

OPTIQUE DE L'ŒIL

Charles REMY
LYON

Réfraction Nantes 8 - 9 avril 2011

Bibliographie

- PUBLICATIONS FNRO
- LA REFRACTION DE L'ŒIL
- OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE - Yves LEGRAND
- OPTIQUE - André MOUSSA et Paul PONSONNET
- CAHIERS D'OPTIQUE ESSILOR

Définition : emmetropie

- Ευ μετρον = qui a la bonne mesure
- Focalisation rétinienne d'un objet à l'infini sans accommoder
- Il n'y a ni rayon ni longueur emmetropes
- Mais une harmonie naturelle entre R, L et puissance du cristallin
- Processus d'emmetropisation : origine?

DÉFINITIONS : amétropies

- Amétropie ($\alpha - \mu\epsilon\tau\rho\omicron\nu$) qui n'a pas la bonne mesure
- Défaut de focalisation rétinienne
- Amétropie axiale et amétropie de puissance
- Selon la qualité de la défocalisation :
 - stigmaté ($\sigma\tau\iota\gamma\mu\alpha$ = point) : un point donne un point
 - astigmaté : deux focales
- Selon la position de la focalisation :
 - myopie : en avant de la rétine ($\mu\upsilon\mu\epsilon\iota\nu$ = cligner οψις la vue)
 - hypermétropie : en arrière

L'œil = association de deux lentilles épaisses

- La cornée : deux tiers de la puissance
- Le cristallin : un tiers de la puissance

Somme de deux lentilles épaisses :

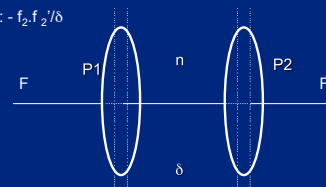
$P_1 (F_1, F_1', f_1, f_1')$ et $P_2 (F_2, F_2', f_2, f_2')$

$$F_1F : f_1 \cdot f / \delta$$

$$HF = f_1 \cdot f_2 / \delta$$

$$F_2F' : -f_2 \cdot f_2' / \delta$$

$$H'F' = -f_1' \cdot f_2' / \delta$$



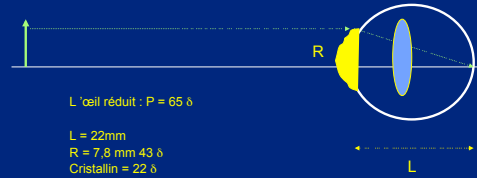
Lentille résultante $P = P_1 + P_2 - \delta/n$, ($P_1 + P_2$)
foyers F et F', de distances focales f et f'

Lentilles épaisses

- Points nodaux et plans principaux
- Distances focales asymétriques/faces
- Addition selon la formule de GULLSTRAND

$$P = P_1 + P_2 - \frac{d}{n} P_1 P_2$$

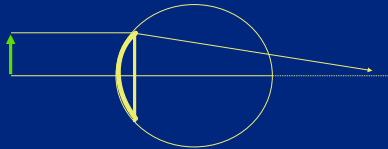
Emmetropie L'œil réduit



L'œil réduit : P = 65 dt

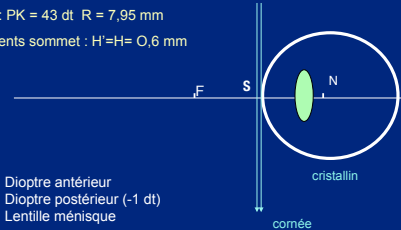
L = 22mm
R = 7,8 mm 43 dt
Cristallin = 22 dt

PUISSANCE DU DIOPTRE CORNÉEN



LES ELEMENTS CARDINAUX DE L'OEIL REDUIT lentille ménisque assimilée à un dioptre sphérique

