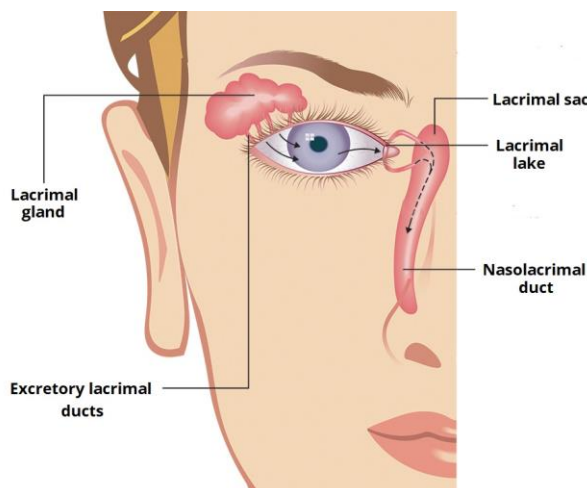


Proiect fenomene de transport în medii fiziologice: LICHIDUL LACRIMAL

Introducere:

Lichidul lacrimal este o sare fiziologică apoasă și lichid care curge pe suprafața exterioară a corneei și conjunctivei ochiului. Când scurgerea este în afara ochiului, aceasta formează lacrimi.



Este produs continuu de glandele lacrimale și se răspândește uniform pe suprafața anterioară a ochiului. În mod normal, se scurge prin conducta lacrimală în cavitatea nazală unde este excretată în aer sub formă de picături microscopice în timpul procesului de respirație. Dar, în anumite cazuri (patologice, sau mai general emoționale), secreția lacrimală este prea importantă, iar căile naturale sunt apoi saturate și nu mai evacuează excesul de secreție. Cavitățile nazale nu mai pot pulveriza excesul de lichid, curge din nas și ochi, terminându-și cursul pe față sub formă de lacrimi, unde este, parțial, reținut de diferitele fire de păr ale pielii. Lichidul lacrimal umezește și protejează corneea.

Rolurile lichidului lacrimal sunt esențiale pentru buna funcționare a aparatului vizual:

Lichidul lacrimal protejează ochiul împotriva agresiunilor externe:

- Împotriva bacteriilor prin prezența lizozimei și lactotransferinei în cantități relativ mari.
- Împotriva agenților chimici suspendați în aer. Într-adevăr, agenții toxici sau periculoși pentru corneă sunt mai întâi diluați în lichid și apoi eliminați prin reînnoirea sa permanentă. Pe de altă parte, acest sistem de protecție este modificat de purtarea lentilelor de contact care provoacă efectul opus: produsele toxice vor tinde să se concentreze între suprafața internă a lentilei și suprafața ochiului. Prin urmare, este recomandabil să le eliminați la sfârșitul zilei și este imperativ să le îndepărtați înainte de a merge într-o cameră care conține produse toxice volatile la concentrație mare (insecticide de exemplu)
- Împotriva corpurilor străine și iritante mici, cum ar fi praful, acarienii ... care sunt eliminați în același mod.
- Lichidul lacrimal hrănește corneea
- Lichidul lacrimal permite o concentrație a fasciculelor de lumină incidente (prin indicele său de refracție), dar rolul său este mult mai mic decât cel al corneei și al umorului apos. Această capacitate capătă o importanță reală doar în timpul ruperii excesive, unde provoacă vizibilitate slabă (tulburări și distorsiuni ale imaginii percepute).

Compoziția lacrimii depinde de tipul ei: emoțională, cauzată de iritanți sau patologii. Lacrima este constituită din 98,2% apă și 1,8% elemente solide, implicate în modificările biochimice calitative a lacrimii, sub acțiunea următorilor factori: varsta, sexul, fumatul, hormoni, medicamente, afecțiuni sistemice, utilizarea computerelor și a lentilelor de contact.

Suprafața ochiului este protejată de un film lacrimal care oferă o interfață optic netedă, îndepărtează corpurile străine și lubrifică spațiul dintre pleoape și corneea ochiului. Filmul lacrimal uman este cel mai adesea descris ca fiind compus din trei straturi distincte; un strat lipidic uleios bicomponent cel mai exterior (grosime tipică 100 nm), un strat de mucus cel mai interior (grosime tipică 0,5–1,0 μm) și un strat apos intermediar

