

(Clinique ophtalmologique de l'Université de Liège [Prof. R. Weekers].)

Mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse au moyen du tonomètre électronique.

1^{re} Partie. Résultats chez le sujet normal.

Par E. PRIJOT et R. WEEKERS.

Depuis la découverte des veines aqueuses, il est démontré qu'un facteur important de l'ophtalmotonus est l'existence d'un courant d'humeur aqueuse.

Goldmann (6 b) admet que l'écoulement par les émonctoires du segment antérieur : canal de Schlemm, veines aqueuses, veines laminaires est réglé par des conditions physiques relativement simples et obéit à la loi de Poiseuille. Celle-ci, sous une forme simplifiée, s'exprime par la formule

$$D = \frac{Pec}{R} \quad (1)$$

dans laquelle D représente le débit d'humeur aqueuse, Pec représente la pression d'écoulement, c.-à-d. la différence entre la pression oculaire et la pression veineuse à l'endroit où les vaisseaux aqueux rejoignent les vaisseaux sanguins et R représente la résistance qui s'oppose à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

On peut déduire de la formule (1)

$$Pec = D \times R \quad (2)$$

Dans l'hypothèse où le courant d'humeur aqueuse est le facteur le plus important de l'ophtalmotonus, la pression oculaire (Poc) serait la somme de la pression d'écoulement (Pec) et de la pression veineuse sanguine dans le vaisseau laminaire (Pv)

$$Poc = Pec + Pv \quad (3)$$

En remplaçant Pec par la valeur que lui assigne la formule (2), on déduit que

$$Poc = (D \times R) + Pv \quad (4)$$

Trois facteurs au moins peuvent donc donner naissance à une hypertension oculaire :

- 1° une élévation de la pression veineuse épisclérale ;
- 2° une augmentation du débit d'humeur aqueuse ;
- 3° une augmentation de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

Chacun de ces facteurs peut être mesuré.

a) *Goldmann* (6 d), *Linner*, *Rickenbach* et *Werner* (9, 14), *Löhlein* et *Weigelin* (10, 11) attribuent à la pression veineuse dans le vaisseau laminaire du sujet normal une valeur approximative de 9 à 10 mm. Hg.

b) *Goldmann* (6 c) admet que le courant d'humeur aqueuse est approximativement de 2 cmm. par minute.

c) De ses mesures du débit et de la pression veineuse épisclérale, *Goldmann* (6 b) déduit, par le calcul, la valeur de la résistance à l'écoulement.

Grant (7 a et b), se servant comme nous du tonomètre électronique, mesure la « *facility of outflow* » de l'humeur aqueuse qui est une fonction inverse de la résistance.

Dans une note antérieure (13) et dans le présent travail, nous avons cherché à mesurer directement la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

Principe de la méthode.

A l'état physiologique, la tension oculaire ne présente que de faibles variations. Cette observation signifie que, normalement, le volume des liquides qui pénètrent dans l'œil dans une unité de temps est égal au volume des liquides qui en sortent dans la même unité de temps.

Le fait de poser un tonomètre sur la cornée rompt cet équilibre. Le poids du tonomètre élève la pression intra-oculaire. La pesée du piston détermine un enfoncement de la cornée. La hausse de l'ophtalmotonus et le déplacement du liquide provoqué par l'indentation cornéenne distendent la sclérotique.

Si on maintient en place le tonomètre pendant un temps plus ou moins prolongé, l'élimination des liquides l'emporte sur leur formation ; la pression oculaire baisse progressivement.

Diverses observations, sur lesquelles nous reviendrons dans la suite, démontrent que la chute tensionnelle est due, en ordre principal, à une réduction du volume de l'humeur aqueuse.

L'idée d'étudier les effets d'une compression plus ou moins prolongée sur l'œil normal et pathologique est ancienne. *Thomas-*

sen (15 a) a relaté l'histoire de la question. Mais tous les travaux antérieurs à la date de parution des tables tonométriques de *Friedenwald*, ne sont pas quantitatifs : les variations tensionnelles provoquées dans l'œil sain ne sont pas comparables aux variations tensionnelles provoquées dans l'œil hypertendu.

