

CAPITOLUL I.
ORGANUL-D *VERSUS*
TROMPA LUI EUSTACHIO
ÎN VENTILAȚIA URECHII MEDII

La momentul actual, trompa lui Eustachio (TE) este considerată elementul esențial în fiziologia, patologia și evaluarea clinică a urechii medii (UM), cu toate că din punct de vedere epistemologic, acest adevăr științific ar trebui pus sub semnul întrebării. Ipoteza luată actualmente în considerare cu privire la rolul TE în ventilația UM, explică, din perspectiva noastră, în mod insuficient seria de fenomene pentru care a fost enunțată. Autorii doresc să dovedească faptul că teoria ventilației prin trompa lui Eustachio este parțial adevărată și ar trebui completată cu o nouă paradigmă.

Analiza ipotezei actuale trebuie începută cu analiza metodelor prin care a fost definită și stabilirea posibilelor neajunsuri ale acestora. Acest lucru va simplifica elaborarea unei noi teorii.

Această abordare a problemei se poate regăsi încă din anul 1855 la Claude Bernard și ale sale prelegeri „*Sur le role de l'anatomie dans le decouverte des fonctions*” [1,2]. Acesta descrie metoda „*deducției anatomice*” adică definirea funcției unui organ prin inspectarea simplă și directă a părților sale componente. Totuși, Claude Bernard susține că anatomia este consecința fiziologiei și nu vice-versa, stabilind o viziune *fiziologică* sau *funcțională* ce poate studia un fenomen doar în interiorul unui organism viu, fără localizare anatomică preliminară și acceptarea exclusivă a rezultatelor directe ale experimentelor. Cu alte cuvinte, în loc

să căutăm o funcție pe care să o atașăm unui organ, vom căuta organul capabil să îndeplinească acea funcție și localizarea sa anatomică.

Ținând cont de această abordare, este foarte probabil ca funcția trompei lui Eustachio să fi fost definită prin metode *anatomice* care utilizau analogia cu forma sa de conductă ce conectează UM cu rinofaringele și presupunerea automată că fenomenul fizic atașat organului este conducerea fluxului de aer cu originea în rinofaringe spre cavitatea urechii medii. Toate experimentele ulterioare, inclusiv cel clasic condus de Yee A.L. & Cantekin E.I. [3], ce va fi discutat pe larg în rândurile următoare, au pornit de la premiza localizării anatomice conducând astfel la o concluzie greșită sau în cel mai bun caz, incompletă.

Logica formală ne arată că ceea ce era considerat raționament analogic ce ar fi trebuit să conducă la definirea unui model material dar și teoretic fizico-matematic este de fapt o simplă asemănare întâmplătoare. Această asemănare a condus la o descriere plastică a fenomenului: trompa lui Eustachio se deschide prin contracția mușchilor aferenți permițând astfel pătrunderea aerului în urechea medie. Pornind de la această premiză apare un număr de descrieri figurative însă nici una nu explică coerent și fără echivoc, folosind un model material sau teoretic, fenomenul ce stă la baza ventilației urechii medii prin trompa lui Eustachio.

Contradicția fundamentală a teoriei actuale o reprezintă faptul că presiunea aerului din UM are valori inconstante pe parcursul diverselor experimente. Când se explică funcția vibratorie a membranei timpanice (MT) și a lanțului osicular, presiunea se consideră constantă și egală cu presiunea atmosferică, pe când atunci când se explică pătrunderea aerului în UM prin TE presiunea din interiorul UM trebuie să varieze (scade).

Susținem că prin utilizarea metodei *fiziologice*, punctul de pornire pentru stabilirea funcțiilor urechii medii este reprezentat de concluzia experimentală dar și clinică a presiunii identice între urechea medie și atmosfera mediului înconjurător al pacientului. Această concluzie este în concordanță cu premisele teoretice ale funcțiilor vibro-mecanice optime ale membranei timpanice și lanțului osicular.

Pentru a putea evalua cât mai exact cele afirmate mai sus, am re-analizat și comentat experimentul clasic din anul 1985, condus de Yee A.L. & Cantekin E.I. [3] formulându-ne propriile concluzii și comparându-le cu studii similare din literatura de specialitate. Experimentul menționat se dovedește a fi crucial pentru problema studiată și extrem de complex (probabil fără egal până la acest moment). Acesta folosește metoda *fiziologică* discutată anterior pentru a experimenta *in-vivo*, pe exemplare de macac Rhesus (*Macaca mulatta*, vizând întregul organism al animalului, pentru a dovedi, în mod riguros și de netăgăduit, că presiunea gazelor din interiorul UM (p_{ME}) a animalului rămâne constantă și egală cu presiunea atmosferică chiar dacă urechea medie devine o cavitate închisă pe toată durata experimentului (E1). Acest fenomen are loc în ciuda faptului că TE se colabează pentru mai mult de patru ore, cât durează experimentul, din cauza narcozei și curarizării.

$$p_{ME} = p_0 = 760 \cdot \text{torr} = \text{const} \quad (\text{E1})$$

Aceasta egalitate de presiuni reprezintă o condiție fundamentală pentru evaluarea funcției vibratorii a sistemului timpano-osicular. Cu toate acestea, când explicăm pătrunderea aerului în UM prin deschiderea TE,

aceeași presiune pME trebuie considerată variabilă și scăzând sub nivelul presiunii atmosferice ($pME < p_0$; $p_0 - pME = \Delta p$).

