

CLINIQUE OPHTHALMOLOGIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE
(PROFESSEUR R. WEEKERS).

Acquisitions récentes en tonométrie (1).

Par MM.

G. LAVERGNE, E. PRIJOT et R. WEEKERS

(Liège).

Diverses observations très simples et par ailleurs très fréquentes démontrent, de façon formelle, le rôle essentiel de l'hypertension intraoculaire dans la genèse des déficits fonctionnels du glaucomeux.

a) Dans le glaucome à angle ouvert, lorsque l'hypertension apparaît simultanément dans les deux yeux, mais qu'elle est plus accusée d'un côté que de l'autre, c'est, sans exception, l'œil le plus hypertendu qui présente les scotomes les plus étendus et les plus denses.

b) Lorsque l'hypertension n'apparaît pas simultanément des deux côtés, c'est dans l'œil dont l'hypertension est la plus ancienne que les altérations sensorielles sont les plus graves.

c) Un œil sain, devenu hypertendu à la suite d'une cause occasionnelle (traumatisme provoquant une synéchie antérieure ou une subluxation du cristallin, par exemple) présente, en un temps plus ou moins long, une excavation papillaire et des déficits périmétriques identiques à ceux d'un œil atteint de glaucome essentiel.

d) De très nombreuses observations personnelles dont certaines portent actuellement sur plus de 20 ans, démontrent que la normalisation *stricte* de l'ophtalmotonus enrayer totalement la progression des scotomes fasciculaires tant dans le glaucome à angle ouvert que dans le glaucome congestif. La lente altération de l'acuité visuelle ou le rétrécissement concentrique progressif des isoptères qui ne sont pas exceptionnels après une opération fistulisante résultent de l'altération de la transparence des milieux ou de lésions vasculaires rétinienne séniles dont la parenté avec le glaucome n'est pas démontrée.

Il résulte de ces constatations que la mesure *exacte* de la pression oculaire a une importance pratique considérable. De très sérieux progrès ont été

(1) Ce travail a été réalisé avec l'aide du Fonds national belge de la Recherche scientifique.

Station de Contrôle des Tonomètres

Tonomètre n° Marque.....

	Val. mesurée	Val. standard		Val. mesurée	Val. standard
1. POIDS piston + levier + aiguille sur 5	gr	5,5 ± 0,15	8. JEU, mesuré à la graduation piston axe du levier	division	division 0,4 max. 0,4 max.
» » sur 10		5,5 ± 0,25			
tonomètre sans le support		16,5 ± 0,5			
» poids supplémentaire 7,5 gr.		2 ± 0,02	9. SAILLIE DU PISTON sous le pied	mm	mm 3,0 max.
» » 10 gr.		4,5 ± 0,02	10. AIGUILLE section épaisseur distance du cadran défaut éventuel	mm	mm. 3,0 max. 0,25 max. 1,0 max. aucun
» » 15 gr.		9,5 ± 0,02	11. POSITION DU PISTON par rapport au petit bras de levier perpendiculaire pour	division	division 5...10
2. FROTTEMENT entre le piston et le cylindre		doit être négligeable	12. FACE INFÉRIEURE DU LEVIER		lisse
3. FROTTEMENT entre le cylindre et le support, en haut de la course	gr	0,5 max. 1,0 max. 1,5 max.	13. REMARQUES SUR CONSTRUCTION		
» au milieu » »			14. CORNÉE ARTIFICIELLE diamètre rayon de courbure surface	mm	mm 11,0 minim. 16 ± 0,04 lisse
» en bas » »			15. L'étui doit pouvoir se fermer hermétiquement pour éviter la pénétration de la poussière. Il doit posséder deux emplacements, l'un pour le piston, l'autre pour le poids de 5,5, pour pouvoir démonter le tonomètre entièrement après usage.		
4. PIED CORNÉEN diamètre rayon de courbure diamètre de la concavité défaut	mm	10,1 ± 0,2 15 ± 0,25 9 minim. aucun	16. La courbe jointe à l'appareil n'est pas correcte.		
5. PISTON diamètre rayon de courbure de la face intérieure rayon de courbure du bord inférieur flèche défaut éventuel	mm	3 ± 0,03 15 ± 0,75 0,212...0,300 0,055 ± 0,01 aucun			
6. GRADUATION DU CADRAN position de l'aiguille sur la bille de 15 mm la bille de 16 mm la cornée artificielle	division	division -1 ± 0,2 1 ± 0,2 0 ± 0,2			
7. ÉTUDE MICROMÉTRIQUE aiguille étant sur	mm	0,05 ± 0,01 0,30 ± 0,0125 0,55 ± 0,0125 0,95 ± 0,05			

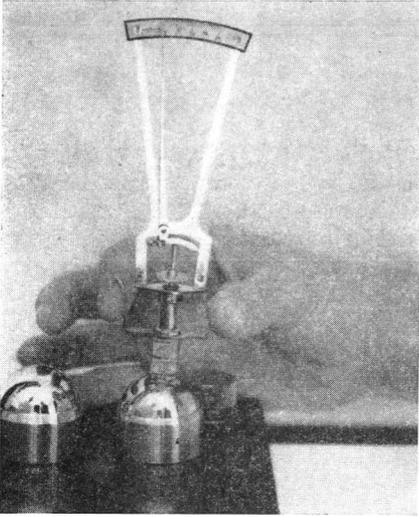


Fig. 2.