Deux faits nouveaux ont récemment donné un regain d'actualité aux épreuves de compression. Ce sont, d'une part, la création d'un tonomètre électronique à grande sensibilité et, d'autre part, la publication par *Moses et Bruno* (12) et *Grant* (7 a) des tables tonométriques de *Friedenwald*. Ces tables fournissent des renseignements de deux ordres. Elles permettent de mesurer la pression tonométrique, c.-à-d. la pression intra-oculaire, lorsque le tonomètre est posé sur le globe. Elles servent, d'autre part, à calculer en mm. la réduction du volume des milieux endoculaires en fonction de l'indentation cornéenne. Elles permettent donc d'établir une relation entre l'hypertension oculaire provoquée et la quantité de liquide expulsé hors du globe.

Le calcul de l'épreuve de compression est basé sur le raisonnement que voici.

Soit *Poc* la pression d'un globe oculaire. La pose d'un tonomètre provoque une élévation de l'ophtalmotonus (Table I).

TABLE I.

Tensions tonométriques en fonction de la déviation du tonomètre.
(D'après *Friedenwald*, cité par *Moses et Bruno*, 12.)

Déviation du tonomètre	Foids		
	5,5 g. mm. Hg	7,5 g. mm. Hg	10 g. mm. Hg
0	51,3	70,0	93,3
1,0	46,1	62,8	83,8
2,0	41,8	57,0	75,9
3,0	38,2	52,1	69,5
4,0	35,2	48,0	64,0
5,0	32,6	44,5	59,4
6,0	30,4	41,5	55,3
7,0	28,5	38,9	51,8
8,0	26,8	36,5	48,7
9,0	25,3	34,5	46,0
10,0	23,9	32,6	43,5
11,0	22,7	31,0	41,3
12,0	21,6	29,5	39,3
13,0	20,6	28,1	37,5
14,0	19,7	26,9	35,9
15,0	18,9	25,8	34,4

Soit Pt_1 la pression tonométrique au début de l'épreuve et Pt_2 la pression tonométrique à la fin de l'épreuve, après 5 minutes, par exemple.

La pression tonométrique moyenne pendant la durée de l'épreuve peut se calculer avec assez d'exactitude¹ en faisant la moyenne arithmétique :

$$\frac{Pt_1 + Pt_2}{2}$$

L'élévation moyenne de la pression pendant l'épreuve se calcule par la formule :

$$\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - P_{oc}$$

Soit V_1 la réduction du volume du globe au début de l'épreuve et V_2 la réduction de volume à la fin de l'épreuve (Table II)².

Le volume de liquide chassé hors du globe pendant les 5 minutes que dure l'épreuve s'exprime par $V_2 - V_1$. La quantité de liquide chassé hors du globe par minute est égale à $\frac{V_2 - V_1}{5}$. Pour calculer le volume de liquide chassé hors du globe par mm. Hg de surpression, il suffit d'appliquer la formule :

$$\frac{\frac{V_2 - V_1}{5}}{\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - P_{oc}} = C$$

C représente la quantité d'humour aqueuse chassée en une minute sous l'influence d'une hypertension oculaire de 1 mm. Hg. C'est le coefficient de facilité d'écoulement (*facility of outflow*; Grant, 7).

¹ Cette moyenne n'est pas tout à fait exacte, parce que la chute tensionnelle en fonction du temps n'est pas linéaire (cf. graphique 1). Elle n'introduit cependant pas une erreur importante dans le calcul.

² Dans les tables de *Friedenwald* les plus récentes, publiées par Grant (7 a), le calcul de la réduction du volume du globe tient compte non seulement de l'indentation cornéenne, mais encore du degré de distension de la sclérotique (Table II). Nous avons utilisé cette table dans le présent travail. Dans notre premier essai (Bull. Soc. belge Ophthalm. 1951, juin), nous avons utilisé les tables de *Friedenwald* publiées par *Moses* et *Bruno* (12), tables qui ne tiennent compte que de l'indentation cornéenne.

Nous remercions vivement le Docteur *J. S. Friedenwald*, qui nous a aimablement fourni une documentation inédite sur la modification de la distension sclérale au cours de l'épreuve de compression.

TABLE II.

Variations du volume du globe en fonction de la déviation du tonomètre.
(D'après Friedenwald, cité par Grant, 7 a.)

