

## ASPECTE ALE BIOMECHANICII OCULARE

Daniela Mariana BARBU, Ion BARBU

Transilvania University of Brasov, Fine Mechanics and Mechatronics Department

e-mail: [dbarbu@unitbv.ro](mailto:dbarbu@unitbv.ro)

**Abstract:** This paper presents some aspect concerning ocular biomechanics. The modeling principles, the advantages and disadvantages are exposes in the first part of paper. The second part presents one kind of analysis model of ocular movement, to show that the angular and linear displacements are very small. The model want to find in which way the ocular movement influences the pupilar projection on retina.

### 1. PRINCIPIILE MODELARII ÎN BIOMECHANICA OCULARA

Pentru a modela corect un fenomen, cum este functia vizuala, este necesara cunoasterea cât mai cuprinzatoare a sa, ceea ce reduce nevoia de a-l cerceta. Pe de alta parte, modelul trebuie sa fie adecvat scopului propus: un model excesiv de complicat - care își propune sa aiba în vedere toate aspectele posibile ale fenomenului - poate deveni costisitor, greoi sau chiar inoperant, iar un model simplist, prea sumar, poate fi incorect, ca urmare a neglijarii unor aspecte importante ale fenomenului.

Conceput în sensul cel mai general, modelul poate fi functional, de calcul sau experimental.

**Modelul functional** este un model structural, teoretic sau experimental care pune în evidenta diversele componente ale fenomenului si ilustreaza calitativ legaturile reciproce ale acestora astfel încât sa rezulte functiile globale fundamentale ale ansamblului.

**Modelul de calcul** este un model teoretic, care pornind de la un set coerent de ipoteze, stabileste o schema de calcul, teoreme si relatii de calcul, ce descriu cantitativ si calitativ fenomenul. Trecerea modelului de calcul pe un sistem computerizat poate mari considerabil eficienta acestuia.

**Modelul experimental** este un obiect fizic, un dispozitiv sau o instalatie care reproduce în anumite conditii fenomenul ce intereseaza.

Cele trei tipuri de modele sunt complementare în descrierea unui fenomen, fiecare având avantaje, dezavantaje si limitari. De cele mai multe ori se folosesc serii succesive de diferite modele pe masura ce se culeg date despre fenomenul ce se cerceteaza, perfectionându-se modelele respective.

În vederea elaborarii unui model eficient, în orice problema de biomecanica, trebuie ca pe baza datelor cunoscute în legatura cu fenomenul studiat, precum si în functie de scopul urmarit, sa se faca o sinteza a modelului, care sa tina seama de urmatoarele **aspecte:**

- daca modelul este static, cinematic sau dinamic, adica daca intereseaza solicitarile, eforturile, tensiunile, deformatiile, deplasarile sub diverse sarcini statice sau dinamice, sau legile de miscare a diverselor componente, în diverse situatii, ca de exemplu mers, alergare, saritura etc.;
- geometria modelului poate fi plana sau spatiala; modelul poate fi realizat la scara în

toate detaliile sau poate fi distorsionat, adica unele detalii sau dimensiuni pot fi executate la alta scara decât restul modelului;

- materialul din care este realizat modelul poate fi natural, caz în care se utilizeaza un preparat anatomic, poate fi o masa plastica, un material metalic sau combinatii ale acestora;
- rezemarea si încarcarea modelului trebuie realizate în conditii cât mai apropiate de cele reale, pentru situatia studiata.

Este evident ca modelul trebuie astfel proiectat si investigat încât sa se poata determina, în anumite limite de precizie, comportarea sistemului original prin determinarile efectuate pe model. În anumite cazuri nu este necesar ca modelul sa fie realizat la scara exacta dupa prototip si nici sa existe asemanare generala între ele.