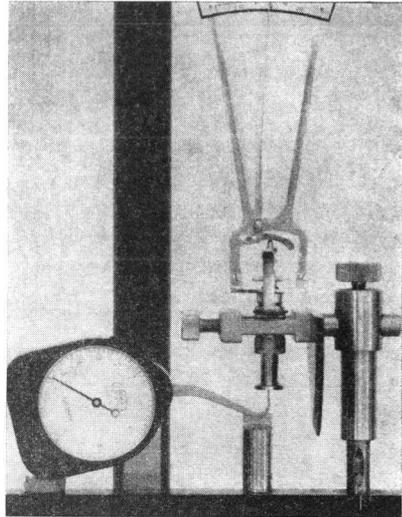


Fig. 3.

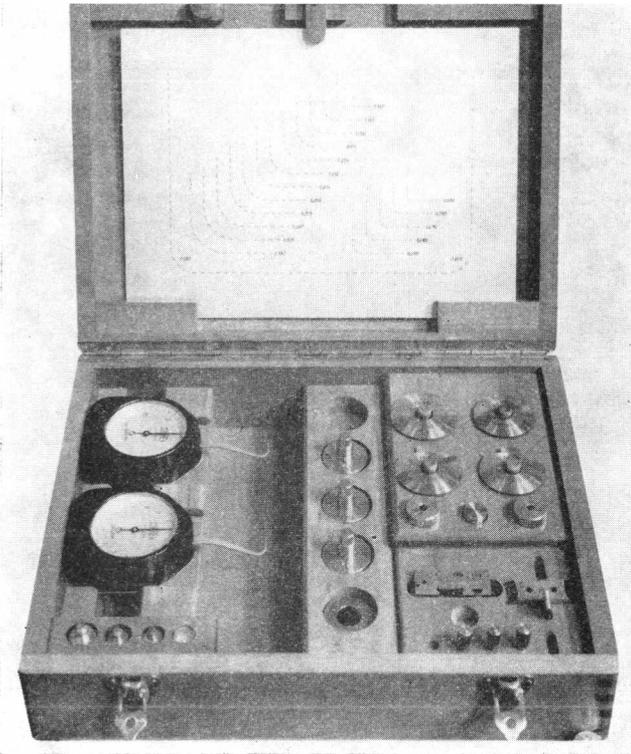


Fig. 4.

faits dans ce domaine au cours de la dernière décade. Ils sont dus principalement au Comité américain de Standardisation des Tonomètres [1] d'une part, et au Professeur H. Goldmann [3, 4 et 6] d'autre part.

A. — Tonométrie par indentation cornéenne.

Trois conditions sont indispensables à la mesure rigoureuse de la pression oculaire au moyen du tonomètre de Schiotz.

a) *L'emploi d'un tonomètre en tous points conforme aux normes de la standardisation américaine.*

b) *L'emploi d'une table de calibration exacte.*

c) *La correction, dans certains cas que nous préciserons, de la mesure tonométrique usuelle par un facteur tenant compte de la rigidité oculaire.*

a) *Standardisation du tonomètre de Schiotz.* — Les caractéristiques du tonomètre de Schiotz qui influencent l'exactitude de la mesure de la pression oculaire sont nombreuses. L'importance de certaines de ces caractéristiques, tel par exemple le rayon de courbe du bord inférieur du piston, n'a été reconnue que très récemment.

La figure 1 comporte l'énumération de toutes ces caractéristiques avec, en regard de chacune d'elle, la valeur standard optimum et la tolérance maximum admise.

Les stations de standardisation américaines fonctionnent depuis plusieurs années déjà. Les stations européennes ont vu le jour, récemment, grâce à l'initiative du professeur Goldmann [4 a et b] qui a fait fabriquer par la firme Haag-Streit les instruments nécessaires à l'examen des tonomètres. La station de contrôle de l'Université de Liège, équipée par le Fonds national belge de la Recherche scientifique, fonctionne depuis le début de l'année 1956.

Le contrôle d'un tonomètre nécessite la mesure de toute une série de constantes « statiques » : poids, diamètre, rayon de courbure de la face inférieure, rayon de courbure du bord du piston, poids des charges additionnelles, diamètre et rayon de courbure du pied scléral, etc. Il implique pour le surplus l'étude de facteurs « dynamiques » : frottement du piston dans le cylindre, du cylindre dans le support, mesure micrométrique de l'enfoncement du piston et du déplacement correspondant de l'aiguille, etc.

Les figures 2 à 6 illustrent quelques-unes des opérations de contrôle des normes d'un tonomètre.

L'activité de la station de contrôle attachée à notre clinique a permis d'établir les points suivants [7] :

La presque totalité des tonomètres en service en Belgique avant 1956 différaient en un ou plusieurs points des normes américaines. Leurs mesures étaient pratiquement toutes entachées d'erreurs plus ou moins importantes.

Le contrôle des tonomètres destinés à la vente et le remplacement pur et simple des instruments défectueux est la mesure la plus efficace pour obtenir la standardisation progressive dans un pays. La transformation d'un tonomètre non conforme aux normes est coûteuse, incertaine et, pour le surplus, souvent impossible.

