

Clinique ophtalmologique de l'Université de Liège (Dir. : Prof. R. Weekers)

## Étude des dimensions de la chambre antérieure de l'œil humain

1<sup>e</sup> partie : Considérations biométriques \*

Par R. WEEKERS, J. GRIETEN et G. LAVERGNE

Ce travail est précédé d'une introduction

de H. GOLDMANN

Clinique ophtalmologique de l'Université de Berne

Herr Kollege *Weekers* hat mich gebeten, ihm eine Methode anzugeben, mit der man in einfacher Weise genügend genau für klinische Zwecke die Tiefe der Vorderkammer bestimmen kann, wenn man an der Spaltlampe den scheinbaren Abstand zwischen Cornea und Linse mißt. Im Prinzip hat nach der folgenden Methode seinerzeit *Heim* gearbeitet. *Jaeger* hat einen rechnerischen Weg eingeschlagen.

Es folgt die Konstruktion, die ich vorschlug. Sie beruht auf einem Prinzip, das von *Weierstrass* angegeben worden ist.

### 1. Das Weierstraßsche Prinzip

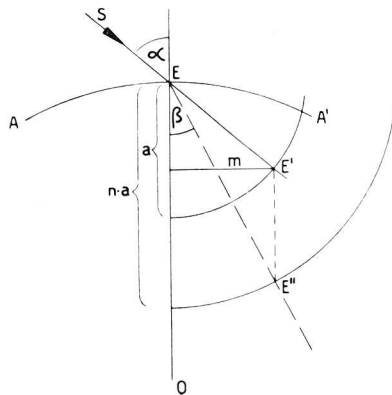


Abb. 1

\* Les autres parties de ce travail qui paraîtront ultérieurement, dans cette même revue, traiteront des « *Considérations cliniques sur les dimensions de la chambre antérieure* ».



Fig. 1. Sei  $AA'$  eine Kugelfläche (Radius  $EO$ ), die das Medium mit dem Brechungsindex 1 (Luft) vom Medium mit dem Brechungsindex  $n$  trennt. Sei  $\alpha$  der Winkel, den der einfallende Strahl mit dem Lot in  $E$  einschließt. Ein Kreis mit beliebigem Radius  $a$  werde um  $E$  geschlagen und konzentrisch dazu ein Kreis mit dem Radius  $n \cdot a$ . Verlängert man den einfallenden Strahl  $SE$  über  $E$  hinaus bis zu seinem Schnittpunkt  $E'$  mit dem Kreis vom Radius  $a$  und zieht von  $E'$  eine Parallele zum Lote  $EO$  bis zu ihrem Schnittpunkt  $E''$  mit dem Kreis mit dem Radius  $n \cdot a$ , so läßt sich folgendermaßen beweisen, daß  $EE''$  der gebrochene Strahl zu  $SE$  ist.

$$\sin \alpha = \frac{m}{a} ; \sin \beta = \frac{m}{n \cdot a} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

## 2. Anwendung auf die Vorderkammer

In Fig. 2 ist der vordere Abschnitt eines Auges dargestellt, längs dessen Achse  $AO$  das schmale Büschel der Spaltlampe die Vorderkammer schneide. Die Achse des messenden Mikroskops stehe so, daß die aus dem Auge austretenden Strahlen von  $E_0$  und  $E_1$  herkommen, falls  $E_0$  dem scheinbaren Ort der Cornearückfläche und  $E_1$  dem scheinbaren Ort der Linsenvorderfläche entspreche. Es werde angenommen, diese Strahlen seien parallel. Da die Eintrittspupille des Mikroskops mehr als 6 cm von der betrachteten Projektionsebene entfernt ist, ist der Fehler, den man dabei macht, 1. immer gleich und 2. kleiner als 2%. Nehmen wir weiterhin den Brechungsindex der Hornhaut gleich dem des Kammerwassers, so geht das weitere aus der Fig. 2 samt der beiliegenden Legende hervor. Gemessen ist der Einfallswinkel  $\alpha$ ,  $AO$  der Hornhautradius und  $A''N$ . Daraus kann  $A'L$  nach Fig. 1 bestimmt und abgemessen werden. Für die Messung ist das theoretisch einwandfreie Verfahren die Verdoppelung mittels planparalleler Platten (*Helmholtz, Jaeger*), welches unabhängig von der Vergrößerung ist. Das Prinzip unseres Koinzidenzokulars (Fraunhofersche Linsenhalbierung)<sup>1</sup> liefert schöne Halbbilder, ist vergrößerungsabhängig, daher auch vom Abstand Mikroskop—Objekt. Der Abstandsfehler fällt bei *einem* Beobachter nicht, bei verschiedenen Beobachtern kaum ins

<sup>1</sup> Bericht Dtsch. Ophthalmolog. Gesellschaft Leipzig 49: 435, 1932. *Lobeck* hat nach dem gleichen Prinzip ein Okular zur Messung der Gefäße am Augenhintergrund im Jahr 1935 beschrieben (Graefes Arch. Ophthal. 133: 152, 1935).