**Tipuri de modele** utilizate pentru sistemele biomecanice pot fi:

- modelul mecanic realizat la scara geometrica exacta, mai mare, mai mic sau de aceeasi marime cu sistemul original;
  - modelul mecanic realizat în conditii speciale de modelare, fara a mentine o scara geometrica exacta cu originalul;
  - modelul constând dintr-un sistem total nesimilar cu prototipul, cum ar fi modelul electric, electronic, termodinamic, reologic etc.. În acest caz conditiile de modelare impun ca modelului respectiv sa-i corespunda aceleasi relatii matematice ca si prototipului mecanic.
- modelul computerizat, care contine elemente care pot fi dispuse astfel încât sa îndeplineasca operatii matematice indicate de ecuatiile comportarii prototipului;
- diferite combinatii ale tipurilor precedente.

**Avantajele** cele mai importante care rezulta din utilizarea rationala a tehnicii modelarii pot fi:

- Modelul poate fi realizat la o scara convenabila, mai mare, mai mic sau egal cu prototipul. În biomecanica adesea modelul este singura alternativa, atunci când nu se pot face masurari *in vivo*;
- Modelul poate fi proiectat astfel încât determinarile efectuate pe el sa fie mai simple decât cele efectuate pe prototip. Determinarile pe model pot fi repetate de oricâte ori este nevoie;
- Adesea se pot concepe modele cu forme mai simple decât prototipul, deci controlul si variatia diversilor parametri pot fi simplificate, ceea ce deschide perspectiva înțelegerii mecanismelor intime ale fenomenului studiat.

**Dezavantajele si limitările** tehnicii modelarii pot fi:

- Uneori este imposibila elaborarea unor modele care sa fie similare cu prototipul în toate privintele. În aceste cazuri trebuie sa existe certitudinea ca elementele sistemului care nu sunt modelate corect nu influenteaza mult rezultatele cercetarii;
- Numai arareori este posibil sa se reproduca pe un model la scara redusa toate detaliile structurale ale prototipului. Trebuie avut în vedere ca aproximările sa nu reduca precizia rezultatelor sub nivelul admis;
- Pe modelele la scara redusa se poate ajunge în situatia de a obtine greu precizia necesara pentru determinarile experimentale. De exemplu, se poate ivi necesitatea de a masura deformatii si deplasari foarte mici, pentru care sa trebuiasca un instrument de masura foarte sensibil si precis.

## 2. ASPECTE PRIVIND STATICA OCULARA

Ochii se mentin în orbita prin intermediul capsulei lui Tenon si cu ajutorul muschilor oculari. La aceste elemente se adauga tesutul adipos care împiedica deplasarea posterioara, în timp ce pleoapele, vasele si nervii retrobulbari, împiedica deplasarea anterioara. Imobilizarea ochiului asupra obiectului fixat este relativa, deoarece exista mici oscilatii produse de micronistagmusul de fixatie. Se pot descrie trei pozitii principale în statica oculara:

### Pozitiile de echilibru anatomic

Acestea presupun o lipsa completa a actiunii sistemului nervos. Ele pot fi de doua feluri:

- *pozitia de echilibru anatomic absolut* este aceea în care orice inervatie a disparut. Aceasta pozitie nu se constata practic decât dupa moarte, când situatia globilor oculari nu depinde decât de forma si departarea orbitelor si de dispozitia insertiilor muculo-ligamentare;
- *pozitia de echilibru anatomic* este pozitia de echilibru relativ ce se afla în timpul somnului profund si al anesteziei generale si de aceea este numita si pozitie de baza.

### Pozitiile de repaus ocular

Acestea sunt pozitii de repaus relativ si se obtin teoretic în absenta oricaror stimuli. Este pozitia fara fuziune când directia celor doi ochi este mentinuta doar de tonusul muscular, adica atunci când privirea este îndreptata înainte, în departare, fara a fixa un obiect în spatiu. Este pozitia ochilor atunci când orice excitatie senzoriala este suprimata, însa tonusul muscular este pastrat.