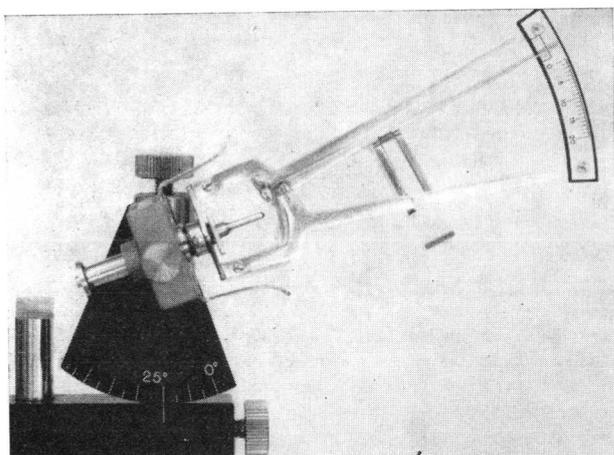


Fig. 5. — Mesure du frottement du piston dans le cylindre.

Muni du poids marqué 5,5 g, le piston doit glisser dans le cylindre pour une inclinaison inférieure à 25° sur l'horizontale.

Fig. 2 (ci-contre). — Contrôle de la position de l'aiguille sur le cadran du tonomètre.

Lorsque le tonomètre est posé sur une bille de 15 mm de rayon, l'aiguille doit se trouver sur la graduation — 1 ; sur une bille de 16 mm de rayon, l'aiguille doit se trouver au zéro.

La graduation — 1 est tracée sur les tonomètres les plus récents.

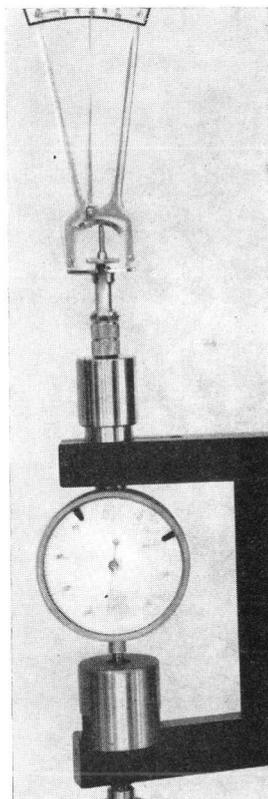


Fig. 3 (ci-contre). — Pesée du piston, du poids additionnel marqué 5,5 g, du levier et de l'aiguille.

La balance de torsion indique 5,5 g lorsque l'aiguille se trouve sur la graduation 10.

Fig. 4 (ci-contre). — Ecrin contenant les instruments de mesure.

Dans le couvercle : les tracés servant à contrôler le rayon de courbure du bord du piston.

L'ombre du piston est agrandie 50 fois par projection.

Le rayon de courbure optimum du bord du piston est 0,250 mm.

Fig. 6. — Mesure du rapport de l'agrandissement du déplacement piston-aiguille.

Un déplacement du piston de 0,05 mm fait bouger l'aiguille de 1 mm (= 1 graduation) sur le cadran.

L'activité d'une Station de contrôle influence favorablement la fabrication des tonomètres. La qualité de celle-ci s'améliore en fonction du temps et le pourcentage des tonomètres neufs rebutés décroît progressivement.

b) *Calibration du tonomètre de Schiøtz.* — Schiøtz [5] a, successivement, établi trois tables de calibration en 1905, 1909 et 1924. Chacune résulte de la comparaison, sur des yeux de cadavres, de mesures manométriques d'une part et tonométriques d'autre part. Cette manière de procéder est difficile car la pose du tonomètre sur l'œil élève artificiellement et momentanément la pression oculaire. L'introduction d'un manomètre dans un œil sur lequel repose un tonomètre, ne permet donc pas de mesurer la pression oculaire vraie (P_o) c'est-à-dire la pression qui régnait dans l'œil avant toute manipulation, mais elle permet seulement d'établir une table des pressions tonométriques (P_t), c'est-à-dire des pressions oculaires pendant la tonométrie. Pour établir la table des pressions oculaires il faut, successivement, introduire un manomètre dans l'œil, enregistrer la pression oculaire, puis interrompre la communication entre l'œil et le manomètre, poser le tonomètre sur le globe et effectuer la lecture tonométrique. L'établissement des tables de pression oculaire présente des difficultés beaucoup plus considérables que celui des tables des pressions tonométriques.

En 1948, le Comité pour la Standardisation des tonomètres de l'Académie américaine d'Ophtalmologie modifia les tables de Schiøtz de 1924. Cependant, dans l'esprit de ses auteurs, la table 1948 ne devait être que provisoire; la table définitive nécessitant l'achèvement des travaux que Friedenwald [2] avait entrepris en 1937. C'est au cours de ces recherches que Friedenwald réalisa qu'il était impossible d'obtenir une calibration précise des pressions oculaires par des mesures manométriques sur des yeux de cadavres car la rigidité oculaire se modifie rapidement après la mort. Il montra qu'il était, par contre, possible de calculer la pression oculaire en connaissant la pression tonométrique, le volume de l'indentation et la rigidité oculaire.

$$\text{Log } P_o = \text{Log } P_t - K V_c,$$

P_o étant la pression oculaire, P_t la pression tonométrique, K le coefficient de la rigidité oculaire et V_c le volume de l'indentation cornéenne. Les valeurs de P_t et de V_c proviennent seules de mesures expérimentales réalisées sur des yeux énucléés. La valeur moyenne de K est le résultat de la mesure de la rigidité oculaire sur cinq cents yeux normaux.