În cadrul experimentului, animalul este intubat și ventilat cu circuit închis, cu un amestec de gaze în care fracția de O_2 ($F_{O_2}^A$) variază pe parcursul a cinci ore, la intervale egale (de câte o oră) la valori de 15%, 21%, 40%, 80% și 100%.

În conformitate cu legile schimburilor respiratorii definite de Piiper J.[4], diferența Δp (E2, E3) între presiunea atmosferică și presiunea totală a gazelor respiratorii dizolvate în sângele venos amestecat p_{MVB} variază cu presiunea parțială a O_2 ($F_{O_2}^A$) din amestecul gazos ce ventilează plămânii (E2), începând de la $\Delta p = 52 \cdot mmHg$ pentru 21% $F_{O_2}^A$ până la $\Delta p = 610 \cdot mmHg$ pentru 100% $F_{O_2}^A$ (ventilație cu O_2 pur).

$$p_{MVB} = p_{MVB}(F_{O_2}^A) \quad (E2)$$

$$\Delta p = p_0 - p_{MVB} \quad (E3)$$

Totuși, autorii ajung la concluzia surprinzătoare că pME rămâne constantă și egală cu presiunea atmosferică pe toată durata experimentului (E1) – vezi Tabel 1 & Figura 1. Ținând cont de localizarea și structura anatomică a trompei lui Eustachio, ne-am fi așteptat ca această presiune să scadă. Chiar mai mult, era de așteptat ca această scădere să urmeze graficul unei funcții analitice definită complet de legile schimburilor gazoase [4]. – vezi Tabel 1 & Figura 1.

Această scădere așteptată ar fi avut loc drept consecință a următoarelor fenomene fiziologice (în conformitate cu premisele actuale ale fiziologiei urechii medii):

- a) Lipsa funcției trompei lui Eustachio din cauza curarizării musculare duce la deschiderea lumenului trompei.
- b) Difuzia gazelor din UM spre mediul intern pe baza gradientului de presiune Δ_p^* dintre presiunea totală a gazelor din urechea medie (p_{ME}) și presiunea totală a gazelor respiratorii dizolvate în sângele venos amestecat (p_{MVB}) (E4). Dispersia gazelor va continua până la atingerea stării de echilibru presional (E5).

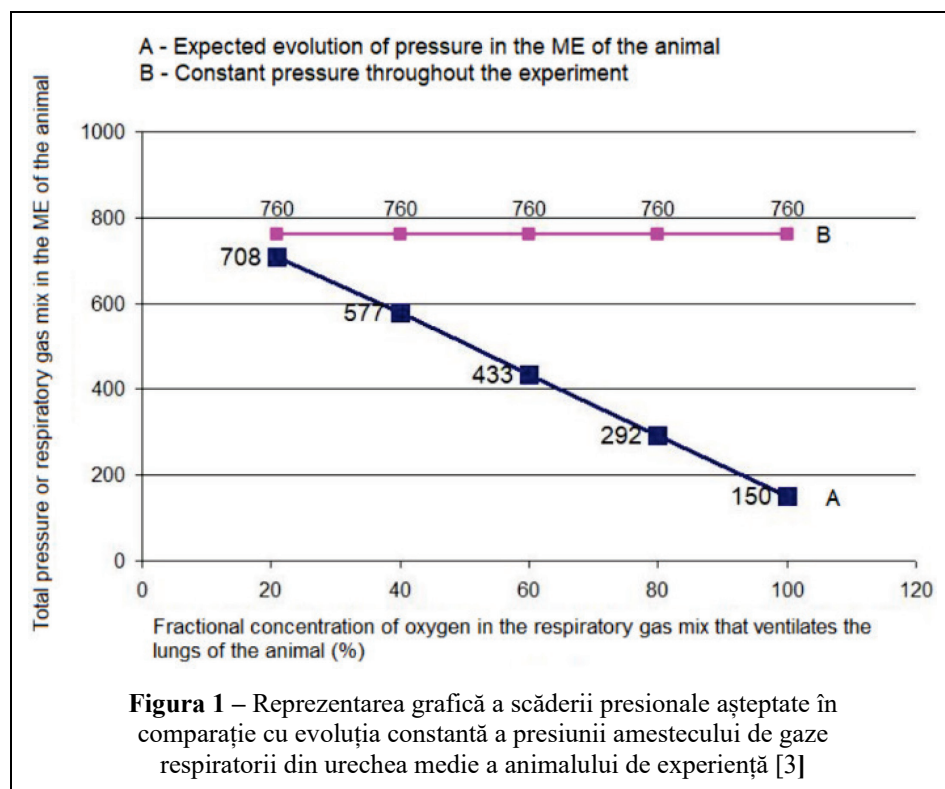
$$\Delta_p^* = p_{ME} - p_{MVB} \quad (E4)$$