Déviation du tonomètre	Poids		
	5,5 g. cmm.	7,5 g. cmm.	10 g. cmm.
0	0	0	0
1,0	3,1	2,6	2,4
2,0	6,3	5,4	4,8
3,0	9,5	8,2	7,2
4,0	12,7	11,0	9,6
5,0	16,0	13,8	12,1
6,0	19,5	16,7	14,8
7,0	22,8	19,7	17,3
8,0	26,3	22,9	20,1
9,0	29,9	26,1	22,8
10,0	33,7	29,3	25,7
11,0	37,3	32,6	28,7
12,0	41,2	36,0	31,7
13,0	45,3	39,6	34,7
14,0	49,4	43,4	38,2
15,0	53,7	47,3	41,5

Le débit d'humeur aqueuse dans l'œil s'exprime par la formule $D = C \times Pec$, puisque le débit est la quantité d'humeur aqueuse qui s'écoule sous l'influence de la pression d'écoulement.

Or, d'après la loi de Poiseuille :

$$D = \frac{Pec}{R}$$

La comparaison de ces deux formules montre que $C = \frac{1}{R}$ donc

$$R = \frac{1}{C}$$

$$\text{En conclusion : } R = \frac{\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - P_{oc}}{\frac{V_2 - V_1}{5}}$$

En suivant un raisonnement différent, on aboutit à la même formule :

Soient $R = \frac{Pec}{D}$ les valeurs qui régissent l'ophtalmotonus avant la pose du tonomètre.

Au cours de l'épreuve de compression, on augmente Pec de $\frac{P_1 + Pt_2}{2} - P_{oc}$.

D'autre part, le débit par minute augmente de $\frac{V_2 - V_1}{5}$

$$R = \frac{Pec + \left(\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - Poc \right)}{D + \frac{V_2 - V_1}{5}}$$

ou puisque $R = \frac{Pec}{D}$

$$R = \frac{\left(\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - Poc \right)}{\frac{V_2 - V_1}{5}}$$

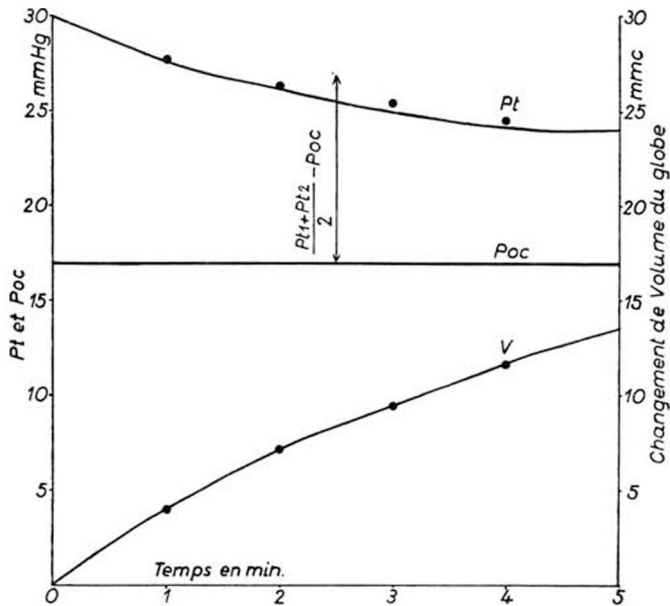
Le graphique 1 illustre le principe de l'épreuve de compression au tonomètre électronique. La ligne Pt traduit la chute progressive de la pression tonométrique en fonction du temps. La ligne Poc rappelle la valeur de la pression oculaire avant la pose du tonomètre. La distance séparant les lignes Pt et Poc traduit la valeur de la surpression à chaque instant de l'épreuve. La moyenne arithmétique de la surpression est désignée par la formule

$$\frac{Pt_1 + Pt_2}{2} - Poc$$

Enfin la courbe V représente l'augmentation progressive du volume d'humeur aqueuse chassé hors du globe en fonction du temps. Ce graphique exprime la moyenne des résultats obtenus sur un groupe homogène de 20 yeux normaux dont les pressions oculaires sont comprises entre 14,2 et 18,2 mm. Hg et dont les résistances à l'écoulement varient de 3 à 4,7.

Instrumentation et technique.