### Pozitiile oculare de functie sau pozitii de fixare

Este cazul miscarilor în care intervine reflexul de fuziune si de fixatie si se disting trei situatii:

- *pozitia primara a privirii* este atunci când ochii fixeaza un obiect pe linia orizontala de la infinit, corpul si capul fiind mentinute în linie dreapta. în acest caz axele vizuale sunt paralele.
- *pozitia de privire excentrata* este atunci când intervine o miscare conjugata sau asociata;
- *pozitia de convergenta* este atunci când ochii converg spre obiectul fixat si poate fi simetrica sau asimetrica.

În cazul când ochii fixeaza un obiect ei sunt rotiti prin contractia muschilor oculari si converg, astfel încât axele vizuale se întâlnesc pe obiectul fixat. Aceasta miscare a ochiului se numeste *fixare*. Punctul în care se întâlnesc axele vizuale se numeste punct de fixatie, iar liniile vizuale se numesc în acest caz linii de fixatie.

Miscarile pe care le executa în acest caz globii oculari sunt:

- miscari de mica amplitudine de *0,3 secunde arc de cerc* cu o frecventa de *100 cicli / s*;
- miscari mai rapide cu o amplitudine de *1-20 minute arc de cerc* la intervale regulate de aproximativ *1 / s*;
- miscari în deriva, lente, situate între doua secuse rapide cu o amplitudine de *4 minute arc de cerc / s*.

Aceste miscari sunt necesare pentru o buna fixatie. În timp ce secusele rapide se dezvoltă în acelasi sens la ambii ochi, cele în deriva sunt în sens contrar. Numarul,

directia, amplitudinea, durata miscarilor cu secuse rapide si a celor în deriva depind atât de forma obiectului fixat, cât si de caracterul individual al fiecarui subiect. El exercita un control continuu asupra convergentei.

### 3. DINAMICA OCULARA

S-a afirmat ca articulatia ochiului este o enartroza, ochiul rotindu-se în capsula sa fibroasa, ca si capul femurului în cavitatea cotiloida. Dar, emisfera posterioara a ochiului antreneaza prin miscarile sale si tesuturile vecine. Astfel un corp strain retroocular, apropiat de ochi, se deplaseaza odata cu miscarile acestuia. În aceasta situatie s-a renuntat la termenul de enartroza si se utilizeaza termenul de *articulatie bulbara*.

Miscarile oculare se executa în jurul unui punct stabil numit *centru de rotatie*. Acest punct este situat în vitros la o distanta de centrul corneei de aproximativ  $13,5\text{ mm}$  si de polul posterior la o distanta de  $10,5\text{ mm}$ . Aceste distante depind însa de refractia oculara proprie fiecarui ochi în parte.

Ochiul poate efectua doua tipuri de miscari:

- miscari de deplasare în masa;
- miscari de rotatie pe el însusi.

*Miscarile de deplasare în masa* sunt numite si miscari de translatie. Ele sunt miscari de mica importanta. Se executa în plan antero-posterior. Aceste miscari sunt putin întinse si practic invizibile.

*Miscarile de rotatie* sunt cele mai importante. Se fac prin contractia muschilor oculari. Ele pot fi împartite în doua grupe:

- miscari verticale, orizontale si oblice;
- miscari giratorii.

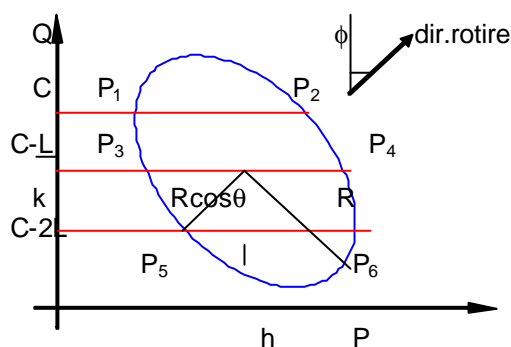
Cele mai importante sunt cele din prima categorie. Acestea presupun un ax de rotatie.