$$\Delta_p^* = 0 \Rightarrow p_{ME} = p_{MVB} \quad (E5)$$

- c) Presiunea p_{MVB} scade de la 708 torri la 150 torri pe parcursul experimentului.
- d) Diferența de presiune Δ_p^* (E4) crește de la 52 torri la 610 torri.
- e) O trompă a lui Eustachio închisă este condiția preliminară pentru a atinge echilibrul presional $\Delta_p^* = 0$ (E5) la orice moment al experimentului.

Autorii ajung la o concluzie inexplicabilă. În locul unei scăderi a presiunii p_{ME} în concordanță cu funcția analitică (E2), presiunea din UM rămâne constantă pe tot parcursul experimentului și egală cu presiunea atmosferică p_0 (E1) – vezi Tabel 1 & Figura 1.

Cu toate acestea, concluziile și explicațiile lor complexe sunt mai degrabă conforme cu metoda *anatomică* decât cu abordarea *fiziologică* postulată de Claude Bernard.



Tabel I – Valorile numerice ale concentrațiilor fracționare ale oxigenului în amestecul gazos ce ventilează plămânii animalului de experiență corelate cu valorile numerice rezultate din legile experimentale ale schimburilor gazoase.

$F_{O_2}^A$ [%]	$\Delta p^* = p_{ME} - p_{MVB}$ (E4) [torr]	p_{MVB} [torr]	$p_{ME} = p_B$ [torr]
0,21	52	708	760
0,4	183	577	760
0,6	327	433	760
0,8	468	292	760
1	610	150	760

Propunem o nouă abordare și o interpretare termodinamică teoretică a acestui experiment, prin utilizarea metodei *funcționale*. Dacă sunt îndeplinite condițiile unei cavități complet închise a urechii medii (protimpanum, cavitate timpanică, additus, antrum, celule mastoidiene, celule petroase) de volum constant V_ε , putem defini, atât teoretic cât și experimental, un sistem termodinamic ε^T constituit dintr-un amestec de gaze ε de σ tipuri de gaze respiratorii saturate cu vapori de apă la temperatura corpului ($t_\varepsilon^0 = 37^\circ C$ sau $T_\varepsilon = 310,15^\circ K$).

Sistemul termodinamic (E6) este complet definit de parametrii săi de stare: volum V_ε [cm³], presiune p_ε [torrs] și temperatură T_ε [K]:

$$\varepsilon^T = \varepsilon^T(p_\varepsilon, V_\varepsilon, T_\varepsilon) \quad (E6)$$

Conturarea acestui sistem necesită stabilirea limitelor și definirea mediului său extern. Interfața dintre sistemul ε^T și mediul extern este definită atât experimental cât și teoretic drept epiteliul scuamos stratificat necheratinizat al urechii medii. Mediul extern al sistemului ε^T poate fi considerat după cum urmează: *anatomic* – întregul organism al animalului cu excepția epitelului urechii medii; *fizic* – amestecul de gaze respiratorii dizolvat în întreaga cantitate de apă a organismului; *teoretic* (compatibil cu un model logic – matematic bazat pe legile termodinamicii și ale gazelor perfecte) – amestecul de gaze respiratorii dizolvat în întreaga cantitate de apă a organismului, adus la stare gazoasă prin transformare izobară și saturat cu vapori de apă la temperatura corpului.

În conformitate cu cele de mai sus, putem stabili că mediul extern al sistemului ε^T este tot un sistem termodinamic M^T , omolog lui ε^T .

Parametrii sistemului M^T (presiune p_M , volum V_M și temperatură $T_M \equiv T_\varepsilon = 310,15^\circ K$) sunt perfect deductibili din datele fiziologice cunoscute și acceptate [4–6] – vezi Figura 2.