Le tonomètre électronique (V. Mueller, Chicago, U.S.A.) est une modification du tonomètre de Schiøtz. Dans le tonomètre de Schiøtz, l'indentation cornéenne provoquée par la pesée du piston et des poids est mesurée par un système mécanique de leviers. Dans le tonomètre électronique, la position et les déplacements du piston sont mesurés électriquement par l'amplification du faible courant engendré par le mouvement du piston lui-même. Les poids et la forme du piston du tonomètre de Schiøtz et du tonomètre électronique sont identiques. Les lectures et le calcul de la pression intra-oculaire se font de la même façon, mais la précision du tonomètre électronique est plus grande. Elle permet de mesurer avec une approximation satisfaisante de minimes variations tensionnelles.



Graphique 1. Valeurs moyennes de Pt, Poc et V dans un groupe homogène de 20 yeux normaux.

L'épreuve de compression se déroule de la façon suivante. Les yeux du patient sont anesthésiés à la pantocaïne. Nous avons choisi cet anesthésique pour deux raisons : d'une part, il ne dilate pas la pupille ; d'autre part, il nous a semblé que son pouvoir mouillant (*Blum et Valerio, 3*) favorise les lectures prolongées de la pression oculaire en abaissant la tension superficielle des larmes et en diminuant les erreurs dues à l'ascension du liquide entre le piston et le cylindre du tonomètre. Ce point mériterait d'être confirmé par de nouvelles recherches, car il a une importance pratique.

Le patient est couché. Il regarde de son œil découvert un point de fixation suspendu à 1.50 m. au-dessus de lui. L'épreuve de compression dure 5 minutes. La déviation de l'aiguille est mesurée de 30 en 30 secondes par un aide. Dans de nombreux cas, nous avons pratiqué l'épreuve de compression aux deux yeux consécutivement. Mais dans tous les cas, nous avons laissé s'écouler plusieurs jours entre deux épreuves de compression effectuées sur le même œil.

Les déviations initiale, au temps 0', et finale, après 5', sont seules utilisées pour le calcul de la résistance à l'écoulement.

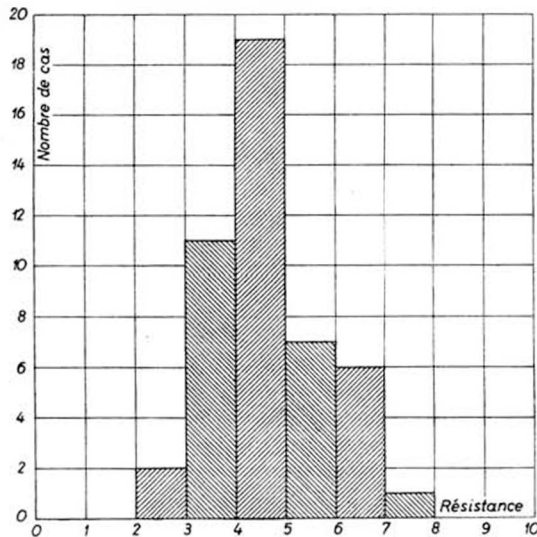
La déviation de l'aiguille au temps 0' donne les valeurs de Poc, Pt₁ et V₁ ; la déviation au temps 5' donne les valeurs de Pt₂ et V₂.

Ces valeurs et la formule précédemment citée permettent le calcul de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

Résultats.

Nous avons mesuré la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse dans 46 yeux normaux. Les tensions oculaires de ces yeux varient de 11,7 à 23,8 mm. Hg (Table du Comité de Standardisation des tonomètres de l'American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology, Janvier 1948). La résistance à l'écoulement varie de 2,9 à 7,3. La valeur moyenne est de 4,5. Nos résultats sont groupés dans la table III. Cette table donne 1^o la tension oculaire, 2^o la facilité d'écoulement, et 3^o la résistance à l'écoulement.

Le graphique 2 montre la dispersion des chiffres de résistance chez le sujet sain : la résistance de 37 cas sur 46 est comprise entre 3 et 6.



Graphique 2. Dispersion des chiffres de résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse chez 46 sujets sains.

Commentaires.

Nous discuterons deux points essentiels : 1^o la nature du liquide expulsé hors du globe sous l'influence de la compression ; 2^o l'existence éventuelle de causes d'erreur, telles p. ex. : une modification de la résistance, un changement de la pression veineuse épisclérale ou une variation de la sécrétion au cours de l'épreuve. De ces facteurs dépendent la signification et la précision de la méthode.