Ces travaux ont abouti à l'élaboration de la table 1954 qui a été publiée dans le Rapport décennal du Comité pour la Standardisation et qui s'est largement répandue tant en Amérique qu'en Europe.

Cette table satisfaisante pour le poids de 5,5 g est cependant encore inexacte pour les poids de 7,5, 10 et 15 g. Afin de corriger ces discordances, Friedenwald entreprit, au cours des derniers mois de son existence, une dernière calibration dont les résultats ont conduit à la table 1955. Celle-ci n'a pas été publiée jusqu'ici bien qu'elle soit certainement supérieure à la table 1954. De nombreuses cliniques l'adoptent actuellement. Nous en recommandons l'emploi car seule la table de Friedenwald 1955 permet la mesure de la rigidité oculaire au moyen du tonomètre de Schiøtz.

TABLEAU I. — Table de calibration pour les tonomètres de Schiotz.
(D'après J. S. FRIEDENWALD, 1955.)

Poc en mm Hg.

Déviat.	Poids				Déviat.	Poids			
	5,5 g	7,5 g	10 g	15 g		5,5 g	7,5 g	10 g	15 g
0,00	41,4	59,1	81,6	127,4	10,00	7,1	10,9	16,5	29,6
0,25	39,6	56,7	78,4	122,7	10,25	6,8	10,5	15,8	28,5
0,50	37,8	54,2	75,1	117,9	10,50	6,5	10,0	15,1	27,4
0,75	36,1	52,0	72,2	113,6	10,75	6,2	9,5	14,5	26,3
1,00	34,5	49,8	69,3	109,3	11,00	5,9	9,1	13,8	25,3
1,25	33,1	47,8	66,6	105,4	11,25	5,6	8,7	13,2	24,3
1,50	31,6	45,8	64,0	101,4	11,50	5,3	8,3	12,6	23,3
1,75	30,3	43,9	61,5	97,9	11,75	5,1	7,9	12,1	22,3
2,00	29,0	42,1	59,1	94,3	12,00	4,9	7,5	11,5	21,4
2,25	27,8	40,5	56,9	91,2	12,25	4,6	7,2	11,0	20,6
2,50	26,6	38,8	54,6	88,0	12,50	4,4	6,8	10,5	19,7
2,75	25,5	37,3	52,6	84,9	12,75	4,2	6,5	10,0	18,9
3,00	24,3	35,8	50,6	81,8	13,00	4,0	6,2	9,5	18,0
3,25	23,4	34,4	48,7	79,0	13,25		5,9	9,1	17,3
3,50	22,4	33,0	46,9	76,2	13,50		5,6	8,6	16,5
3,75	21,5	31,7	45,1	73,6	13,75		5,3	8,2	15,8
4,00	20,5	30,4	43,4	71,0	14,00		5,0	7,8	15,1
4,25	19,7	29,2	41,8	68,6	14,25		4,8	7,4	14,4
4,50	18,9	28,0	40,2	66,2	14,50		4,5	7,1	13,7
4,75	18,1	26,9	38,7	64,0	14,75		4,3	6,6	13,1
5,00	17,3	25,8	37,2	61,7	15,00		4,1	6,4	12,6
5,25	16,6	24,8	35,8	59,9	15,25			6,1	12,0
5,50	15,9	23,8	34,4	58,0	15,50			5,8	11,4
5,75	15,2	22,8	33,1	55,8	15,75			5,5	10,9
6,00	14,6	21,9	31,8	53,6	16,00			5,2	10,4
6,25	14,0	21,0	30,6	51,8	16,25			4,9	9,9
6,50	13,4	20,0	29,4	49,9	16,50			4,7	9,4
6,75	12,8	19,3	28,3	48,2	16,75			4,4	9,0
7,00	12,2	18,5	27,2	46,5	17,00			4,2	8,5
7,25	11,7	17,8	26,1	44,8	17,25				8,1
7,50	11,2	17,0	25,1	43,2	17,50				7,7
7,75	10,7	16,3	24,1	41,7	17,75				7,3
8,00	10,2	15,6	23,1	40,2	18,00				6,9
8,25	9,8	15,0	22,2	39,2	18,25				6,6
8,50	9,4	14,3	21,3	38,1	18,50				6,2
8,75	9,0	13,7	20,4	36,4	18,75				5,9
9,00	8,5	13,1	19,5	34,6	19,00				5,6
9,25	8,2	12,5	18,7	33,3	19,25				5,2
9,50	7,8	12,0	18,0	32,0	19,50				4,9
9,75	7,4	11,5	17,2	30,8	19,75				4,7
					20,00				4,4

c) *La rigidité oculaire.* — Quand on pose un tonomètre de Schiotz sur un œil, le poids de l'ensemble mobile de l'appareil est équilibré non seulement par la pression endoculaire mais également par la rigidité de la coque oculaire.

La rigidité d'un corps est la résistance offerte par ce corps à la déformation ; *l'élasticité* est l'inverse de la rigidité, c'est la capacité que possède un corps de subir une déformation et de reprendre son état primitif. La rigidité de la coque oculaire résulte en ordre principal des caractéristiques

de la sclérotique et, à un moindre degré, des propriétés de la cornée et de l'uvée. La rétine ne semble jouer aucun rôle. La rigidité oculaire peut varier dans d'assez larges proportions chez l'individu normal et plus encore dans certains états pathologiques, la myopie forte par exemple.