Din punct de vedere termodinamic, p_M este identic cu suma dintre p_{MVB} și p_{H_2O} , (E7) [6] deci p_M este egal cu presiunea totală a gazelor și vaporilor de apă din sângele venos amestecat al subiectului.

$$p_M = p_{MVB} + p_{H_2O} \quad (E7)$$

Volumul V_M este funcție de presiunea barometrică p_0 și fracția de oxigen $F_{O_2}^A$ din aerul inspirat (E8):

$$V_M = V_M(p_0, F_{O_2}^A). \quad (E8)$$

Aceasta se poate dovedi cu ajutorul ecuației (E9) ca parte a modelului termodinamic al ventilației urechii medii:

$$V_M = \frac{C^{MVB} \bar{F}_{H_2O}^\Omega m_\Omega R T_M}{\bar{F}_{H_2O}^{MVB} V_{\mu 0} \rho_{H_2O} (p_{MVB} - p_{H_2O})} = V_M(p_0, F_{O_2}^A) \quad (E9)$$

unde:

- ✓ C^{MVB} concentrația volumetrică a gazelor respiratorii dizolvate în unitatea de volum [cm³] de sânge venos amestecat (MVB), la p_0 și $T_0 = 273.15$ K [STPD];
- ✓ $\bar{F}_{H_2O}^{MVB}$ reprezintă fracția medie de apă pe unitatea de volum [cm³] de sânge venos amestecat (MVB);

- ✓ m_Ω reprezintă masa subiectului [g];
- ✓ R reprezintă constanta universală a gazelor;
- ✓ ρ_{H_2O} reprezintă densitatea apei la temperatură constantă a corpului T_M ;
- ✓ $\overline{F_{H_2O}^\Omega}$ reprezintă fracția parțială medie a apei din masa totală a organismului;
- ✓ V_{μ^0} reprezintă volumul molar al gazelor ideale în condiții normale (p_0 and T_0).

În concluzie, atât stările cât și procesele sistemului termodinamic M^T sunt complet definite, inclusiv prin valori numerice ale parametrilor de stare (E10):

$$M^T = M^T(p_M, V_M, T_M) \quad (E10)$$

Variind fracțiile de O_2 din amestecul de gaze ($F_{O_2}^A$) care ventilează plămânii subiectului, autorii modifică, cu mijloace controlate și în concordanță cu legile schimburilor gazoase respiratorii [4], (vezi E2), presiunea p_{MVB} care este echivalentă cu presiunea p_M :

$$p_{H_2O} = 47 \cdot \text{torr} = \text{const} \quad (E11)$$

Această presiune p_M este singurul parametru de stare al sistemului termodinamic M^T ce poate fi modificat *in vivo* și în condiții fiziologice. Astfel, experimentul demonstrează că sistemul termodinamic ε^T (amestecul de gaze și vapori de apă din urechea medie a subiectului) își menține starea de echilibru termodinamic – parametrii p_ε , V_ε , T_ε rămân constanți

indiferent de variațiile presionale din sistemul M^T (mediul extern) care este la rândul său un sistem termodinamic. Cu alte cuvinte, experimentul dovedește existența unui *status quo* ce contrazice adevărul universal al Legilor Termodinamicii: sistemul ε^T se comportă similar cu un *sistem termodinamic închis* (acest tip de sistem este doar un concept teoretic, imposibil de realizat în viața reală); sistemul ε^T se comportă similar cu un *sistem termodinamic izolat și izoterm*, incompatibil cu statutul biologic al experimentului.

Motivațiile susținerii acestei afirmații sunt:

- a) sistemele biologice sunt, prin definiție, sisteme termodinamice deschise care fac schimb de materie, energie și informație cu mediul;
- b) interfața dintre sistemele ε^T și M^T este epiteliul urechii medii ce reprezintă un sistem biologic adevărat, a cărui cea mai interesantă proprietate este permeabilitatea pentru amestecul gazos din urechea medie;
- c) de vreme ce toate procesele din UM sunt guvernate de cele trei principii ale termodinamicii, contradicția cu experimentul în cauză este doar în aparență, întregul proces necesitând o analiză mai riguroasă;
- d) faptul că presiunea p_ε rămâne constantă chiar și atunci când condițiile externe variază iar TE a fost închisă pe toată durata procesului, poate fi exprimat prin următoarea ecuație care este demonstrația validității modelului logico-matematic al ventilației UM (E12):

$$\forall F_{O_2}^A \in [21\%, 100\%], \exists p_\varepsilon = p_{H_2O} + \sum_{\sigma=1}^3 \left(\frac{p_{MVB\sigma} + 4\phi_\sigma RT_\varepsilon W \bar{\rho}_\Omega}{\Psi \Gamma} \right) = p_B = \text{const} \quad (E12)$$

$$W = \sqrt{m_{\Omega_x} / m_\varepsilon}$$

$$\Psi = m_{\Omega_x} / m_\Delta$$

$$\Gamma = p_{MVB} - p_{H_2O}$$

unde:

- ✓ m_{Ω_x} este masa organismului studiat (exclusiv pentru *vertebrate – superclasa Tetrapoda*);
- ✓ m_ε masa sistemului termodinamic ε^T (vezi în continuare);
- ✓ m_Δ masa care face obiectul lucrului mecanic dintre sistemele termodinamice ε^T și M^T (vezi în continuare);
- ✓ $\bar{\rho}_\Omega$ densitatea medie a corpului;
- ✓ $\bar{\rho}_\Omega = 1,35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
- ✓ $\phi_\sigma = \frac{p_{MVB}}{\mu_\sigma} \cdot [\text{torr} \cdot \text{mol} \cdot \text{g}^{-1}]$; unde μ_σ este masa molară a amestecului σ de gaze.

