente, care împiedică recurgerea gravitațională a sângelui în direcția capilarelor (deci supape de trecere unisens).

Se consideră un $(TAS)_{normal} = 130 \text{ mmHg} = 130/750 = 0,173 \text{ bar} = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ și un debit normal $Q = 5 \text{ l/min} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

Debitul mediu variază, între anumite limite, după legea:

$$Q = f \cdot q = (45...70) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(60...70)}{60} = (4,5...8,2) \cdot 10^{-5} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right], \quad (4)$$

reprezentată în figura 3.

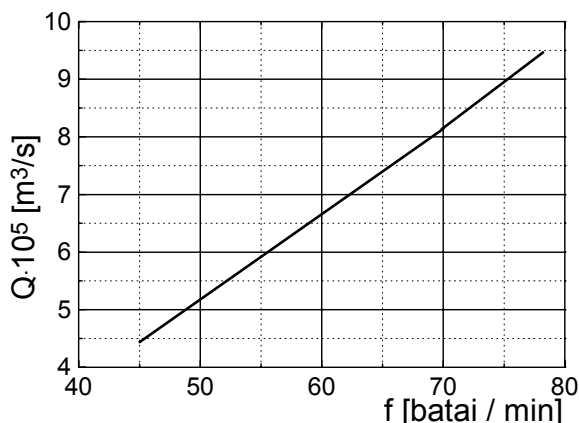


Fig. 3. Variația debitului sanguin

Se consideră formula:

$$Q = \mu \cdot A \cdot v_T \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (5)$$

și viteza Torricelli (teoretică, maximă, ideală)

$$v_T = \sqrt{\frac{2}{\rho} (TAS - TAD)} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \quad (6)$$

în care $A \text{ [m}^2\text{]}$ este secțiunea de trecere a conductei, μ - coeficientul de debit:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta_{ech}}}, \quad (7)$$

α - coeficientul lui Coriolis dependent de regimul curgerii, $\sum \zeta_{ech}$ - suma

coeficienților de rezistențe hidraulice locale, $\rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$ - densitatea lichidului.

Cu valorile normale pentru debit și tensiune se obțin:

$$v_T = 3,65 \text{ m/s}; \quad (8)$$

$$\alpha + \sum \zeta_{ech} = 2,6; \quad (9)$$

$$\mu = 0,62; \quad (10)$$

$$A = 3,67 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2, \quad (11)$$

și în final diametrul echivalent pentru o conductă circulară:

$$d_{ech} = 6,8 \text{ mm}. \quad (12)$$

Rezultă puterea hidraulică normală:

$$N_{h,normala} = (TAS)_{normal} \cdot Q = 1,73 \cdot 10^4 \cdot 8,3 \cdot 10^{-5} = 1,44 \text{ W}, \quad (13)$$

ceea ce ar echivala cu o disipare energetică de 5,18 kWh în timp de o oră.

În figura 4 se prezintă puterea hidraulică pentru (TAS) în anumite limite, pentru o valoare a debitului Q constantă.

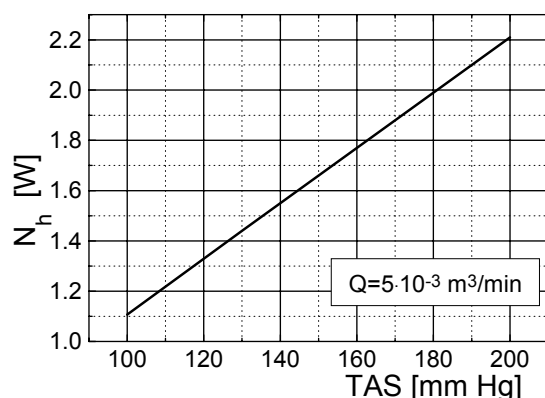


Fig. 4. Puterea hidraulică pentru (TAS) la debit constant

Valorile obținute pentru rezistența hidraulică echivalentă și pentru puterea hidraulică consumată sunt incredibil de mici, în raport cu « mastodonții » tehnici inventați de om, pompele și circuitele hidraulice moderne folosite în ingineria industrială (energofage, cu greutate și volum specific mare, randamente de conversie a puterii mecanice de antrenare în putere hidraulică încă nesatisfăcătoare, complicate tehnic - număr de repere, montaje, reglaje ș.a.), cu motoare de antrenare prezentând, de asemenea, toate inconvenientele de mai sus, cu reglabilitate/adaptare la condiții funcționale variabile greoaie și neeconomice.