Or, les tables de calibration, et en particulier la table de Friedenwald 1955, ont été calculées pour une rigidité oculaire moyenne. Les résultats qu'elle fournit sont entachés d'une erreur par défaut lorsque la rigidité oculaire est basse et d'une erreur par excès lorsque la rigidité oculaire est haute.

Il en résulte qu'une tonométrie rigoureuse exige non seulement un tonomètre standard et une table de calibration précise mais encore le calcul de la rigidité oculaire et la correction éventuelle de la mesure tonométrique lorsque la rigidité s'éloigne des valeurs moyennes.

Principe de la mesure de la rigidité oculaire. — L'enfoncement du piston du tonomètre, par l'indentation cornéenne qu'il provoque, tend à réduire le volume du globe oculaire. Il s'ensuit une élévation de la pression intra-oculaire puis, par voie de conséquence, l'expulsion hors du globe d'une partie du sang uvéal et une distension de la coque sclérale.

Ces phénomènes sont d'autant plus accusés que le piston du tonomètre est plus lourdement chargé. La mesure de la rigidité oculaire par la méthode de Friedenwald est basée sur la comparaison des volumes des indentations provoquées par les deux poids différents d'un même tonomètre de Schiotz.

Nous empruntons à Friedenwald [2] le raisonnement mathématique sur lequel est basé la mesure de la rigidité oculaire par la comparaison des mesures tonométriques effectuées avec des surcharges différentes.

Pour des pressions supérieures à 5 mm de mercure un même changement de volume du globe produit toujours des changements de pression proportionnels à la pression qui régnait préalablement dans le globe. Cette constante varie d'un œil à l'autre et est proportionnelle à la rigidité oculaire.

$$\frac{dP}{P} = K \frac{dV}{V}$$

Mais la quantité de liquide que l'on peut introduire est si faible que le volume intra-oculaire original ne varie pratiquement pas et peut donc être intégré dans la constante

$$\frac{dP}{P} = K dV.$$

intégrant :

$$\text{Log } P = C + KV.$$

Si on remplace V par V_0 (volume initial) + v (volume supplémentaire du fluide introduit) on a :

$$\text{Log } P = C + KV_0 + Kv.$$

Comme V_0 est constant, il peut être intégré dans la constante :

$$\text{Log } P = C + Kv.$$

Au début de l'expérience lorsque aucun liquide n'a été introduit dans l'œil :

$$\begin{array}{l} \text{donc} \quad \text{Log } P_0 = C, \\ \quad \quad \text{Log } P = \text{Log } P_0 + Kv, \\ \text{ou} \quad \quad \text{Log } \frac{P}{P_0} = Kv. \end{array}$$

Quand on peut déterminer la pression tonométrique et le volume d'indentation,

on pourra par deux mesures successives avec des poids différents, réussir à mesurer la rigidité oculaire :

$$\text{Log } \frac{Pt_2}{Pt_1} = K (V_2 - V_1).$$

Technique de la mesure de la rigidité oculaire. — L'emploi d'un tonomètre parfaitement standardisé est une condition strictement indispensable à la mesure de la rigidité oculaire. L'existence d'un défaut apparemment minime, tel, par exemple, un léger défaut du rayon de courbure du piston ou de la concavité de sa face inférieure entache d'une erreur appréciable le calcul du volume des indentations.

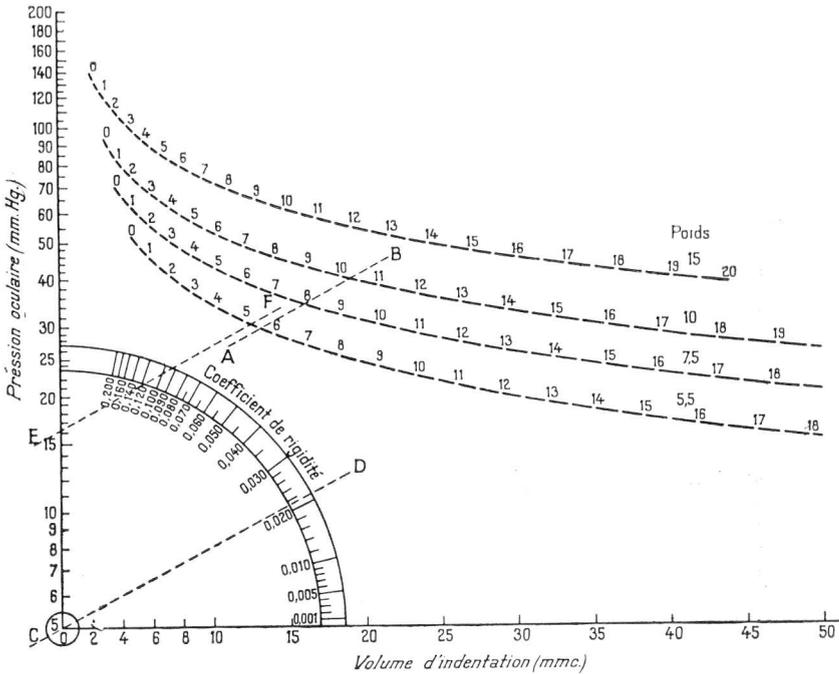


Fig. 7. — Monogramme pour la détermination de la rigidité et de la pression oculaires (tonomètre de Schiøtz) d'après Friedenwald 1955.