(grosimea tipică 4–10 μm). Sacii de sub pleoapele inferioare și superioare sunt umpluți cu componenta apoasă a peliculei lacrimale și este alimentat de principalele glande lacrimale accesorii. Stratul lipidic este compus în principal din lipide meibomiene secretate de glandele Meibomien. Stratul lipidic reduce evaporarea a fluidului apos în filmul lacrimal și scade tensiunea superficială la interfața film lacrimal/aer. Stabilizează filmul lacrimal împotriva ruperii datorită vâscozității sale mai mari și tensiunii superficiale mai mici. Stratul de mucus este secretat de celulele care sunt situate în epiteliul conjunctival și ajută la promovarea umezirii corneei prin transportarea resturilor care nu sunt umezibile. Opinii recente susțin că stratul de mucus se amestecă cu stratul apos, fără nicio tensiune interfacială între cele două. Aceasta sugerează că teoria celor trei straturi trebuie înlocuită cu una în care mucinele secretate de celulele caliciforme sunt distribuite în tot stratul mucoapós care formează cea mai mare parte a filmului lacrimal și mucinele epiteliale formează o barieră complexă la suprafața corneei.

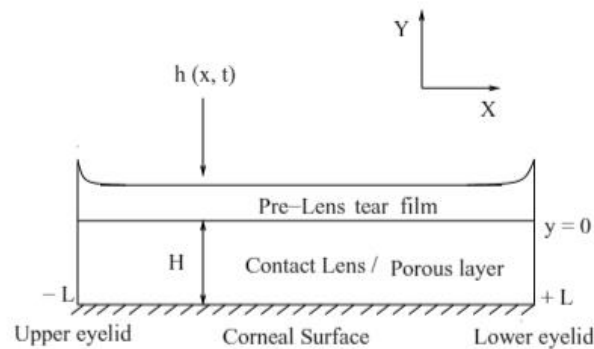


FIG. 1. Schematic diagram for a pre-lens tear film over a contact lens/porous layer model.

Ecuatia de curgere a fluidului biologic

Ecuatiile care guvernează în stratul lichid (film lacrimal pre-lentil, $0 < y < h(x, t)$) sunt ecuațiile Navier-Stokes date de

$$u_x + v_y = 0, \quad (1)$$

$$\rho[ut + uu_x + vu_y] = -p_x + \mu[u_{xx} + u_{yy}] + \rho g \sin \theta, \quad (2)$$

$$\rho[v_t + uv_x + vv_y] = -p_y + \mu[v_{xx} + v_{yy}] - \rho g \cos \theta, \quad (3)$$

unde u și v sunt componentele bidimensionale ale vitezei de-a lungul direcțiilor x și y , respectiv, p este presiunea [Pa], g este accelerația gravitațională [N/kg], θ este unghiul [rad] pe care îl formează interfața stratului lichid-poros cu orizontală. Când $\theta = 0$, gravitația indică în direcția negativă y și $\theta = \pi/2$ corespunde gravitației îndreptate în direcția x pozitivă.

Curgerea lichidului în stratul poros este descris folosind ecuațiile Darcy-Brinkman date de

$$u_{bx} + v_{by} = 0, \quad (4)$$

$$\rho \delta u_{bt} = -p_{bx} + \mu_e[u_{bxx} + u_{byy}] - \mu K u_b + \rho g \sin \theta, \quad (5)$$

$$\rho \delta v_{bt} = -p_{by} + \mu_e[v_{bxx} + v_{byy}] - \mu K v_b - \rho g \cos \theta, \quad (6)$$

unde (u_b, v_b) este vectorul vitezei de filtrare, K este permeabilitatea [m^2], δ este porozitatea și μ_e reprezintă vâscozitatea efectivă [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]. $\mu_e \mu = 1\delta$ este vâscozitatea redusă. Se presupune că fluxul în regiunea poroasă este lent și, prin urmare, efectele inerțiale sunt neglijate.

Analiza adimensională

Având în vedere faptul că lichidul este vâscos newtonian constant și incompresibil, putem folosi ecuația Darcy pentru a face analiza dimensională. Este evident și că lichidul lacrimal are o curgere laminară.

Ecuatia Darcy :

$$\vec{q} = -\frac{k}{\mu}(\vec{\nabla}p - \rho\vec{g})$$

\vec{q} este Darcy sau viteza de filtrare (vectorul fluxului volumului fluidului) pe care o vom nota cu v
(m / s);

$$\Rightarrow \mu = -\frac{k}{q}\nabla p \Rightarrow \mu = f(k, v, p)$$

$$[\mu] = \text{Pa} \cdot \text{s} = \text{kg m} \cdot \text{s} \rightarrow \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$$

$$[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \text{LT}^{-1},$$

$$[k] = \text{m}^2 \rightarrow \text{L}^2$$

$$[p] = \text{Pa} = \text{kg} \cdot \text{m} = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$$