1^o *Nature du liquide expulsé hors du globe par la compression.* Il est démontré que la pression sur le globe augmente la sortie de

TABLE III.

Résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse de 46 yeux normaux.

Tension oculaire mm Hg.	Facilité d'écoulement	Résistance
11,7	0,263	3,8
12,4	0,303	3,3
13,2	0,217	4,6
13,2	0,243	4,1
13,2	0,294	3,4
13,4	0,222	4,5
13,6	0,337	2,9
13,6	0,169	5,9
13,8	0,232	4,3
14,2	0,217	4,6
14,4	0,192	5,2
14,4	0,178	5,6
14,7	0,217	4,6
15,0	0,169	5,9
15,0	0,294	3,4
15,0	0,169	5,9
15,0	0,212	4,7
15,3	0,355	2,9
15,6	0,238	4,2
15,6	0,163	6,1
15,6	0,212	4,7
16,2	0,217	4,6
16,2	0,238	4,2
16,4	0,285	3,5
16,4	0,217	4,6
16,4	0,136	7,3
16,4	0,166	6,0
16,9	0,169	5,9
16,9	0,322	3,1
16,9	0,238	4,2
16,9	0,300	3,3
17,2	0,238	4,2
17,8	0,238	4,2
17,8	0,149	6,7
18,1	0,322	3,1
18,1	0,263	3,8
18,1	0,294	3,4
18,1	0,311	3,2
18,5	0,196	5,1
18,5	0,243	4,1
18,5	0,144	6,9
18,8	0,222	4,5
19,4	0,238	4,2
22,2	0,158	6,3
22,2	0,158	6,3
23,8	0,243	4,1

l'humeur aqueuse par la voie du canal de Schlemm et des veines aqueuses visibles. *Ascher* (1), *de Vries* (4), *Goldmann* (6 a) ont observé chez l'Homme l'élargissement de la bande d'humeur aqueuse dans une veine laminaire en élevant la pression intra-oculaire. Nous avons montré que, chez le Lapin, l'hypertension consécutive à une injection intra-oculaire augmente le nombre des veines aqueuses en provoquant, par exemple, l'envahissement d'un vaisseau sanguin par l'humeur aqueuse (*Weekers et Prijot*, 17 a). Cette observation a été confirmée par *Thomassen* (15 b).

Il semble, au contraire, que les variations du volume sanguin uvéal ne soient qu'un facteur peu important. Divers arguments le prouvent : a) La chute tensionnelle pendant l'épreuve de compression et le retour à une tension normale après l'enlèvement du tonomètre sont lents et progressifs. Cette observation s'explique de façon plus satisfaisante par la réduction, puis par la reconstitution du volume du liquide camérulaire que par les fluctuations du volume sanguin uvéal. b) *Grant* a montré, en remplaçant l'humeur aqueuse par des liquides de viscosités différentes, que les résultats de l'épreuve de compression sont fortement influencés par la fluidité du liquide contenu dans la chambre antérieure. c) Nous avons montré qu'en l'absence d'humeur aqueuse, quand la chambre antérieure est virtuelle, il n'existe pas de chute tensionnelle au cours de l'épreuve. d) La pression exercée sur le globe pendant l'épreuve de compression est faible. Le tonomètre ne pèse que 17 g. Cette pression provoque vraisemblablement une stase sanguine plutôt qu'une ischémie. e) *Grant* a calculé la « *facility of outflow* » dans l'œil énucléé et, de ce fait, privé de sang et l'a trouvée normale³.

En résumé, il semble prouvé que la chute tensionnelle provoquée par la pose d'un tonomètre sur l'œil résulte surtout d'une accélération de la sortie de l'humeur aqueuse et que les variations éventuelles du volume du sang dans l'uvée ne sont pas susceptibles d'entacher la méthode d'une erreur importante.

2° *Existe-t-il un changement de la pression veineuse épisclérale, une modification de la résistance ou une variation de la sécrétion au cours de l'épreuve ?* La pression veineuse sanguine dans la veine laminaire (9-10 mm. Hg) atteint approximativement la moitié de la valeur de la pression oculaire. Ses variations éventuelles au cours

³ Nous poursuivons actuellement des recherches analogues, mais la difficulté du calcul de la résistance en l'absence de sécrétion et de pression veineuse épisclérale nous empêche jusqu'à présent de conclure.

de l'épreuve de compression seraient donc susceptibles d'influencer l'écoulement de l'humeur aqueuse.