Pour conférer à la méthode une exactitude suffisante il faut comparer le volume des indentations obtenues avec les poids de 5,5 et 10 g ou mieux encore avec les poids de 5,5 et 15 g si le tonomètre utilisé est muni de ce dernier. Dans l'éventualité d'une hypertension oculaire, on peut être amené à utiliser les poids de 7,5 et de 15 g. Il n'est pas recommandable de comparer les mesures faites au moyen des poids de 7,5 et de 10 g qui sont trop proches l'une de l'autre.

La mesure de la rigidité oculaire manque de précision si on la base sur une paire de mesures seulement. D'une façon idéale, il serait nécessaire de pratiquer une paire de mesures par jour pendant cinq ou six jours consé-

cutifs ou non, mais cette manière de procéder peut se heurter dans la pratique à de sérieuses difficultés.

Nos mesures de la rigidité oculaire sont basées sur la moyenne de trois mesures au poids de 5,5 g et trois mesures au poids de 10 g faites le même jour. Pour éviter les erreurs dues au massage, les mesures sont faites alternativement avec chacun des poids : 5,5 g, 10 g, 5,5 g, 10 g, 5,5 g, 10 g.

On calcule la moyenne arithmétique des trois valeurs de déviations obtenues avec le poids de 5,5 g, puis la moyenne arithmétique des trois valeurs des déviations obtenues pour le poids de 10 g. La première valeur moyenne est portée sur la courbe de 5,5 g et la seconde sur la courbe de 10 g du nomogramme de Friedenwald (fig. 7). L'oblique AB ainsi obtenue est déplacée parallèlement à elle-même au moyen d'un équerre et d'une règle plate jusqu'à ce qu'elle passe par l'intersection de l'ordonnée et de l'abscisse (position CD) et la rigidité oculaire est lue sur l'arc de cercle situé dans le coin inférieur gauche du nomogramme.

Pour trouver ensuite la pression oculaire, il faut remonter l'équerre le long de la règle jusqu'à la rencontre, sur la courbe 5,5 g de la valeur de la déviation obtenue à la première mesure (position EF). Le chiffre sur l'ordonnée est celui de la pression oculaire corrigée par le facteur de rigidité.

Les tables de calibration Friedenwald 1955 sont calculées pour une rigidité moyenne de 0,0215.

Les rigidités inférieures à 0,0215 entachent les mesures tonométriques d'une erreur par défaut ; les rigidités supérieures d'une erreur par excès.

D'après Friedenwald, la rigidité moyenne du sujet normal est 0,0215 et peut varier de 0,0060 à 0,0370.

Nos mesures effectuées chez 239 sujets sains donnent une valeur moyenne de 0,0246 et des valeurs extrêmes de 0,0100 et de 0,0400.

Nous n'avons pas décelé de variations statistiquement significatives de la rigidité oculaire en fonction de l'âge.

Par contre, la rigidité oculaire est, dans l'ensemble, plus faible dans l'œil myope que dans l'œil emmétrope.

Le calcul de l'écart type de la moyenne (tableau II, c) permet d'étudier

TABLEAU II. — Rigidité oculaire dans l'emmétropie et dans la myopie.

	Emmétropie	Myopie		
		de — 1 d à — 5 d	de — 5,50 d à — 10 d	supérieure à — 10 d
Nombre de cas.....	239	26	20	28
Moyenne.....	0,0246	0,0214	0,0154	0,0150
Ecart type (s).....	0,0063	0,0076	0,0054	0,0025
Ecart type de la moyenne (c).....	0,0004	0,0015	0,0012	0,0005

Il suffit d'ajouter à la moyenne, ou de retrancher de celle-ci, une valeur égale à 2 fois l'écart-type (s) pour trouver respectivement les limites supérieure et inférieure englobant 95 p. 100 de la population étudiée. Il en résulte que 95 p. 100 des sujets normaux ont une rigidité comprise entre 0,0120 et 0,0372 (voir fig. 8).

statistiquement la signification d'une variation d'un groupe à un autre. Ce calcul, dont l'exposé sortirait du cadre de cette étude montre que les valeurs trouvées chez les emmétropes et chez les myopes de moins de 5 d, d'une part, sont statistiquement différentes de celles trouvées chez les myopes de plus de 5 d d'autre part ($p + 0,01$).

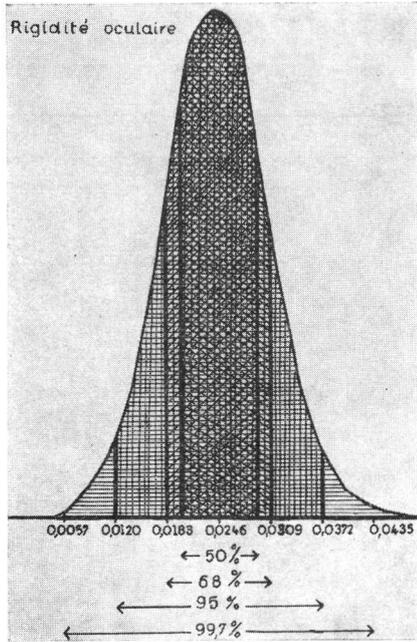


Fig. 8 — Distribution théorique de la rigidité oculaire des sujets normaux calculée à partir de la moyenne 0,0246 trouvée chez 239 sujets sains et de l'écart type (s) 0,0063.