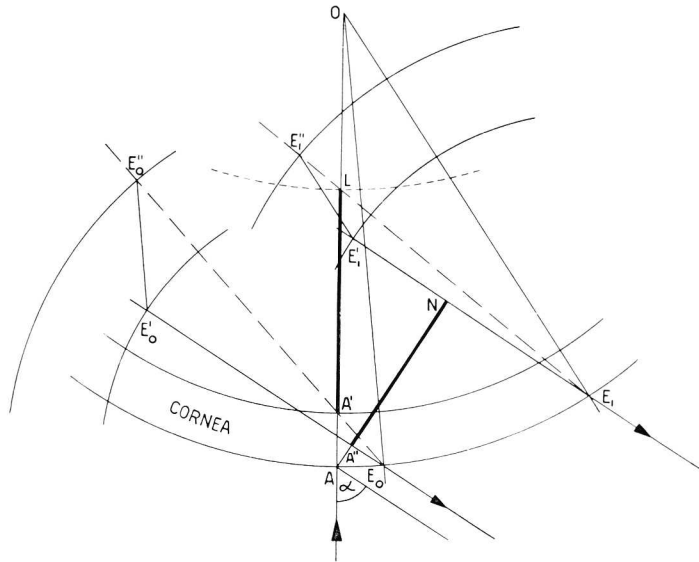


Abb. 2

$\alpha$	Winkel zwischen Beleuchtungsrichtung und Mikroskopachse
O	Mittelpunkte der Corneakrümmung
A	Corneascheitel
A'	Scheitel der Cornearückfläche
L	Linsenscheitel
A'L	Vorderkammertiefe
AN	Ebene senkrecht zur Mikroskopachse
A''N	scheinbare Tiefe der Vorderkammer
AA''	scheinbare Hornhautdicke
E'E <sub>0</sub>	Austrittsrichtung des von der Hornhaurückfläche kommenden Strahls
E <sub>0</sub> O	Lot im Punkte E <sub>0</sub>
E <sub>0</sub> E''	gebrochener Strahl zu E <sub>0</sub> E <sub>0</sub> ' (konstruiert nach Fig. 1). Entsprechend sind: E <sub>1</sub> 'E <sub>1</sub> = austretender Strahl, scheinbar von der Linsenvorderfläche herkommend
E <sub>1</sub> O	Lot in E <sub>1</sub>
E <sub>1</sub> E <sub>1</sub> ''	gebrochener Strahl zu E <sub>1</sub> E <sub>1</sub> '

Gewicht. Auch dieser Fehler kann vermieden werden, wenn man am Ort der augenseitigen Objektivbrennebene des Mikroskops eine senkrechte Schlitzblende anbringt.

Différentes entités cliniques se caractérisent par une modification d'une des dimensions de la chambre antérieure du globe : réduction de la profondeur dans le glaucome à angle fermé, accroissement du diamètre cornéen dans la mégalocornée et dans

certaines glaucomes congénitaux, diminution du rayon de courbure cornéen dans le kératocone, etc.

Pour faire le diagnostic précoce de ces affections à leur début, il est nécessaire de mesurer les dimensions de la chambre antérieure en clinique et de préciser par une étude biométrique, les limites extrêmes de ces variables chez l'individu normal. Ce travail constitue ainsi un complément au rapport que nous avons consacré au « *Diagnostic précoce du glaucome débutant* » (R. Wee-*kers* et coll., 1958).