Une modification de la résistance au cours de la compression aurait le même effet.

Enfin, une variation de la sécrétion sous l'influence d'une perturbation circulatoire, par exemple, pourrait entacher d'une erreur appréciable le calcul de la résistance.

Nous avons cherché à savoir si ces facteurs interviennent dans l'épreuve de compression, telle que nous la pratiquons, en calculant de minute en minute les valeurs de C. Une modification de la pression veineuse épisclérale, de la résistance ou de la sécrétion au cours de la compression doit nécessairement se traduire par un changement du volume d'humeur aqueuse chassé du globe dans l'unité de temps. Nos calculs portent sur un groupe homogène de 20 sujets sains dont la pression oculaire varie de 14,2 mm. Hg à 18,2 mm. Hg et dont la résistance à l'écoulement varie de 3 à 4,7 (graphique 1). Le calcul de C de minute en minute ne montre que de faibles variations, apparemment accidentelles, et ne permet pas de déceler une modification systématique de la pression veineuse épisclérale, de la résistance à l'écoulement ou de la sécrétion d'humeur aqueuse au cours de l'épreuve de compression.

En conclusion, dans l'état actuel de la question, nous ne décelons pas de source d'erreur dans l'épreuve de compression. Cette méthode, grâce à la publication des tables tonométriques de *Friedenwald*, permet une mesure directe de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse.

La résistance offerte par les émonctoires du segment antérieur à l'issue du liquide camérulaire est complexe, elle résulte de l'addition de résistances locales au niveau du trabeculum, de la paroi du canal de Schlemm, dans le canal lui-même, à l'abouchement de la veine aqueuse, à l'intérieur de celle-ci, à l'endroit d'anastomose de la veine aqueuse et de la veine sanguine épisclérale.

Le *trabeculum* normal est formé par une charpente limitant des espaces en forme de fente ; il ne semble pas constituer un obstacle sérieux au passage de l'humeur aqueuse.

L'anatomie de la *paroi du canal de Schlemm* est mal connue. Le passage de l'humeur aqueuse se fait-il par voie transcellulaire, par les espaces intercellulaires ou par des pores étroits échappant aux moyens usuels d'investigation ? La question n'est pas résolue.

Il est vraisemblable que cette paroi intervient pour une part importante dans la valeur de la résistance à l'écoulement.

L'anatomie du *canal de Schlemm* lui-même est complexe, sa lumière se divise en plusieurs conduits parallèles. Le canal est-il doué de vasomotricité comme le sont les veines aqueuses ? (*Weekers et Prijot*, 17 b). Le fait n'est pas certain, car la structure de la sclère lui impose peut-être un diamètre constant.

L'humeur aqueuse collectée dans le canal de Schlemm s'écoule dans les *veines aqueuses* par une série d'orifices dont l'existence est démontrée depuis longtemps par des études anatomiques. Au moyen d'une élégante technique de micro-injection, *Ashton* (2) a pu mettre en évidence, sur l'œil humain, l'abouchement des veines aqueuses dans le canal de Schlemm. Au cours de recherches histologiques, *Thomassen et Bakken* (16) ont récemment confirmé cette observation.

Ashton (2), *Thomassen et Bakken* (16) ont montré, pour le surplus, qu'avant leur émergence à la surface de la sclère, les veines aqueuses peuvent contracter des anastomoses avec le réseau sanguin intrascléral et probablement, par l'intermédiaire des branches les plus profondes de ce réseau, avec les veines de l'uvée antérieure. Des faits expérimentaux (*Weekers et Prijot*, 17 a et b) nous ont amené à postuler l'existence de voies profondes d'écoulement de l'humeur aqueuse invisibles au biomicroscope. Les dispositions anatomiques décelées par *Ashton, Thomassen et Bakken* confirment cette hypothèse. Ces dispositions, pour le surplus, suggèrent que les modifications de la pression veineuse uvéale peuvent influencer la résistance à l'écoulement entre l'origine réelle des veines aqueuses et leur point d'émergence visible.