Cornée : PK = 43 dt R = 7,95 mm
PP tangents sommet : H'=H= 0,6 mm



Dioptre antérieur
Dioptre postérieur (-1 dt)
Lentille ménisque

PUISSANCE DU DIOPTRE CORNÉEN

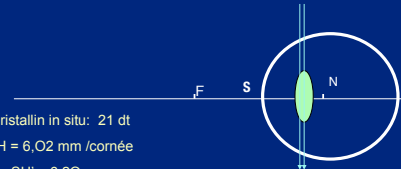
$$P = \frac{n - 1}{R}$$

Puissance avant

n = indice de la cornée 1,34
R = rayon de la cornée
Puissance avant

Ex : R = 7,8 mm
P = 43 dt

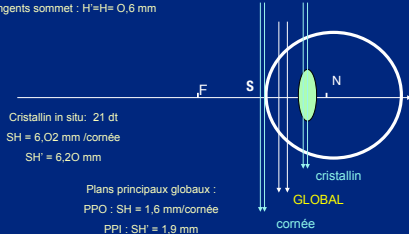
LES ELEMENTS CARDINAUX DE L'OEIL REDUIT le cristallin = lentille épaisse



Cristallin in situ : 21 dt
SH = 6,02 mm /cornée
SH' = 6,20 mm
Face antérieure
Face postérieure
Lentille épaisse
Variation de l'indice

LES ELEMENTS CARDINAUX DE L'OEIL REDUIT

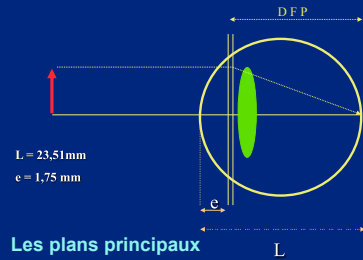
Cornée : PK = 43 dt R = 7,95 mm
 PP tangents sommet : H=H= 0,6 mm



Cristallin in situ : 21 dt
 SH = 6,02 mm /cornée
 SH' = 6,20 mm

Plans principaux globaux :
 PPO : SH = 1,6 mm/cornée
 PPI : SH' = 1,9 mm
 SF = focale objet = - 15 mm
 SN = point nodal = 7 mm

Puissance optique de l'oeil



Les plans principaux

Puissance optique de l'oeil

$$P = \frac{n}{L - e}$$

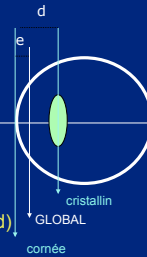
PUissance ET PLANS PRINCIPAUX DE L'OEIL

L : longueur oeil
 R : rayon cornéen
 n : indice humeur aqueuse

$$P_G = n/(L - e)$$

$$P_k = (n-1)/R$$

$$P_G = P_i + P_k - d \cdot P_k \cdot P_i \quad (\text{Gullstrand})$$



Somme de deux lentilles épaisses

Formule de GULLSTRAND

$$P_T = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \cdot e/n$$

Puissance optique de l'oeil

$$\frac{n}{L - e} = \frac{n-1}{R} + P_i - \frac{d P_i}{n} \frac{n-1}{R}$$

$$P_{\text{totale}} = P_k + P_i - d/n \cdot P_k \cdot P_i$$

Puissance de l'implant

$$P_i = \frac{1,34.R - 0,34 (L - e)}{(L - e) (R - 0,34.d)}$$

P_i = puissance d'implant emmetropisant
 R = rayon de la cornée
 d# profondeur CA
 e = distance cornée/plan principal

Variations de P en fonction des paramètres Formule d'association

n = 1,34 R = 7,78 mm L = 23,51 mm

e = 1,75 mm d = 3,68 mm

↓

ΔL = 0,5 mm ⇒ ΔP = 1,7 dt inverse
 ΔR = 0,1 mm ⇒ ΔP = 0,3 dt direct

Variations de P en fonction des paramètres Formule SRKII

$$P = A - 0,9.K - 2,5.L$$

- Non homogène
- Constante A ? : position de l'implant dans l'oeil
- Ne tiens pas compte de la profondeur de CA
- Variations :

ΔL = 0,5 mm ⇒ ΔP = 1,25 dt

ΔR = 0,1 mm ⇒ ΔP = 0,45 dt

Résultats - valeurs moyennes

- Rayon : 7,78 mm (σ = 0,24)
- Longueur : 23,51 mm 1,55
- e : 1,75 mm 0,10
- d : 2,75 mm 0,11
- PA : 20,46 dt 4,14
- PSRKII : 20,71 dt 4,25
- Pimplant : 21,24 dt 3,53