La mesure de la profondeur de la chambre antérieure chez l'Homme a déjà fait l'objet de nombreux travaux (*Rosengren*, 1930 ; *Friedenwald et Pierce*, 1932 ; *Schindo*, 1932 ; *Sala*, 1933 ; *Goldmann*, 1939 ; *Tron*, 1940 ; *Gradle et Sugar*, 1940 ; *Heim*, 1941 ; *Sugar*, 1942 ; *Stenstrom*, 1946 ; *Schneider*, 1951 ; *Jaeger*, 1952 ; *Tornquist*, 1953 ; *Krannig*, 1957 ; *Bechac*, 1957 ; *Calmette, Deodati, Huron, Bechac*, 1958). Les techniques utilisées par ces auteurs diffèrent les unes des autres et aboutissent d'ailleurs à des résultats assez dispersés qui attribuent à la chambre antérieure de l'œil humain emmétrope, une profondeur moyenne variant de 2.86 mm. à 3.68 mm.

En 1932, *Goldmann* décrit un nouvel oculaire pour la mesure des milieux transparents de l'œil. L'introduction que le Professeur *Goldmann* a bien voulu rédiger et qui précède ce travail expose la théorie de l'utilisation de cet oculaire pour la mesure de la profondeur de la chambre antérieure.

### *Techniques de mesure*

Nos mesures portent sur a) *la profondeur de la chambre antérieure*, b) *le rayon de courbure de la cornée*, c) *le diamètre de la cornée*.

Pour mesurer la profondeur de la chambre antérieure, nous utilisons l'oculaire à coïncidence préconisé par *Goldmann* (1932)<sup>1</sup> qui constitue un accessoire de la lampe à fente de Haag-Streit<sup>2</sup>. Cet oculaire est monté sur le tube *droit* du microscope (fig. 1). L'angle formé par le système d'éclairage, d'une part, et le sys-

<sup>1</sup> Nous remercions vivement le Professeur *Goldmann* de l'aide précieuse qu'il nous a apportée lors de la mise au point de cette technique de mesure.

<sup>2</sup> L'oculaire à coïncidence ne peut être adapté actuellement que sur l'ancien modèle de lampe à fente.

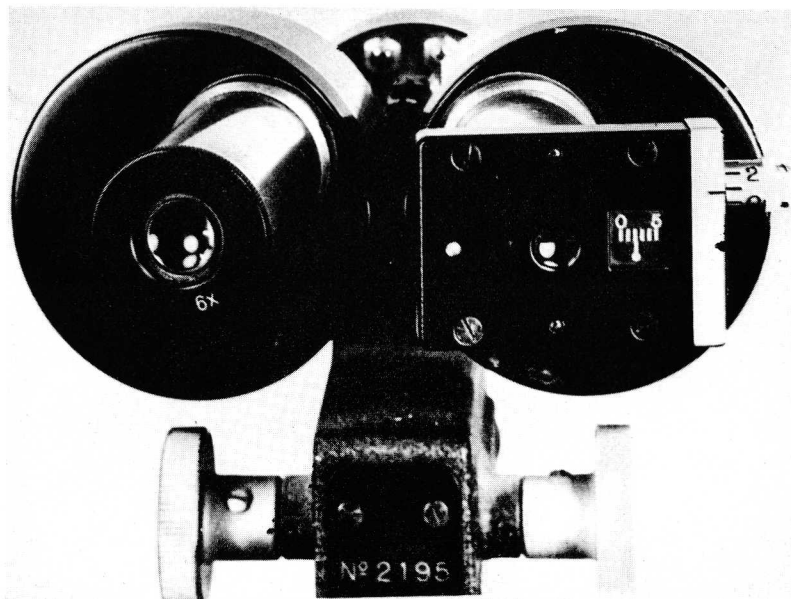


Fig. 1. Objectif à coïncidence monté sur le tube droit du biomicroscope de la lampe à fente de Haag-Streit.

tème de mesure, d'autre part, doit être de *60 degrés* (fig. 2). Une couronne graduée fixée sur le support du microscope et de la lampe à fente sert à mesurer cet angle ; deux vis de serrage assurent sa constance pendant les mesures. Le *microscope* est toujours à *droite* et la *lampe à fente* à *gauche* quel que soit l'œil examiné.

Le microscope est muni du faible objectif ( $1.6 \times$ ), l'emploi d'un autre objectif serait la source d'une erreur grossière. L'échelle de l'oculaire à coïncidence est amenée au zéro.

Le patient fixe le système d'éclairage qui est placé juste en face de l'œil examiné, l'observateur doit, de ce fait, s'installer latéralement.