Cum modelul teoretic al funcției ventilatorii a urechii medii este un sistem axiomatic complet formalizat, putem concluziona că experimentul în cauză reprezintă demonstrarea validității unui model matematic al ventilației UM. Starea de echilibru constant din cadrul sistemului ε^T (amestec de gaze saturat cu vapori de apă în interiorul urechii medii), demonstrată

prin valorile constante în timp ale parametrilor de stare ($p_\varepsilon = \text{const}$; $V_\varepsilon = \text{const}$; $T_\varepsilon = \text{const}$.), semnifică faptul că masa m_ε corespunzătoare unui număr de moli ν_ε rămâne, de asemenea, constantă (E13):

$$\nu_\varepsilon = \frac{V_\varepsilon}{V_{\mu^0}(1+\alpha_\nu \cdot t_\varepsilon^0)} = \text{const}, \quad (\text{E13})$$

unde:

$\alpha_\nu = \frac{1}{273,15} \cdot K^{-1}$ coeficientul dilatației izobare a unui gaz perfect

$t_\varepsilon^0 = 37^\circ C$ temperatura în grade Celsius;

V_{μ^0} volumul molar al unui gaz perfect în condiții normale (p_0 și $T_0 = 273,15^\circ K$);

$V_{\mu^0} = 22413,6 \cdot \text{cm}^3 \text{mol}^{-1} K^{-1}$.

Trebuie de asemenea subliniat că sistemul M^T își menține echilibrul termodinamic echivalent stării de homeostazie a organismului.

Atât din punct de vedere experimental cât și al fizicii teoretice, aceste două sisteme sunt în contact termic și în echilibru termic ceea ce înseamnă că cele două sisteme sunt în echilibru. Deoarece temperaturile lor sunt identice ($T_\varepsilon \equiv T_M$), acest echilibru nu poate fi realizat prin schimb intern de energie (i.e., schimb de căldură) și trebuie să fie rezultatul schimbului de lucru mecanic.

Aceasta este concluzia fundamentală a experimentului – existența schimbului de lucru mecanic dintre cele două sisteme, necesar și suficient pentru a menține un echilibru termodinamic.

Pentru simplificarea explicațiilor vom utiliza exemplul motorului termic. Și acesta se bazează pe două sisteme termodinamice: *sursa caldă*

(cu temperatură absolută foarte înaltă și energie internă mare) și *sursa rece* (cu temperatură absolută foarte joasă și energie internă comparabilă cu prima). Ciclul de funcționare a unei mașini termice ciclice ireversibile ia sfârșit odată ce se atinge echilibrul între *sursa caldă* și *sursa rece* iar acest lucru este realizat prin schimb de energie internă (schimb de căldură). Energia cedată de *sursa caldă* către *sursa rece* devine suma algebrică dintre lucrul mecanic și cantitatea de căldură iar ultima determină creșterea de temperatură a sursei reci.

În cazul nostru, cele două sisteme au energii interne diferite (E14), dată fiind diferența de presiune (E15) dar au aceeași temperatură (E16):

$$U_{\varepsilon} = U_{\varepsilon}(p_{\varepsilon}, T) \quad U_M = U_M(p_M, T); \quad (\text{E14})$$

$$\Delta_p = p_{\varepsilon} - p_M, \quad (\text{E15})$$

$$T = T_{\varepsilon} \equiv T_M. \quad (\text{E16})$$

Acest echilibru termic semnifică faptul că echilibrul termodinamic este atins prin schimb de lucru mecanic, reprezentat de conversia diferenței între energiile interne U_{ε} și U_M ale celor două sisteme ε^T și M^T . Masa constantă m_{ε} este expresia schimbului de lucru mecanic prin intermediul epiteliului urechii medii. Masa m_{Δ} corespunde unui număr de moli de amestec de gaze respiratorii ν_{Δ} care face subiectul unui transfer simultan și reciproc între cele două sisteme, prin epiteliul UM.