Nous avons montré, d'autre part, que la résistance offerte par les veines aqueuses et laminaires dans leur trajet visible épiscléral peut se modifier. Les veines aqueuses et laminaires sont, en effet, douées de vasomotricité (*Weekers et Prijot*, 17 b). Dans la loi de Poiseuille, qui s'applique à l'écoulement des fluides dans des conduits de faible section, le rayon du tube est porté à la quatrième puissance. La vasoconstriction des veines aqueuses crée donc inévitablement une élévation de la résistance. Dans nos expériences cependant, celle-ci ne modifie que peu l'ophtalmotonus, car les réseaux vasculaires profonds échappent à la vasoconstriction et permettent l'établissement de circulations vicariantes.

Connaissant le volume d'humeur aqueuse chassé hors du globe en une minute par une pression d'un mm. Hg., il est possible de calculer le *débit normal* de l'humeur aqueuse.

Dans sa première publication, *Grant* (7 a) utilise la formule $D = C \times \text{Poc}$. On peut objecter à cette équation que c'est la pression d'écoulement (pression oculaire—pression veineuse épisclérale) qui régit le débit et non pas la pression oculaire. *Friedenwald* (5), dans une part de discussion d'un haut intérêt, l'a justement fait remarquer.

Dans son travail le plus récent, *Grant* (7 b) utilise la formule : $D = C \times (\text{Poc} - 4)$. Mais ce correctif apporté à la suite de recherches expérimentales dont il serait trop long de rapporter le détail ici, ne semble pas suffisant. Tous les auteurs qui se sont efforcés de mesurer la pression veineuse épisclérale, lui attribuent une valeur approximative de 9 ou 10 mm. Hg.

Pour calculer le débit, en nous basant sur la mesure de la facilité d'écoulement, nous utilisons la formule préconisée, par ailleurs, par *Friedenwald* (5) :

$$D = C \times \text{Pec} \text{ ou } D = \frac{\text{Pec}}{R}$$

Chez les 46 sujets sains servant de matériel d'étude dans ce travail, la pression oculaire moyenne est de 16,4 mm. Hg, la résistance moyenne est de 4,5. En attribuant à ces sujets une pression veineuse épisclérale moyenne de 9 mm. Hg, nous trouvons un débit moyen de 1,63 cmm. d'humeur aqueuse par minute. Ce chiffre est en accord avec les mesures faites sur l'Homme par *Goldmann* (6 c) au moyen de son fluoromètre. Il semble donc que la mesure de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse puisse servir au calcul du débit intra-oculaire.

Résumé.

1° Les auteurs utilisent le tonomètre électronique et les tables tonométriques de *Friedenwald* pour le calcul de la résistance à l'écoulement de l'humeur aqueuse chez le sujet sain.

2° La résistance à l'écoulement calculée dans 46 cas normaux varie de 2,9 à 7,3 ; elle est en moyenne de 4,5.

3° Les auteurs discutent l'importance respective du trabeculum, du canal de Schlemm, de la veine aqueuse, du réseau sanguin intrascléral, de la veine laminaire dans la constitution de la résistance offerte à l'écoulement de l'humeur aqueuse par les émonctoires du segment antérieur de l'œil.

4^o Il semble que le calcul de la résistance à l'écoulement puisse servir de mesure au débit de l'humeur aqueuse. Le débit moyen calculé sur 46 sujets normaux est de 1,63 cmm./minute.

Zusammenfassung.

1. Die Autoren benützen ein «elektrisches Tonometer», das in einer Verbindung zwischen dem Apparat von Schiötz und einer elektrischen Einrichtung besteht. Beim Benützen des Tonometers wird dadurch eine graphische Darstellung der Druckschwankungen, ähnlich wie beim Ekg., ermöglicht. Sie messen die Abnahme des Drucks während 5 Minuten, wobei das Tonometer der Cornea aufgesetzt bleibt. Unter Heranziehung der tonometrischen Tafeln von *Friedenwald* läßt sich dadurch der Widerstand ermitteln, der beim Abfluß des Kammerwassers im normalen Auge besteht.

2. Dieser Widerstand schwankt in 46 Fällen zwischen 2,9 und 7,3; im Mittel beträgt er 4,5.

3. Die Autoren erörtern die relative Wichtigkeit des Trabeculums, des Schlemmschen Kanals, der Wasserven, des intraskleralen Blutgefäßnetzes und der laminaren Venen für den Widerstand beim Abfluß des Kammerwassers durch die Emissarien des vorderen Augapfelsegmentes.