Le largeur de la fente de la lampe est fortement réduite. Le fin parallélogramme lumineux est amené au milieu de la cornée et mis au point soigneusement. La molette de l'oculaire à coïncidence est tournée jusqu'à ce que l'image de la *face postérieure de la cornée* (moitié supérieure de l'image), recule, puis s'aligne parfaitement sur l'image de la *face antérieure du cristallin* (fig. 3). Cette manière

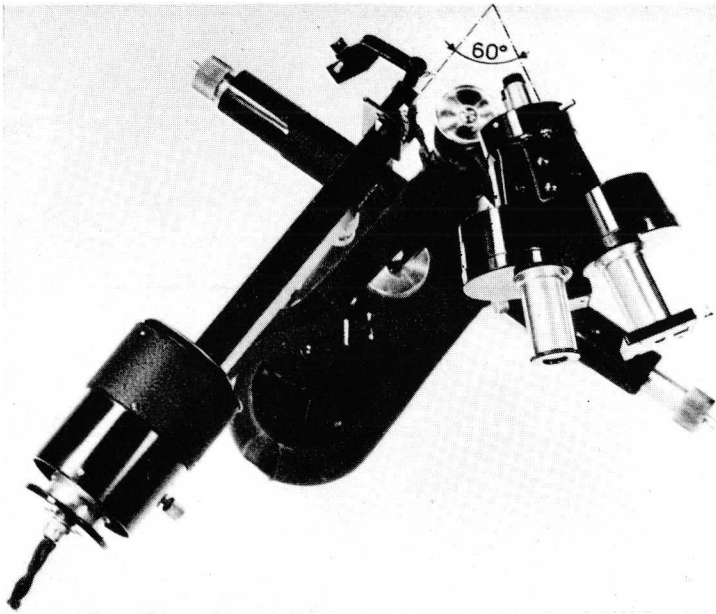


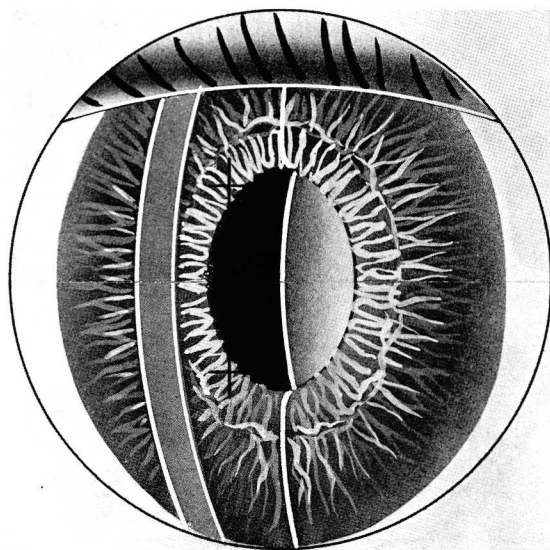
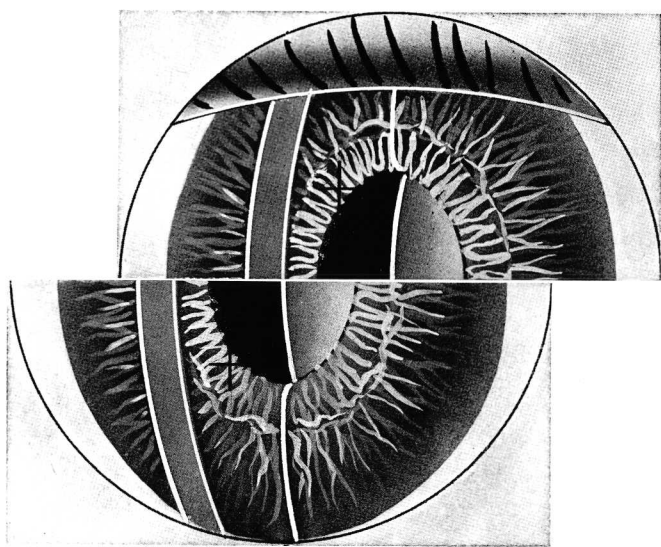
Fig. 2. Lampe à fente de Haag-Streit munie de l'oculaire à coïncidence. Les systèmes d'éclairage et d'observation font un angle de 60 degrés.

de procéder permet de ne pas tenir compte de l'épaisseur de la cornée.

Le rayon de courbure de la cornée intervient dans le calcul de la profondeur de la chambre antérieure. Il est déterminé au moyen du kératomètre de Javal.