Aceasta se realizează deoarece fiecare sistem produce lucru mecanic L_U^D și L_U^F , egal dar de sens opus pentru oricare interval de timp τ considerat (E17). (Figura 2)

$$v_\Delta = \frac{V_\varepsilon \cdot \Delta p}{RT_\varepsilon}. \quad (E17)$$

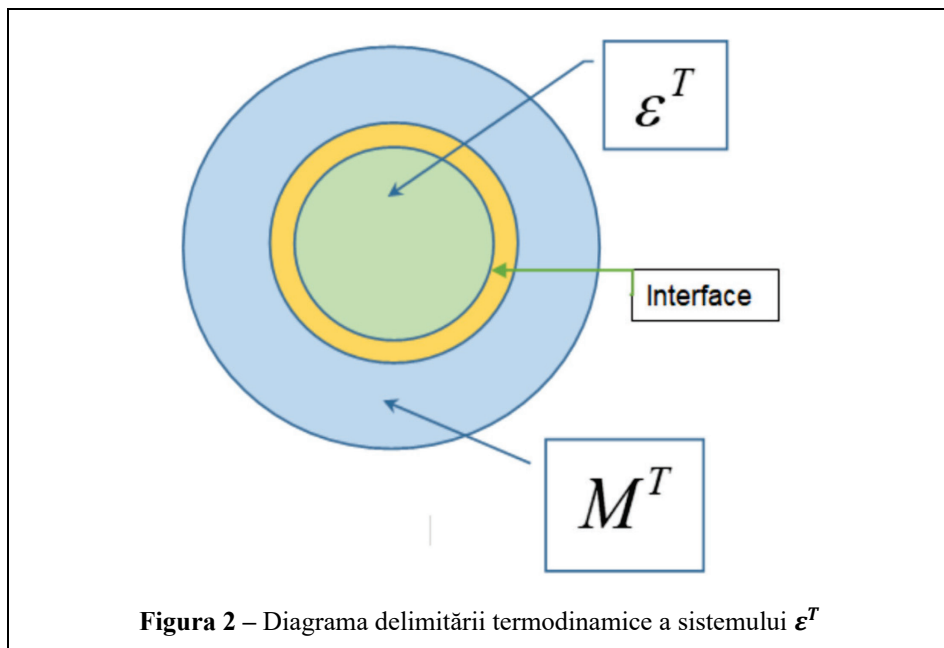
unde:

- ✓ Δp reprezintă diferența de presiune dintre cele două sisteme termodinamice (E14);
- ✓ $\Delta p \in [52; 610] [torr]$;
- ✓ $R = 62362,6 [torr \cdot cm^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}]$ este constanta universală a gazelor perfecte.
- ✓ V_ε volumul sistemului ε^T
- ✓ T_ε reprezintă temperatura absolută pe scala gazelor perfecte a sistemului ε^T

Întreaga demonstrație dovedește că interfața dintre ε^T și M^T este formată din două suprafețe corespunzătoare celor două tipuri de lucru mecanic prin care masa m_Δ este transferată (Figura 3) și că mucoasa UM posedă două suprafețe funcționale complet diferite:

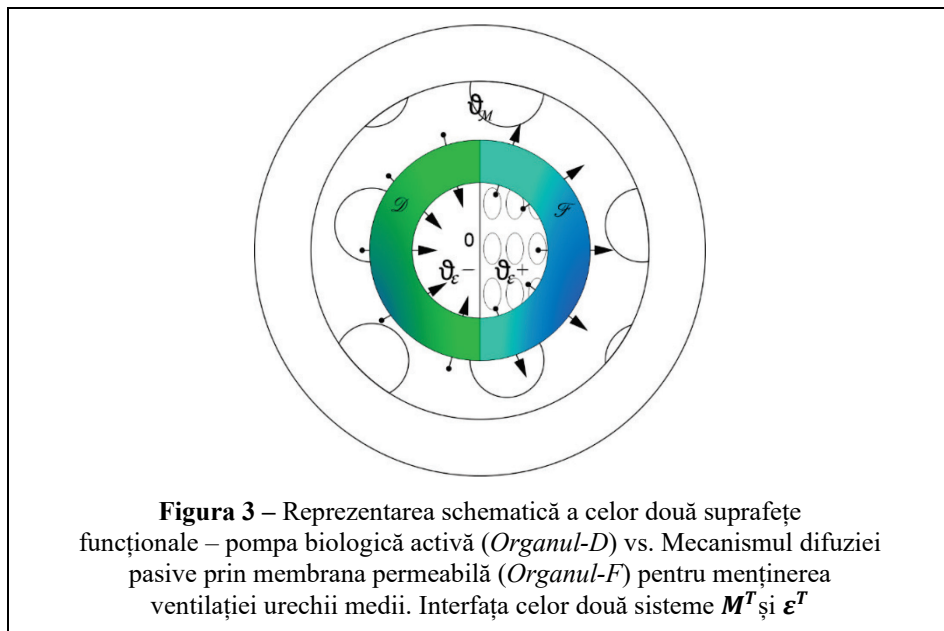
- a) *prima suprafață funcțională* se comportă identic unui element de arie A^F dispus perpendicular pe direcția $r^{(+)}$ cu o variație a densității Δp sau o variație a presiunii Δp prin care masa m_Δ , în conformitate cu legea lui Fick [7], trece prin difuziune, de la sistemul ε^T la sistemul M^T , într-un interval de timp τ , făcând lucrul mecanic L_U^F , în direcția $r^{(+)}$, pe distanța h^F ;