Variations des paramètres ε et δ en fonction de l'état anatomique L

Les paramètres e et d varient en fonction de L :

e = 1,7 d = 2,7 pour 21 < L < 23 mm

e = 1,8 d = 2,8 23 < L < 25 mm

e = 1,9 d = 2,9 25 < L < 27 mm

e = 2,0 d = 3,0 27 < L < 30 mm

Résultats - valeurs moyennes N = 128 cas

- Amétropie postopératoire : - 1,33 dt (1,77)
 - PA - P_i = -0,78 dt (σ = 1,67)
 - PSRKII - P_i = -0,53 dt (σ = 1,62)
- ⇒ La formule PA est plus proche de l'amétropie post-opératoire que la SRKII

Résultats - test t - séries appariées

PSRKII-Pi/PA-Pi $t = 2,97$ $p = 0,0039$

PSRKII-Pi/AmPo $t = 5,62$ $p < 0,0001$

PA-Pi/AmPo $t = 3,90$ $p = 0,0002$

DDL : 128

Différences statistiquement significatives

Importance des paramètres biométriques

- Rayon cornéen :
 - Lentilles de contact
 - Pression intraoculaire
 - Dg Kc
- Épaisseur cornéenne : glaucome chronique
- Profondeur de CA : glaucome aigu
- Longueur axiale:
 - Calcul de l'implant
 - Reconnaissance d'une amétropie

Pression interne oculaire (PIO) et épaisseur cornéenne (pachymétrie)

| Épaisseur de la cornée | Mesure constatée sur le tonomètre | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| 0,450 | 4,2 | 4,7 | 5,2 | 5,7 | 6,2 |
| 0,460 | 3,5 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,3 |
| 0,470 | 2,9 | 3,3 | 3,7 | 4,1 | 4,5 |
| 0,480 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,3 | 3,6 |
| 0,490 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,5 | 2,8 |
| 0,500 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 1,9 |
| 0,510 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 1,1 |
| 0,520 | -0,4 | -0,2 | 0,0 | 0,1 | 0,3 |
| 0,530 | -1,0 | -0,8 | -0,7 | -0,6 | -0,5 |
| 0,540 | -1,6 | -1,5 | -1,4 | -1,3 | -1,2 |
| 0,550 | -2,2 | -2,1 | -2,1 | -2,0 | -2,0 |
| 0,560 | -2,8 | -2,8 | -2,8 | -2,8 | -2,7 |
| 0,570 | -3,4 | -3,4 | -3,4 | -3,4 | -3,4 |
| 0,580 | -3,9 | -4,0 | -4,1 | -4,1 | -4,2 |
| 0,590 | -4,5 | -4,6 | -4,7 | -4,8 | -4,9 |

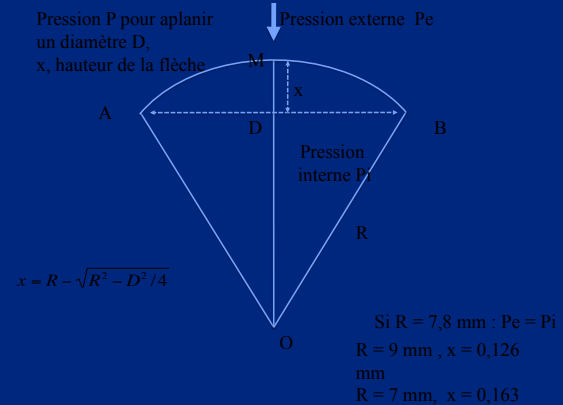


Tableau 3 : variation de pression et rayon de courbure cornéen

| Rayon/pression | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|----------------|----|----|----|----|----|
| 6,0 | -3 | -5 | -7 | -8 | -9 |
| 7,0 | -2 | -3 | -4 | -5 | -6 |
| 7,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9,0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10,0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

CONCLUSIONS

- Diminuer les incertitudes :
 - le paramètre capital : la longueur axiale
 - Étalonage du kératomètre
- Confronter plusieurs formules
- Calcul de l'amétropie résiduelle en fonction de l'amétropie antérieure
- Applications à l'anisétropie

Evolution de l'amétropie ?