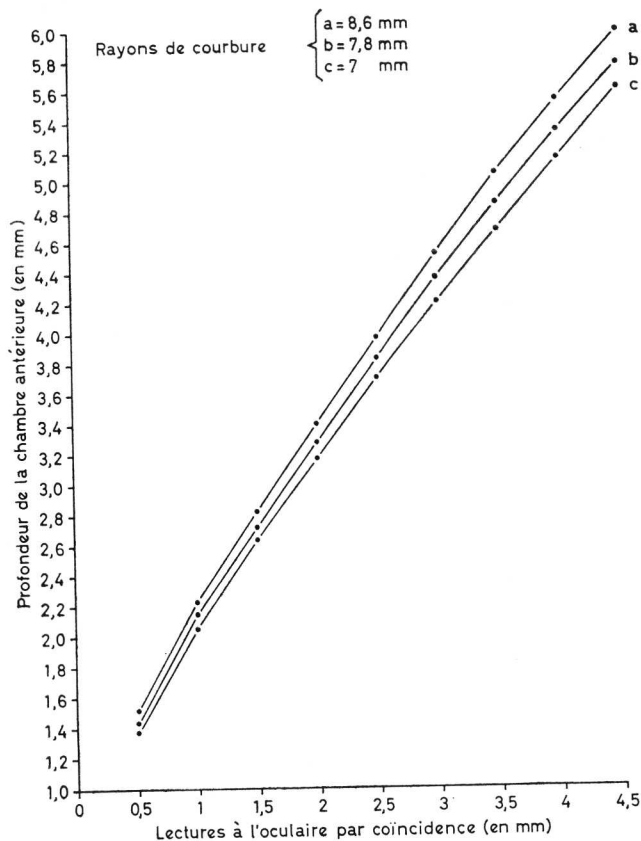
Le graphique 1, basé sur la théorie exposée précédemment par le Professeur *Goldmann*, permet de transformer le chiffre lu sur l'échelle de l'oculaire à coïncidence en profondeur de chambre antérieure exprimée en millimètres.

Les mesures du *diamètre cornéen* ont été faites au moyen du système optique servant au contrôle de la fixation du regard du patient dans le périmètre à coupole de *Goldmann* (Haag-Streit). Ce système optique est muni d'un réticule gradué. Cet appareil présente les avantages suivantes : a) la lecture est aisée car l'œil est éclairé de façon diffuse par la coupole du périmètre, b) la tête du patient et le système de mesure sont parfaitement immobiles, c) le centrage de l'œil et la distance qui le sépare du système optique sont rigoureux.

*Fig. 3 a**Fig. 3 b*

*Fig. 3. Image du segment antérieur vue dans l'oculaire à coïncidence. a) Position de départ. b) Position de lecture : l'image de la face postérieure de la cornée est alignée sur celle de la face antérieure du cristallin.*





Graph. 1. Abaque permettant la transformation du chiffre lu sur l'oculaire à coïncidence en profondeur de la chambre antérieure, exprimée en millimètres. Cet abaque n'est valable que pour l'objectif 1,6 × et un angle de 60 degrés entre le système d'éclairage et le système d'observation.

### Résultats

Le tableau I groupe les résultats des mesures faites avec les techniques précédemment décrites.

La profondeur de la chambre antérieure décroît avec l'âge (tableau I et graphique 2), observation qui confirme les travaux de *Stenstrom* (1946), *Tornquist* (1953), *Bechac* (1957), *Calmette*, *Deodati*, *Huron* et *Bechac* (1958).

Par contre, le rayon de courbure et le diamètre cornéens atteignent très vite des valeurs qui ne se modifient plus au cours de l'existence (tableau I et *Priestley-Smith*, 1890 ; *Peter*, 1925 ; *Waardenburg*, 1930 ; *François*, 1958).