- b) *a doua suprafață funcțională* se comportă ca o pompă biologică ce consumă energia Q^D în intervalul de timp τ , pe care o transformă cu randamentul η , în lucru mecanic util L_U^D , în direcția $r^{(-)}$, prin care transferă masa m_A de la sistemul M^T la sistemul ε^T pe distanța h^D .



Un mod mai simplu și medical de a aborda problema ar fi: *prima suprafață funcțională* este o suprafață de difuziune gazoasă de la UM către mediul intern al organismului, determinat de gradientul presiunilor parțiale Δ_{p_σ} ale gazelor respiratorii de ambele părți ale epiteliului (acest rol este actualmente acceptat în mod unanim pentru întreaga mucoasă a UM); *a doua suprafață funcțională* funcționează precum o pompă biologică, consumând energie metabolică, cu un randament situat la limita superioară

a unui sistem biologic iar dinamica și cinematica acestuia sunt explicabile prin modele fizico-matematice.



Urechea medie este o incintă care conține un amestec de gaze respiratorii saturate cu vapori de apă, la o temperatură constantă de 37°C și presiunea de 760 torr. Pereții acestei incinte sunt permeabili pentru gazele conținute. Mediul extern este reprezentat de un amestec identic de gaze dar la presiunea de 708 torr. Un număr bine definit de pompe biologice sunt fixate în pereți pentru a aduce gaze în interiorul urechii medii iar dinamica și cinematica acestora este ajustată fin astfel încât volumul adus este egal cu volumul difuzat prin mucoasă.

Cavitățile urechii medii devin un sistem asemănător cu ventriculele cordului și mobilizează gazele dizolvate în apa totală a organismului prin schimbarea stării de agregare a acestora de două ori, o dată la intrarea și a doua oară la ieșirea din UM. Considerăm celulele care execută această

funcție drept organ de sine stătător care efectuează o sarcină titanică și perpetuă ce îl supune la agresiuni variate. Am denumit acest organ drept **Organul Danaid** sau **Organul-D** deoarece, asemănător personajelor din mitologia greacă, efectuează o sarcină disproporționată și repetitivă ce nu poate fi terminată niciodată, ca și cum ar căra apă cu ciurul.

Trompa lui Eustachio este doar un tub bidirecțional ce funcționează ca o valvă de presiune auto-regulatoare, unealta unui mecanism cibernetic de ajustare a nivelului presional dintr-o incintă la nivelul presiunii atmosferice efective. Astfel, este în esență doar o conductă menită să transporte o masă de gaz, având însă o cu totul altă semnificație fiziologică decât cea acceptată actualmente. Teoria actuală reprezintă, din punctul nostru de vedere, un adevăr științific parțial.

Mecanismul de ventilație a urechii medii a reprezentat subiectul a numeroase studii dar, din câte știm, nici unul nu a descris posibilitatea existenței unei pompe active în cadrul mucoasei. Intenționăm să dezvoltăm această teorie și să efectuăm studii anatomice și histologice care să o susțină.

Sadé and Luntz [7] observă similaritățile dintre presiunea parțială a gazelor din cavitățile urechii medii și presiunea parțială a gazelor respiratorii în sângele venos amestecat și afirmă că s-ar fi așteptat la similarități cu gazele atmosferice. Valorile presiunilor parțiale evidențiate de modelul nostru fizico-matematic sunt similare cu cele raportate în literatură [8].

Studiul din 1999 a lui Ikarashi et al. [8] reia acest subiect important și concluzionează că ar putea exista suficiente dovezi pentru un schimb bidirecțional de CO₂ prin mucoasa UM, reprezentând o funcție normală a acesteia. Studiul este însă speculativ cu privință la un mecanism indus prin difuzie prin gradient parțial de presiune și nu prin prezența unui organ

specializat cu rol de pompă biologică activă. O corelație între P_{VCO_2} și presiunea din UM a fost sugerată de mai mulți autori care au efectuat experimente sau studii clinice [9–17]. Unele dintre acestea raportează chiar reglare presională negativă fără deschiderea trompei lui Eustachio [11].

Definirea rolului exact al TE și UM pentru ventilație are semnificație clinică de vreme ce disfuncția tubară pare să ducă la numeroase efecte patologice, toate producând hipoacuzie.