- Le processus d'emmetropisation
 - Harmonie entre R et L
 - Rôle du flou rétinien
- Le processus d'amétropisation
 - < 20 ans : longueur axiale
 - > 50 ans : cristallin

LES 4 AGES REFRACTIFS

- $0 < N < 20$: enfance + adolescence
 - Correction + rééducation
- $20 < N < 45$: adulte jeune
 - Correction de l'amétropie
- $45 < N < 75$:
 - Presbytie
- $75 < N$:
 - Complications : cataracte ...

Facteurs de variations de la réfraction la réfraction est-elle stable au cours des âges ?

- Chez l'enfant : longueur axiale
 - Hypermétropie décroissante
 - Myopie croissante à l'adolescence, modification de la longueur de l'oeil
- Adulte :
 - cristallin
 - Hypermétropisation par augmentation de R
 - Myopisation par densification du noyau
 - cornée : astigmatisme kératocônique

Les paramètres biométriques moyens de l'oeil

- L'épaisseur de la cornée
- Le rayon de courbure R
- La longueur axiale L
- L'amétropie A

Intérêt de la biométrie

- Pachymétrie (+comptage cellulaire) :
 - glaucome
- Kératométrie (Javal, IOL Master) :
 - lentilles de contact,
 - calcul des implants,
 - Glaucome chronique
- Profondeur de chambre antérieure (IOL Master, écho A):
 - glaucome aigu
- Longueur axiale (IOL Master, écho A ou B) :
 - calcul des implants,
 - risque de décollement

Risque de glaucome aigu en fonction de la profondeur de chambre antérieure

| Chambre antérieure en mm | Fréquence de glaucome par fermeture en % |
|--------------------------|--|
| 2,2-2,3 | 1 |
| 2,0-2,1 | 3 |
| 1,8-1,9 | 11-14 |
| 1,6-1,7 | 33-40 |
| 1,4-1,5 | 33 |
| 1,1-1,3 | 100 |

D'après AJO 1969-67.87-93

Matériel d'études

- 484 yeux opérés de cataracte
- Âgés de 15 à 96 ans,
- Moyenne 72 ans ($\sigma = 11$ ans)
- Amétropie connue
- Rayon mesuré au Javal
- Longueur mesurée au IOL Master

Œil et biométrie - hypermétropes

| Amétropie dioptries | N yeux | Longueur mm | Amplitude mm | Écart type L mm | Rayon mm |
|---------------------|--------|-------------|--------------|-----------------|----------|
| ± 0,5 | 172 | 23,28 | 22,20-25,60 | 0,97 | 7,74 |
| +0,75 / +1 | 37 | 23,24 | 21,50-24,93 | 0,71 | 7,78 |
| +1,25 / +1,75 | 33 | 22,87 | 21,40-23,87 | 0,94 | 7,74 |
| +2 / +2,25 | 45 | 22,88 | 21,69-24,50 | 0,89 | 7,73 |
| +3 / +3,5 | 14 | 22,85 | 22,69-23,70 | 0,56 | 7,72 |
| +4 / +4,50 | 22 | 22,49 | 21,80-25,80 | 1,14 | 7,74 |
| +5 / +8 | 9 | 21,44 | 19,80-21,75 | 1,20 | 7,66 |