TABLEAU I

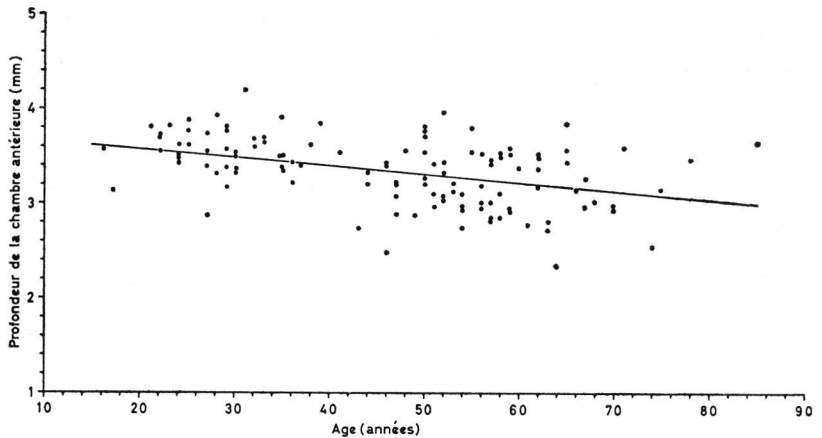
Mesure de la profondeur de la chambre antérieure, du rayon de courbure de la cornée et du diamètre cornéen chez des sujets emmétropes (— 0,50 dioptrie à + 1 dioptrie)

n = nombre de cas, s = écart-type, e = écart-type de la moyenne

	Age (années)			
	moins de 15	15 à 35	35 à 55	au delà de 55
Profondeur de la chambre antérieure (mm.)	3,61 n = 27 s = 0,21 e = 0,040	3,60 n = 40 s = 0,25 e = 0,039	3,27 n = 40 s = 0,34 e = 0,054	3,18 n = 40 s = 0,34 e = 0,054
Rayon de courbure de la cornée (mm.)	7,87 n = 27 s = 0,32 e = 0,062	7,96 n = 40 s = 0,23 e = 0,036	7,82 n = 40 s = 0,29 e = 0,046	7,79 n = 40 s = 0,22 e = 0,035
Diamètre de la cornée (mm.)	11,71 n = 40 s = 0,50 e = 0,079	11,81 n = 40 s = 0,35 e = 0,056	11,76 n = 40 s = 0,28 e = 0,044	11,75 n = 40 s = 0,36 e = 0,057

Le poids et le volume du cristallin augmentent pendant presque toute l'existence, cette croissance est beaucoup plus prolongée que celle de la taille de l'individu (cf. littérature dans François, 1958).

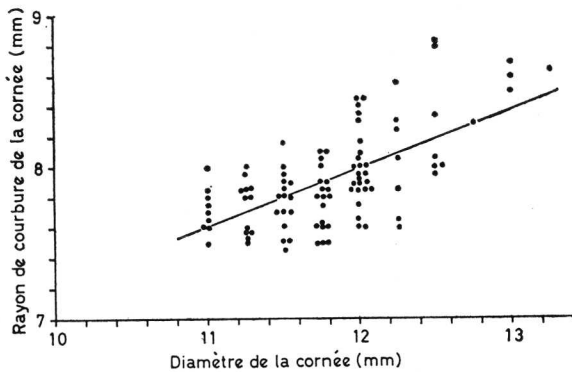
Il résulte de l'ensemble de ces données que la réduction de la profondeur de la chambre antérieure, en fonction de l'âge, doit être attribuée essentiellement à l'augmentation progressive de l'épaisseur du cristallin.



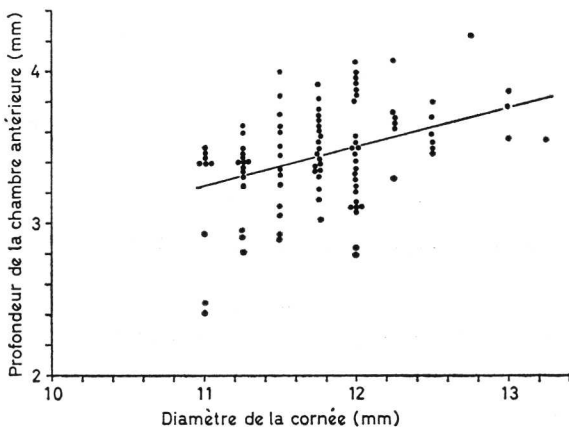
Graph. 2. Réduction progressive de la profondeur de la chambre antérieure en fonction de l'âge. L'équation de la droite de régression ( $Y = 3,82033 - 0,01028 x$ ) a été calculée par la méthode des moindres carrés ( $r = -0,45$ ).

Ces données biométriques ne doivent pas être considérées isolément. Dès 1886, *Bourgeois et Tschering* avaient noté l'existence d'une corrélation entre la taille, la circonférence de la tête et la rayon de courbure de la cornée.

*Stenstrom* (1946) a montré qu'il existe une corrélation statistiquement significative entre le rayon de courbure de la cornée et la longueur de l'œil et entre la profondeur de la chambre antérieure et la longueur de l'œil mais il ne trouve pas de corrélation statistiquement significative entre le rayon de courbure de la cornée et la profondeur de la chambre antérieure.