Marimi fizice propuse: m=4

Marimi fizice fundamentale: n=3

m-n=1=> 1 ecuatie

$$\pi = k^a v^b p^c \mu$$

$$\text{L}^{2a}(\text{LT}^{-1})^b(\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2})^c \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1} = \text{M}^0 \text{L}^0 \text{T}^0$$

$$\text{M}: 1+c=0 \Rightarrow \boxed{c=-1}$$

$$\text{L}: 2a+b-c-1=0 \Rightarrow 2a+1=0; a = -\frac{1}{2}$$

$$\text{T}: -b-2c-1=0 \Leftrightarrow -b+2-1=0 \Rightarrow -b+1=0; \boxed{b=1}$$

Solutiile ecuatiei sunt {a=1/2;b=1;c=-1}

$$\pi = \frac{v\mu}{k^{\frac{1}{2}}p} \Leftrightarrow \pi = \frac{v\mu}{\sqrt{k}p} \Rightarrow \mu = \frac{\sqrt{k}p}{v}$$

Discutia unei relatii matematice

Numărul Prandtl (Pr) sau grupul Prandtl este un număr adimensional, numit după fizicianul german Ludwig Prandtl, definit ca raportul dintre difuzivitatea impulsului și difuzivitatea termică. Numărul Prandtl este dat ca:

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{momentum diffusivity}}{\text{thermal diffusivity}} = \frac{\mu/\rho}{k/(c_p\rho)} = \frac{c_p\mu}{k}$$

ν = difuzivitate impuls (vâscozitate cinematică) $\nu = \mu/\rho; \frac{m^2}{s}$

α = difuzivitate termică, $\alpha = k/(\rho c_p); \frac{m^2}{s}$

μ = vâscozitate dinamică, Pa s = N s/m²

k : conductivitate termică , W/(m·K)

c : căldură specifică, J/(kg·K)

ρ : densitate $\frac{kg}{m^3}$

Cunoscând faptul că numărul lui Prandtl și numărul lui Reynolds funcționează în analogie (Cel mai simplu model pentru Prt este analogia lui Reynolds, care dă un număr Prandtl turbulent de 1), avem o curgere laminară , deci și numărul lui Prandtl va fi destul de mic => $Pr < 1$

Valorile mici ale numărului Prandtl, $Pr \ll 1$, înseamnă că domină difuzivitatea termică. În timp ce cu valori mari, $Pr \gg 1$, difuzivitatea impulsului domină comportamentul. De exemplu, valoarea listată pentru mercurul lichid indică faptul că conducția căldurii este mai semnificativă în comparație cu convecția, astfel încât difuzivitatea termică este dominantă. Cu toate acestea, pentru uleiul de motor, convecția este foarte eficientă în transferul de energie dintr-o zonă în comparație cu conducția pură, astfel încât difuzivitatea impulsului este dominantă.

Numerele Prandtl de gaze sunt aproximativ 1, ceea ce indică faptul că atât impulsul, cât și căldura se disipează prin fluid la aproximativ aceeași viteză. Căldura difuzează foarte repede în metalele lichide ($Pr \ll 1$) și foarte lent în uleiuri ($Pr \gg 1$) în raport cu impulsul. În consecință, stratul limită termic este mult mai gros pentru metalele lichide și mult mai subțire pentru uleiuri în raport cu stratul limită de viteză.

În problemele de transfer de căldură, numărul Prandtl controlează grosimea relativă a impulsului și a straturilor limită termice. Când Pr este mic, înseamnă că căldura difuzează rapid în comparație cu viteza (momentum). Aceasta înseamnă că, pentru metalele lichide, stratul limită termic este mult mai gros decât stratul limită de viteză.

Bibliografie: (https://ro.frwiki.wiki/wiki/Liquide_lacrymal)

(https://repository.usmf.md/bitstream/20.500.12710/6075/1/MODIFICARI_BIOCHIMICE_CALITATIVE_IN_LACRIMA.pdf)

(PDF) *Dynamics of a pre-lens tear film after a blink: Model, evolution, and rupture.*
Available from:

https://www.researchgate.net/publication/260701436_Dynamics_of_a_pre-lens_tear_film_after_a_blink_Model_evolution_and_rupture

https://ro.frwiki.wiki/wiki/Loi_de_Darcy#Loi_de_Darcy-Forchheimer

https://curs.upb.ro/2022/pluginfile.php/341731/mod_folder/content/0/L_1.pdf?forcedownload=1

<https://teachmeanatomy.info/head/organs/eye/lacrimonal-gland/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Prandtl_number

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X14002686>

https://en.wikipedia.org/wiki/Turbulent_Prandtl_number