#### Model pentru analiza dinamicii oculare

Prin realizarea acestui model se doreste gasirea modului în care miscarile oculare influenteaza proiectia pupilei pe retina si, astfel, se traseaza dependenta proiectiei pupilare de câmpul vizual. Pentru aceasta, se considera fasciculul incident pe ochi de forma cilindrica, astfel ca proiectia pupilei ochiului pe retina este de forma unui disc circular. Fasciculul de lumina si pupila sunt geometrii simetrice, de aceea este suficienta analiza plana a acestui fenomen.

În momentul în care ochiul își schimba pozitia de vizualizare aceasta proiectie își schimba forma geometrica devenind o elipsa. Astfel, rotind un disc circular în jurul diametrului sau, proiectia sa este o elipsa. Deci, se va considera proiectia unui disc rotit cu magnitudinea  $\theta$  în directia  $\phi$ , proiectie realizata cu o camera video.  $P$  si  $Q$  sunt axele orizontala si verticala într-un plan perpendicular pe axa camerei video.

Unghiul  $\theta$  este egal cu unghiul dintre planul discului si planul  $PQ$ ; iar unghiul  $\phi$  reprezinta unghiul dintre linia de intersectie a planului discului cu planul  $PQ$  si axa orizontala. Se traseaza pe elipsa de studiat trei corzi oarecare. Intersectia acestora cu elipsa determina punctele de intersectie  $P_1 \dots P_6$ .



**Fig. 1. Model pentru miscarea sistemului oculomotor**

Ecuatia elipsei centrale drepte cu semiaxele  $R$  si  $R\cos\theta$  este:

$$\left(\frac{P}{R}\right)^2 + \left(\frac{Q}{R\cos q}\right)^2 = 1. \quad (1)$$

în care:  $R$  este raza pupilei;  $P$ ,  $Q$  sunt coordonatele punctelor de pe elipsa;  $\theta$  este unghiul cu care se rotește direcția de vizualizare.

Dupa rotirea cu unghiul  $\phi$  si translatarea pe orizontala si verticala cu  $h$  si, respectiv,  $k$ , ecuatia elipsei devine:

$$(P-h)^2(\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f) + (Q-k)^2(\cos^2 q \operatorname{tg}^2 f + 1) + 2(P-h)(Q-k)\operatorname{tg} f(1-\cos^2 q) - (R^2 \cos^2 q / \operatorname{tg}^2 f) = 0' \quad (2)$$

unde  $R$  este raza discului, respectiv a pupilei.

Daca se rescrie ecuatia (2) pentru prima coarda ( $Q=C$ ), se obtine:

$$(P-h)^2 + (\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f) + (C-k)^2(\cos^2 q \operatorname{tg}^2 f + 1) + 2(P-h)(C-k)\operatorname{tg} f(1-\cos^2 q) - (R^2 \cos^2 q / \operatorname{tg}^2 f) = 0' \quad (3)$$

Aceasta este o ecuatie de gradul doi în  $P$ , radacinile sale fiind  $P_1$  si  $P_2$ . Suma si produsul radacinilor, corespunzatoare unei ecuatii de gradul doi, sunt:

$$P_1 + P_2 = [-2C_1 \operatorname{tg} f(1-\cos^2 q) + 2h(\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f)] / (\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f) \quad (4)$$

$$P_1 P_2 = [C_1^2(\cos^2 q \operatorname{tg}^2 f + 1) + h^2(\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f) - 2C_1 h \cos q(1-\operatorname{tg}^2 f) - R^2 \cos^2 q / \operatorname{tg}^2 f] / (\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f)' \quad (5)$$

unde  $C_1=C-h$ .

Înlocuind  $Q=C_1-L$  si  $Q=C_1-2L$ , se pot obtine relatii similare pentru celelalte doua coarde. Corespunzator celor doua ecuatii astfel obtinute se vor obtine doua seturi de sume si produse.