Graph. 3. Corrélation entre le rayon de courbure et le diamètre de la cornée. Equation de la droite de régression :  $y = 2,9514 + 0,4206 x$  ( $r = + 0,60$ ).



Graph. 4. Corrélation entre la profondeur de la chambre antérieure et le diamètre de la cornée. Equation de la droite de régression :  $y = 0,4408 + 0,2546 x$  ( $r = + 0,37$ ).

Pour notre part, complétant les recherches de *Stenstrom*, nous avons démontré l'existence d'une corrélation statistiquement significative entre le diamètre et le rayon de courbure de la cornée (graphique 3) et entre le diamètre de la cornée et la profondeur de la chambre antérieure (graphique 4). Pas plus que *Stenstrom*, nous n'avons trouvé de corrélation entre le rayon de courbure de la cornée et la profondeur de la chambre antérieure.

L'ensemble de ces mesures montrent, qu'en règle générale, un œil de grandes dimensions se caractérise à la fois par un grand diamètre cornéen, par une chambre antérieure profonde et par un grand axe antéro-postérieur. Un petit œil a, d'autre part, le plus souvent les caractéristiques inverses. Au delà de certaines limites, les dissociations entre ces différents facteurs appartiennent à la pathologie. Leur étude fera l'objet des autres parties de ce travail.

#### *Résumé*

a) Description d'une technique de mesure de la profondeur de la chambre antérieure selon la méthode de *Goldmann*: objectif à coïncidence monté sur la lampe à fente de Haag-Streit.

b) Etude de la profondeur de la chambre antérieure, du rayon de courbure et du diamètre cornéens en fonction de l'âge.

c) Etude des corrélations unissant la profondeur de la chambre antérieure, le diamètre et le rayon de courbure de la cornée.

#### *Zusammenfassung*

a) Beschreibung einer Technik zur Messung der Vorderkammertiefe nach der Methode von *Goldmann*: Koinzidenz-Okular montiert auf der Haag-Streit-Spaltlampe. b) Untersuchungen über die Vorderkammertiefe, den Krümmungsradius und den Durchmesser der Hornhaut in Abhängigkeit des Alters. c) Untersuchungen über die Korrelation zwischen der Vorderkammertiefe, Durchmesser und Krümmungsradius der Hornhaut.

#### *Summary*

Goldmann's technique of measurement of the depth of the anterior chamber by means of the Haag-Streit Slit-lamp is described. The depth of the anterior chamber, the corneal radius, and the corneal diameters are studied in relation to age. Consideration is given to the correlation between the depth of the anterior chamber, and the diameter and radius of curvature of the cornea.