Prezența unei pompe active reprezentate de *Organul-D* ar putea schimba radical paradigma timpanoplastiei și a rezultatelor funcționale ale acesteia deoarece redarea auzului prin refacerea continuității lanțului osicular este aproape inutilă fără asigurarea ventilației optime a cavităților.

Concepția actuală este că urechea medie este o pungă de gaz neventilată [18], deschisă în mod intermitent către atmosfera externă prin deschiderea trompei lui Eustachio. Gazele sunt resorbite în mod continuu în sânge iar TE funcționează ca un regulator de presiune ce permite periodic cantități de aer în interiorul cavității închise a UM pentru a înlocui volumele de gaz resorbite [19].

În 2002, Hamada et al. studiază schimbul de gaze din urechea medie de iepure și concluzionează că acesta are loc nu numai prin trompa Eustachio ci și prin mucoasa urechii medii [20]. Această concluzie susține abordarea noastră teoretică chiar dacă noi postulăm și existența unui mecanism de pompă activă în cadrul acestui fenomen.

Marcusohn et al. [21] concluzionează că schimbul de CO_2 este limitat în special de rata de perfuzie sangvină a UM [21].

Un studiu similar al lui Doyle et al. reia experimentele lui Mover-Lev et al. [10,13] și produce un model matematic ce explică de ce acele experi-

mente inițiale nu controlează anumite efecte și de ce constanta de timp utilizată a fost eronată [10,22].

Concluzia noastră este că ventilația urechii medii nu se realizează prin intermediul trompei lui Eustachio ci prin cele două organe D și F , fiecare cu rolul său bine stabilit. Experimentul analizat concluzionează existența acestor două suprafețe funcționale dar nu furnizează informații asupra posibilei lor localizări. Aceasta ar trebui găsită prin studii de anatomie, embriologie, histologie.

Organul-D funcționează ca o pompă biologică consumatoare de energie care deplasează moleculele de gaz împotriva gradientului de presiune, în vreme *Organul-F* funcționează prin difuzie pasivă a gazelor în sensul gradientului de presiune.

Teoria actuală asupra funcției trompei lui Eustachio conduce la similități între aerul atmosferic și cel regăsit în urechea medie, de vreme ce trompa ar fi singura sursă de aer a urechii medii dar noi demonstrăm că această sursă de aer este reprezentată, mai degrabă, de un sistem termodinamic M^T omolog sistemului ε^T format de gazele din urechea medie și că presiunile parțiale ale acestui gaz sunt identice cu cele din sângele venos amestecat.

Putem afirma, în mod justificat, că într-o ureche medie normală nu există aer atmosferic ci, mai degrabă, un amestec de gaze respiratorii saturat cu vapori de apă. Acest amestec reprezintă un sistem termodinamic complet definit de trei parametri de stare: presiune, volum și temperatură absolută. Aerul atmosferic poate pătrunde în această incintă doar în mod incidental sau auxiliar pentru a regla presiunea, nu pentru a o genera.

Amestecul de gaze respiratorii și vapori de apă din UM pe de o parte și cel de gaze respiratorii dizolvate în apa totală a organismului pe de alta,

formează două sisteme termodinamice deschise aflate în stare de echilibru termodinamic. Cel de al doilea constituie mediul extern al primului. Interfața dintre ele este reprezentată de epiteliul urechii medii. Deoarece sistemele sunt în contact și în echilibru, schimbul între ele este imposibil. Așadar, echilibrul lor termodinamic poate fi obținut doar prin schimb de lucru mecanic prin intermediul interfeței, la nivelul celor două arii funcționale menționate – *Organul-D* și *Organul-F*.

Cavitățile urechii medii reprezintă un sistem biologic complex care efectuează următoarele funcții:

- ✓ conturează un parametru fizic cantitativ (volumul V_ε) drept parametru de stare al sistemului termodinamic ε^T și asigură, prin contact termic și echilibru, valorile constante ale unui alt parametru de stare T_ε ;
- ✓ pereții ce o delimitează de mediul intern al organismului prezintă două suprafețe distincte – suprafața de difuzie & pompa biologică;
- ✓ lucrul mecanic realizat de aceste două tipuri de epitelii asigură valorile constante ale celui de al treilea parametru de stare al sistemului (p_ε);
- ✓ incinta dispune de o valvă de presiune autoreglabilă, trompa lui Eustachio; incinta conține lanțul osicular iar unul din pereții acesteia, membrana timpanică, are rolul adițional de senzor de presiune ca parte a mecanismului cibernetic ce include și trompa lui Eustachio.

Autorii își exprimă credința că o descriere completă și coerentă a relației dintre existența *Organului-D*, explicat printr-un model fizico-matematic și manifestările clinice ale patologiei de ureche medie va fi posibilă pe viitor și va satisface toate cerințele hexametrelui tehnic al circumstanțelor al lui Quintilian: *Quis, quid, ubi, quibus auxiliis, cur, quomodo, quando?*