4. Es scheint, daß die Kalkulation des Widerstandes als Maß für die Menge des Kammerwasserabflusses zu dienen erlaubt. Der mittlere Abfluß bei 46 normalen Individuen betrug 1,63 cmm pro Minute.

Summary.

1. The authors use an "electronic tonometer", which consists of a combination of Schiötz's apparatus with an electric installation. In use, the tonometer shows continuously and graphically the differences in tension, similarly to the electro-cardiogram. During 5 min. in which the tonometer was placed on the cornea, they measured the slackening of tension. By bringing in *Friedenwald's* tonometer charts it is possible to find the resistance present in normal eyes during the draining off of aqueous humour.

2. This resistance varied in 46 cases between 2.9 and 7.3, the mean being 4.5.

3. The authors discuss the relative importance of the trabeculum, the Schlemm's canal, the aqueous veins, the intra-scleral blood vessels and the laminary veins in the resistance of the flow

of the aqueous humour by the way of the emissaries of the anterior segment of the eyeball.

4. It appears that it is possible to use the calculation of resistance as a standard for the quantity of aqueous humour flow. The mean in 46 normal individuals is 1.63 c.mm. a minute.

Bibliographie.

1. K. W. Ascher : Amer. J. Ophth. 25, 1197 (1942). — 2. N. Ashton : Brit. J. Ophth. 35, 291 (1951). — 3. J. D. Blum et M. Valerio : Ophthalmologica 111, 193 (1946). — 4. S. de Vries : Thèse Amsterdam 1947. — 5. J. S. Friedenwald : Arch. of Ophth. 46, 124 (1951). Discussion de Grant (7 b). — 6. H. Goldmann : a) Ophthalmologica 111, 150 (1946) ; b) ibid. 118, 496 (1949) ; c) ibid. 119, 65 (1950) ; d) ibid. 119, 267 (1950) ; e) ibid. 120, 150 (1950). — 7. M. Grant : a) Arch. of Ophth. 44, 204 (1950) ; b) ibid. 46, 113 (1951). — 8. V. Kinsey, M. Grant, D. C. Cogan, J. J. Livingood et B. R. Curtis : Arch. of Ophth. 27, 1126 (1942). — 9. E. Linner, C. Rickenbach et H. Werner : Acta Ophthalmologica 28, 469 (1950). — 10. H. Löhlein : 56. Zus. Dtsch. Ophth. Ges. 1950. Zbl. f. g. Ophth. 53, 140 (1950). — 11. H. Löhlein et K. Weigelin : 55. Zus. Dtsch. Ophth. Ges. (1949). Klin. Mbl. f. Augenhkde. 115, 444 (1949). — 12. R. A. Moses et M. Bruno : Amer. J. Ophth. 33, 389 (1950). — 13. E. Prijot et R. Weekers : Bull. Soc. belge Ophth. 1951 (sous presse). — 14. C. Rickenbach et H. Werner : Ophthalmologica 120, 22 (1950). — 15. Th. L. Thomassen : a) Acta Ophthalmologica, Suppl. ad 27, 1 (1946) ; b) ibid. 28, 479 (1950). — 16. Th. L. Thomassen et K. Bakken : Acta Ophthalmologica 29, 257 (1951). — 17. R. Weekers et E. Prijot : a) Ophthalmologica 119, 321 (1950) ; b) ibid. 121, 264 (1951).

(Aus der Augenklinik der Universität Neapel [Direktor: Prof. G. Lo Cascio].)

Akkommodative Richtungsänderung der Augenachse.

VON F. DE LEONIBUS.

Gullstrand hat beobachtet, daß während der Akkommodation, selbst wenn die Visierlinie streng eingehalten wird, oft eine Veränderung in der Richtung der optischen Achse eintritt.

Um diese Bewegung klarzumachen, wählte *Gullstrand*, wie im Experiment von *Helmholtz*, einen weit gelegenen, genau angegebenen Fixierpunkt und als angenäherten Gegenstand die Spitze einer Stecknadel.

Der Untersuchte deckt ein Auge zu und richtet das andere so,