În continuare se compară

« hidraulica inimii » cu o situație tehnică industrială.

Se pompează un lichid cu proprietățile sângelui, având $Q = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, printr-o conductă dreaptă, netedă, $\Phi d = 6,8 \text{ mm}$, cu o presiune egală cu $(TAS)_{normal} = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Pa}$. Rezultă o viteză reală $v = 2,3 \text{ m/s}$, un număr Reynolds $Re = 1,56 \cdot 10^4$ (regim turbulent neted), un coeficient al pierderilor hidraulice liniare cu formula Blasius:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = 0,0285, \quad (14)$$

coeficientul Coriolis $\alpha = 1,1$ și suma coeficienților de pierderi locale $\sum \zeta_{ech} = 1,5$.

Calculul lungimii maxime de conductă, ce poate fi parcursă în condițiile de mai sus, conduce la $l = 1,3 \text{ m}$, ceea ce e foarte puțin (în raport cu lungimea aparatului circulator al omului).

Există preocuparea și s-a reușit construcția unor micro și chiar nano-mașini hidraulice extrem de performante. Ele sunt experimentale, deocamdată unicate sau serie foarte mică, cu prețuri de cost fabuloase. Inima și sistemul ei circulator sunt vii « inteligente », sistemul nervos vegetativ exercită efecte stimulative sau inhibitoare asupra activității cardiace, asigurând astfel acomodarea activității cardiace adică acomodarea activității inimii la cerințele momentane ale organismului. Valoarea tensiunii arteriale este controlată și comandată într-o anumită zonă a creierului (centrul circulator) și reglată în diferite situații printr-o reacție inversă a sistemului nervos. Pentru a regla tensiunea arterială se modifică și forța de contracție și frecvența inimii (pulsul), precum și diametrul vaselor de sânge.

3. TERAPIE PENTRU TRATAREA INFARCTULUI

La nivelul informării publicului există probabil 20...30% din terapiile folosite ori numai propuse aflate în stadiu de testare, încă necunoscute sau despre care se știe foarte puțin. Iată o tehnică insolită care, cine știe?!, poate că într-o zi va da și rezultatele scontate.

Experiențele efectuate pe animale au dat rezultate pozitive în tratarea infarctului prin accelerație. Pacientul trebuie culcat la orizontală și așezat pe un plan cu deplasare în sensul cap-picioare. Accelerația trebuie să înceapă puțin după ejecția ventriculară a sângelui (către aortă). Principiul este eliberarea inimii de o parte a efortului de pompare a sângelui către aortă.

Autorii apreciază că presiunea (Ta) obținută printr-o mișcare variabilă liniară orizontală cu accelerația a , ce reduce tensiunea/efortul de pompare a sângelui, de densitate ρ , către aortă, este direct proporțională cu accelerația:

$$(Ta) = k \cdot a [\text{mmHg}], \quad (15)$$

k fiind o constantă dimensională:

$$k = \frac{L}{2g} \cdot \frac{\rho_{Hg}}{\rho} [\text{s}^2], \quad (16)$$

L fiind o dimensiune (o lungime) caracteristică, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg/m}^3$.

De exemplu, cu o constantă $k = 1,156 \text{ s}^2$ se poate obține $(Ta) = 14 \text{ cmHg}$ cu $a = 0,12 \text{ m/s}^2$.

Autorii nu au date privind realizarea tehnică, monitorizarea funcționării (Ta), dar își pot imagina unele aspecte. Se afirmă [5], că testele pe animale au dus la supraviețuirea celor supuse accelerației, în timp ce lotul-martor nu a supraviețuit.

4. COMPARAȚIE CU SISTEMELE TEHNICE ACTUALE

Corpul uman transformă cu performanță hrana în energie biomecanică. Pornim de la afirmația [4], că pentru a conduce timp de 60 minute o bicicletă cu 15 km/h avem nevoie de o energie care se obține din mai puțin de 100 g hidrați de carbon, adică echivalentul a 35 g benzină.