Dupa combinarea sumelor si produselor obtinute pentru toate cele trei coarde, se poate scrie:

$$\operatorname{tg} 2f = 2S_1 / (S_2 - 1) \quad (6)$$

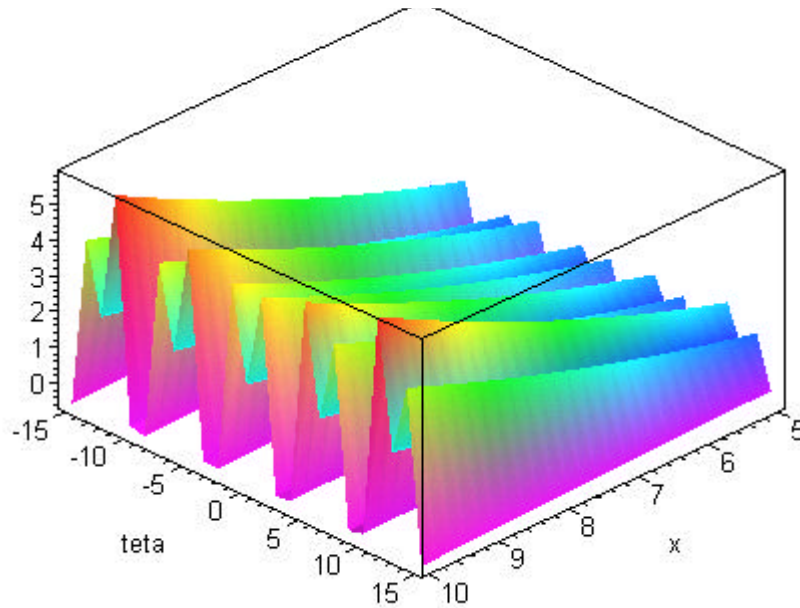
$$\cos q = [(1 - S_2 \operatorname{tg}^2 f) / (S_2 - \operatorname{tg}^2 f)]^{1/2}$$

unde:

$$S_1 = -(P_1 + P_2 - P_3 - P_4) / 2L = \cos q(1 - \operatorname{tg}^2 f) / (\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f) \quad (7)$$

$$S_2 = (P_5 P_6 - 2P_3 P_4 + P_1 P_2) / 2L^2 = (\cos^2 q \operatorname{tg}^2 f + 1) / (\cos^2 q + \operatorname{tg}^2 f)$$

În cazul miscarii ochiului uman, elipsa din figura poate fi proiectia pupilei pe retina cu o camera video foarte precisa, dupa care ochiul este rotit cu magnitudinea  $\theta$ , în direcția  $\phi$ , la o anumita distanta fata de linia de vizare a camerei. Corespunzator sistemului se pot include o ratie de selectare a semnalelor înalte ale camerei, echipata cu un selector de cadre, un filtru de trecere si un detector de nivel.



**Fig. 2. Variatia proiectiei pupilare în functie de unghiul de rotație a ochiului**

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. **Barbu, D.M.** „*Analiza si modelarea functiei vizuale*”, Editura Universitatii Transilvania din Brasov, 2003, ISBN 973-635-130-0;
- [2]. **Barbu, D.M.** „*Analiza si modelarea functiei vizuale*”, Teza de doctorat, 2003,
- [3]. **Barbu, D.M.** „*Biomechanical Human Eye Model*”, Buletinul Universitatii „Transilvania” din Brasov, Vol. 7 (42), Brasov, 2000;
- [4]. **Cernea, P.** “*Fiziologie oculara*”, Editura Medicala, Bucuresti, 1986;
- [5]. **Curatu, E.** “*Calitatea sistemelor optice*”, Editura Academiei, Bucuresti, 1992;
- [6]. **Fodor, F.; Pop, D.** “*Oftalmologie*”, Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1991;
- [7]. **Valenta, J.** “*Biomechanics*”, Editura Elsevier, Amsterdam, 1993.