Les conclusions essentielles de cette observation sont : a) que l'hypertension oculaire est fréquemment méconnue dans la myopie ; b) que certains glaucomes chez les myopes sont indûment qualifiés de « sans hypertension » ; c) que dans le glaucome avéré de l'œil myope, l'hypertension est souvent plus forte que ne le donne à penser une simple mesure tonométrique.

Nous citons à titre d'exemple les deux cas suivants :

L... Mariette, 39 ans, myope, atteinte de glaucome chronique familial. Les papilles et les champs visuels présentent les altérations typiques du glaucome et, cependant, la tension oculaire oscille entre 21 et 24 mm Hg. La moyenne de 8 mesures de rigidité donne un coefficient de 0,0160 à droite et de 0,0182 à gauche, ce qui amène la pression oculaire à 26 mm Hg.

P... Jean, 64 ans, myope, présentant un glaucome congénital pigmentaire. La tension est nettement pathologique à droite (30 mm Hg) ; par contre, à gauche elle paraît satisfaisante (23 mm Hg). Une moyenne de 3 mesures de K à l'œil gauche donne un coefficient de 0,0163, ce qui amène la pression oculaire à 26 mm Hg.

Inversement, des sujets apparemment sains peuvent avoir des rigidités élevées, les mesures usuelles au tonomètre de Schiotz sont entachées d'une

erreur par excès. Ces sujets sont exposés à être considérés indûment comme des glaucomateux et sont parfois traités, à tort, comme tels.

L'histoire clinique de la patiente suivante illustre ce fait.

L... Marie, 63 ans. Au cours d'un examen de routine une pression oculaire de 28 mm Hg lui est découverte. Les papilles et les champs visuels ne présentent aucune

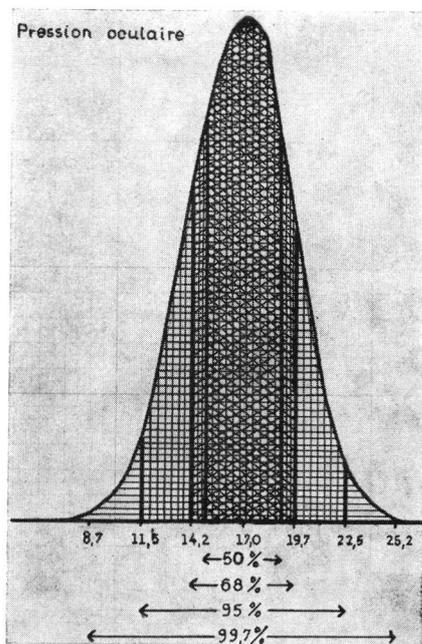


Fig. 9. — *Distribution théorique de la pression oculaire des sujets normaux* calculée à partir de la moyenne 17 mm Hg trouvée chez 239 sujets sains et de l'écart type (s) 2,74.

altération. La résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse oscille autour de la limite supérieure physiologique. Les mesures de tension oculaire sont répétées à plusieurs reprises : elles oscillent toutes entre 25 et 30 mm Hg. Une série de 6 mesures de K donne une moyenne de 0,0425 à droite et de 0,0420 à gauche, ce qui ramène la pression oculaire à 17 mm Hg approximativement.

Mesurée dans les conditions précitées la pression oculaire physiologique est en moyenne de 17 mm Hg sur le sujet couché. Les valeurs physiologiques extrêmes étant respectivement de 8,5 et 25,3 mm Hg (fig. 9).

B. — Tonométrie par aplanation.

Il est possible de déterminer la pression oculaire, sans provoquer aucune indentation, en mesurant la force nécessaire pour aplanir une surface cornéenne : la pression oculaire est proportionnelle à la pression exercée sur le globe et inversement proportionnelle à la surface aplanie.

En se basant sur ce principe, on peut mesurer la pression oculaire de deux façons : a) en mesurant la surface aplanie sous une pression constante ; b) en déterminant la pression nécessaire pour aplanir une surface prédéterminée et constante.

Le tonomètre par aplanation de Goldmann (1954) mesure la pression nécessaire pour aplanir une surface constante de la cornée. Il se compose

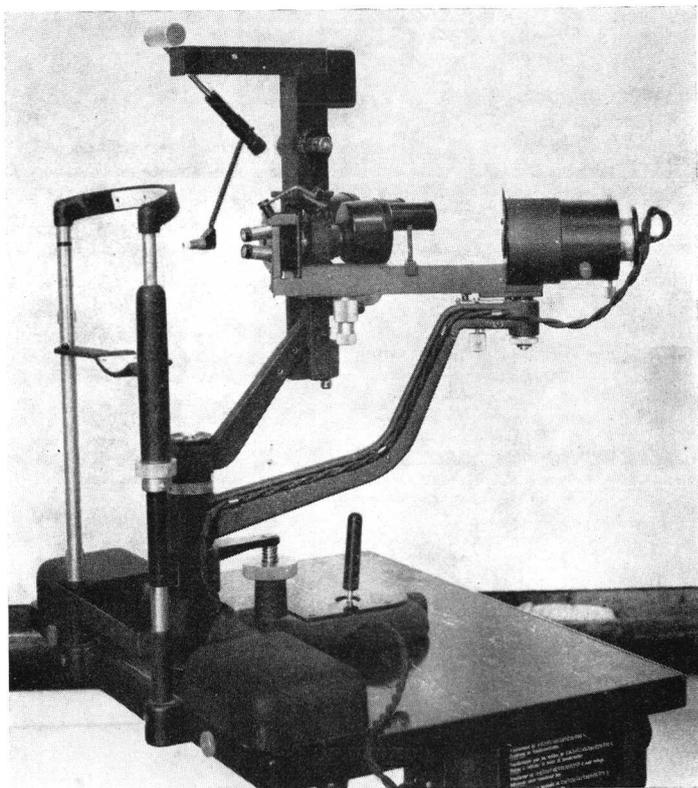


Fig. 10. — Tonomètre par aplanation de Goldmann.