Se consideră densitatea benzinei $\rho_b = 760 \text{ kg/m}^3$, cu o putere calorică inferioară $Q_i = 10040 \text{ kcal/kg} = 42035 \text{ kJ/kg}$.

Un gram de benzină poate dezvolta o energie de $42035 \cdot 10^3 \text{ J} = 42,035 \text{ kJ}$, iar 35 g o energie de $1,47 \cdot 10^3 \text{ kJ}$.

Unei viteze de 15 km/h = 4,2 m/s îi corespunde o putere mecanică:

$$N = \frac{\text{Energie}}{\text{Timp}} = \frac{1,47 \cdot 10^3}{3600} = 0,41 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 410 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 410 \text{ W} = 0,41 \text{ kW} \quad (17)$$

și o forță medie:

$$F = \frac{N}{v} = 97,5 \text{ N}. \quad (18)$$

Deplasarea corpului uman cu bicicleta în condițiile arătate (15 km, cu viteza de 4,2 m/s) s-a făcut cu o dezvoltare de putere 410 W = 0,41 kW = 0,56 CP și un consum de energie (echivalent 35 g carburant) uimitor de redus.

Comparăm rezultatele calculelor de mai sus cu situația unui autovehicul rutier comun, de exemplu un autoturism cu 4 locuri, cu o putere instalată (motor cu combustie internă) de 50 CP = 36,7 kW, având un consum mediu de 5,5 l benzină /100 km. Pentru parcurgerea a 15 km cu o viteză limitată la $v_{veh} = 50$ km/h, de exemplu îi este necesar un timp:

$$T = \frac{15}{50} \text{ h} = 0,3 \text{ h} = 1080 \text{ s} \quad (19)$$

(fără încetiniri, opriri, staționări, ceea ce este aproape imposibil în localități!), cu un consum de carburant:

$$C = 5,5 \frac{\text{l}}{100 \text{ km}} \cdot 15 \text{ km} = 0,83 \frac{\text{litri}}{15 \text{ km}} = 630 \frac{\text{g}}{15 \text{ km}}. \quad (20)$$

Dacă vehiculul transportă 4 persoane (nu se întâmplă întotdeauna!) consumul raportat ar fi de $\frac{630}{4} \cong 160 \frac{\text{g benzina}}{\text{persoana}}$ și puterea de $\frac{50}{4} = 12,5 \left[\frac{\text{CP}}{\text{persoana}} \right]$.

Corpul uman ca motor biologic a necesitat în raport cu autovehiculul o putere echivalentă de $12,5/0,56 = 22,3$ ori mai mică și a consumat o cantitate echivalentă de combustibil de $160/35 = 4,55$ ori mai redusă, în condițiile particulare specificate.

Dacă organismul uman ar funcționa pe bază de benzină, un litru ar fi suficient pentru a parcurge o distanță de $\frac{15}{15/0,36} \cdot 10^3 = 330$ [km] (fără gaze arse!).

Studiul și înțelegerea incredibilei economicități a organismului uman, rafinatele, complicatele corelatele și „inteligentele” ei mecanisme (tehnici, procedee) poate conduce la descoperiri și aplicații tehnice spectaculoase, moderne, extrem de avantajoase.

BIBLIOGRAFIE

1. Benche V., Ungureanu V.B. O abordare energetică a hidraulicii conductelor sub presiune. Constanta Ovidius University, Annals of Constructions, vol. I, nr. 2, p. 41...44, May 2000, Constanta.
2. Benche V., Ungureanu V.B. Contributions to the generalisation of the economical calculus for pressurized fluid pipes. Ovidius University, Annals of Constructions, vol. I, nr. 3, April 2002, Constanta.
3. Oroian E., Oroian V. Cel mai economic motor. Revista Magazin Internațional, nr. 500, 2003.
4. Popescu A.N. Terapii bizare. Magazin (săptămânal cultural științific) nr. 634, nr. 29 (2384), p. 14, 17 iulie 2003.
5. Răducanu D. De ți-ar spune inima. Revista Magazin Internațional, nr. 507, p. 4-a 2003.