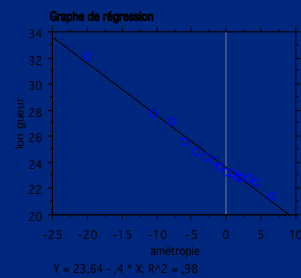
Rayon moyen = 7,73 mm

Œil et biométrie - myopes

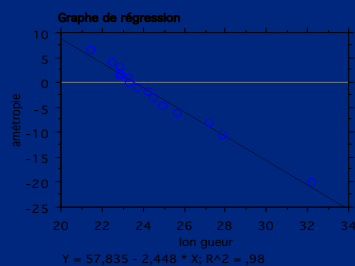
| Amétropie dioptries | N yeux | L moyenne mm | Amplitude mm | Écart type mm | Rayon mm |
|---------------------|--------|--------------|--------------|---------------|----------|
| ± 0,5 | 172 | 23,28 | 22,20-25,60 | 0,97 | 7,74 |
| - 0,5 / -1 | 30 | 23,72 | 21,50-25,10 | 0,97 | 7,74 |
| -1,5 / -2 | 15 | 24,20 | 22,14-26,20 | 1,08 | 7,78 |
| -2,5 / -3,5 | 22 | 24,46 | 24,00-25,50 | 0,87 | 7,71 |
| -4 / -5 | 43 | 24,90 | 21,70-27,20 | 1,50 | 7,65 |
| -5,5 / -7 | 17 | 25,60 | 21,70-28,64 | 1,59 | 7,78 |
| -7,5 / -9 | 11 | 27,19 | 25,30-33,80 | 2,60 | 7,67 |
| -9 / -12 | 7 | 27,82 | 25,50-30,90 | 2,57 | 7,79 |
| -15 / -30 | 14 | 32,18 | 29,52-30,25 | 2,47 | 7,73 |

Rayon moyen = 7,73 mm

Corrélations amétropie/longueur



Corrélations longueur/amétropies



Corrélations statistiques

- Longueur – amétropie :
 $L = - 4.A + 23,64$ $r^2 = 0,98$
 - Amétropie – longueur :
 $A = 57,83 - 2,45 .L$ $r^2 = 0,98$
- NB : on retrouve le 2,5.L de la SRKII

Rayon moyen : 7,73 mm
Le rayon cornéen ne dépend pas de l'amétropie
L'amétropie ne dépend pas du rayon cornéen

L'amétropie dépend de la longueur de l'œil

Corrélations : $P_o = f(L,R)$

$$L = 8,48 R - 42,54 \quad r^2 = 0,975$$

$$L = -0,48 P + 33,46 \quad r^2 = 0,998$$

d'où :

$$P = 13,9 R - 3,7 L$$

et

$$P = -17,66 R + 158,33$$

Influence de la longueur sur l'amétropie

- Amétropie – longueur (droite de régression)
 $A = 57,83 - 2,45 L$
- Formule de calcul d'implant de la SRKII (régression)
 $P = Cst - 0,9.K - 2,5 L$
Pour P intraoculaire (1,25 dt interne = 1 dt externe)
Soit $2,5 \times 1,25 = 3,12$ dt
- Selon le calcul via Gullstrand:
 $P = 13,9 R - 3,7 L$
- Donnée de la littérature : 1 mm = 3 dpt

Biométrie et réfraction

Atropine 1933
Ophtalmomètre ou kératomètre de Helmholtz en 1854
Javal en 1880, ophtalmomètre
Rayon moyen de 7,8 mm, 43 dioptries
Vidéotopographe de la face antérieure
De la face postérieure (obscure)
Longueur axiale : échographie A ou écho-oculomètres
Biométrie optique IOL master (sans contact)
Intérêt : amétropie en fonction de la longueur ?
Myopie forte ? > 6 dt ou > 26 mm (mieux)
Anisométrie ? : 1 mm = 3 dt
Si L faible et R petit = non évolutif et pas de complication
Part du cristallin : rayons et épaisseur, on aura la réfraction théorique

Suite

- Réfraction subjective
- Réfraction objective cycloplégée
- Réfraction anatomique
- Pas la réfraction restera toujours un art fonction de l'expérience et du contexte

L'ŒIL APHAQUE

- Connaissant le rayon de courbure et la puissance correctrice par lentille
- Il est possible de calculer la longueur axiale de l'œil en vue d'une implantation secondaire

Puissance de la lentille de contact et longueur de l'œil

- Connaissant R et la lentille de correction d'un aphaque, il est possible de calculer L :
- P_L puissance à ajouter à la cornée P_c pour obtenir une puissance P focalisant sur la rétine telle que :
 $P = n/L$ (n = indice de l'œil)
avec : $P = P_c + P_L$ et $P_c = (n-1)/R$

$$d'où L = n / (n-1+R.P_L)$$