*Bibliographie*

- Bechac, G.*: Contribution à l'étude de la profondeur de la chambre antérieure (Variations physiologiques et au cours des amétropies); Thèse (Toulouse 1957).
- Bourgeois, M. et Tschering, H.*: Recherches sur les relations qui existent entre la courbure de la cornée, la circonférence de la tête et la taille. *Ann. Ocul.* 96: 203 (1886).
- Calmettes, L.; Deodati, F.; Huron, H. et Bechac, G.*: Etude de la profondeur de la chambre antérieure. (Variations physiologiques et au cours des amétropies). *Arch. Ophthal., Paris* 18: 513 (1958).
- Donders, F. C.*: Instrument pour mesurer la profondeur de la chambre antérieure et la courbure de la cornée. *Congrès de Londres, compte rendu* (1872).
- Duke Elder, S.*: Croissance du cristallin. *Text-book of Ophth., Vol. I*, p. 120 (Kimpton, London 1942).
- François, J.*: L'hérédité en ophtalmologie (Masson, Paris 1958).
- Les cataractes congénitales. *Bull. Soc. franç. Ophtal.* 1959 (Masson, Paris).
- Goldmann, H.*: Ein neues Messokular für die Spaltlampe. *Ber. dtsh. ophthal. Ges.* 49: 435 (1932).
- Spaltlampenphotographie und -photometrie. *Ophthalmologica* 98: 257 (1939).
- Heim, M.*: Photographische Bestimmung der Tiefe und des Volumens der menschlichen Vorderkammer. *Ophthalmologica* 102: 193 (1941).
- Jaeger, W.*: Einfaches Zusatzgerät für die Spaltlampe zur Messung der Vorderkammertiefe. *Ber. dtsh. ophthal. Ges.* 57: 324 (1952).
- Tiefmessung der menschlichen Vorderkammer mit planparallelen Platten. (Zusatzgerät zur Spaltlampe.) *Graefes Arch. Ophthal.* 153: 121 (1952).
- Krannig, H.*: Vereinfachte Tiefenmessung insbesondere am vorderen Augapfel. *Ber. dtsh. ophthal. Ges.* 60: 296 (1956).
- Krause, A. C.*: *Biochemistry of the eye.* (Johns Hopkins Press, Baltimore 1934).
- Lindstedt, F.*: Über die Messung der Tiefe der vorderen Augenkammer mittels eines neuen für klinischen Gebrauch bestimmten Instruments. *Arch. Augenheilk.* 80: 104 (1916).
- Peter, B.*: Über die Corneagröße und ihre Vererbung. *Graefes Arch. Ophthal.* 115: 29 (1925).
- Raeder, J. G.*: Untersuchungen über der Lage und Dicke der Linse im menschlichen Auge bei physiologischen und pathologischen Zuständen nach einer neuen Methode gemessen. *Graefes Arch. Ophthal.* 73: 110 (1922).
- Rosengren, B.*: Studien über Tiefe der vorderen Augenkammer mit besonderer Hinsicht auf ihr Verhalten beim primären Glaukom. Eine Untersuchung mit dem Lindstedtschen Apparat. *Acta ophthal., Kbh.* 8: 99 (1930).
- Sala, G.*: La profondità della camera anteriore nell'occhio vivente in rapporto all'età ed allo stato di refrazione oculare. *Boll. Ocul.* 12: 1317 (1933).
- Saunte, A.*: *Linsemaalinger* (Odense 1905).
- Schneider, H. S.*: Tiefmessung am vorderen Augenabschnitt mit der Spaltlampe. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 119: 192 (1951).

- Shindo, S.*: Studien über die Tiefe der vorderen Augenkammer. I. Mitt.: Über die Kammertiefe des normalen Auges. *Acta Soc. ophthal. jap.* 36: 1754 (1932); *Réf. Zbl. ges. Ophthal.* 29: 111 (1933).
- Smith, P.*: cité par *Duke Elder*, *Text Book of Ophthal.* Vol. 1, p. 120 (Kimpton, London 1942).
- Stenstrom, S.*: Untersuchungen über die Variation und Kovariation der optischen Elemente des menschlichen Auges; Thèse (Uppsala 1946).
- An apparatus for the measurement to the depth of the anterior chamber, based on the principle of Lindstedt. *Acta ophthal., Kbh.* 31: 265 (1953).
- Sugar, H. S.*: A practical method of measuring the depth of the anterior chamber. *Amer. J. Ophthal.* 25: 1230 (1942).
- Anatomic factors that influence the depth of the anterior chamber; their significance. *Amer. J. Ophthal.* 25: 1341 (1942).
- *The Glaucomas* (Mosby, St. Louis 1951).
- Tabulae Biologicae, Oculus*: Vol. 1, p. 177 (Uitgeverij Dr. W. Junk, Amsterdam 1947).
- Tron, E. S.*: The optical elements of the refractive power of the eye. *Modern Trends in Ophthalmology*, p. 245 (Butterworth, London 1940).
- Tornquist, R.*: Shallow anterior chamber in acute glaucoma. *Acta ophthal., Kbh.* 39: 20 (1953).
- Ulbrich, H.*: Die Messung der Kammertiefe. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 53: 244 (1914).
- Waardenburg, P. J.*: Hornhautrefraktion und Hornhautscheibengröße. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 85: 169 (1930).
- Weekers, R.; Prijot, E.; Delmarcelle, Y.; Lavergne, G.; Watillon, M.; Gougard, L.; Gougard-Rion, C. et Gustin, J.*: Le diagnostic précoce du glaucome débutant. *Bull. Soc. belge Ophtal.* 121: 1 (1958).
- Weve, S.*: Entwurf eines Instrumentes zur Tiefenmessung der vorderen Augenkammer für klinische Zwecke. *Arch. Augenheilk.* 81: 56 (1916).

Adresse des auteurs: Dr. J. Grieten. Dr. G. Lavergne et Prof. Dr. R. Weekers, Clinique ophtalmologique de l'Université de Liège Hôpital de Bavière (Belgique).