d'un microscope cornéen, d'une balance de torsion et d'un cône tronqué transparent qui exerce sur la cornée une pression mesurable et contient le dispositif permettant la mesure de la surface aplanie (fig. 10 et 11). Goldmann a décrit ce microscope par aplanation à la Société française d'Ophtalmologie [3].

Dans ce tonomètre, la surface aplanie est petite (3 mm^2) et le volume du liquide déplacé est faible ($0,45 \text{ mm}^3$) (1). L'élasticité de la coque ocu-

(1) Le volume de l'indentation provoquée par le tonomètre de Schiotz est, en moyenne, de 15 à 20 mm^3 .

laire est à peine sollicitée et les variations individuelles de la rigidité oculaire n'entachent pas d'une erreur appréciable les mesures tonométriques. Cet avantage est tel qu'il paraît souhaitable que l'emploi du tonomètre par aplanation se répande très largement.

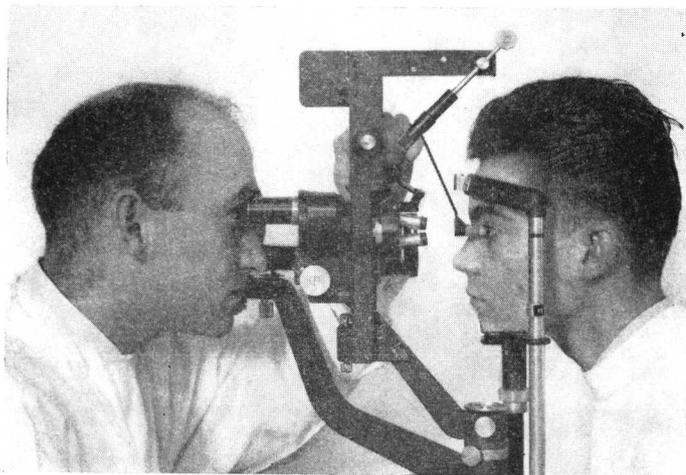


Fig. 11. — *Mesure de la pression oculaire au moyen du tonomètre par aplanation de Goldmann.*

D'après Goldmann, la pression oculaire mesurée au moyen du tonomètre par aplanation est de 15,70 mm Hg $s = 2,9$. La différence avec le tonomètre de Schiotz (17,00 mm Hg $s = 2,74$), s'explique par la position assise du patient pour la mesure par aplanation.

CONCLUSIONS

1° La mesure exacte de la pression oculaire au moyen d'un tonomètre de Schiotz exige trois conditions :

a) L'emploi d'un instrument en tous points conforme aux normes de la standardisation américaine ;

b) L'usage des tables de calibration Friedenwald 1955 ;

c) La correction, dans certains cas, de la mesure usuelle par un facteur tenant compte de la rigidité oculaire.

2° Le tonomètre par aplanation de Goldmann permet de mesurer la pression oculaire avec précision quelle que soit la rigidité oculaire.

3° La pression oculaire physiologique, mesurée avec un tonomètre par indentation sur le malade couché est, en moyenne de 17 mm Hg ; les valeurs physiologiques extrêmes étant, respectivement, 8,5 et 25,2 mm Hg.

Bibliographie.

- [1] *Committee on Standardization of Tonometers. Decennial Report (1942-1952). American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology*, 1954.
- [2] FRIEDENWALD, J. — Contribution to the theory and practice of tonometry. *Amer. J. Ophth.*, **20**, p. 985-1024, 1937.
- [3] GOLDMANN, H. — Un nouveau tonomètre à aplanation. *Bull. Mém. Soc. franç. Ophth.*, **67**, p. 474-478, 1954.
- [4] GOLDMANN, H. et SCHMIDT, Th. — a) Zur Prüfung und Standardisierung von Schiotz Tonometern. *Klin. Mbl. Augenkl.*, **127**, p. 12-24, 1955. — b) Ueber Tonometer. *Ophthalmologica*, **13**, p. 335-341, 1956.
- [5] SCHIOTZ, H. — a) Ein neuer Tonometer. Tonometrie. *Arch. für Augenhk.*, **52**, p. 401-424, 1905. — b) Tonometric. *Arch. für Augenhk.*, **62**, p. 317-339, 1909. — c) Tonometry. *Brit. J. Ophth.*, **25**, 9, 1925.
- [6] SCHMIDT, Th. — Zur Aplanationstonometrie an der Spaltlampe. (A paraître dans *Ophthalmologica*.)
- [7] WEEKERS, R. et LAVERGNE, G. — Le fonctionnement de la station de contrôle des tonomètres de Schiotz à l'Université de Liège. (A paraître dans le *Bull. Soc. belge d'Ophth.*.)

