

11

ARCHIVES
D'OPHTALMOLOGIE

EXTRAIT

L'acide lactique du cristallin.

PAR

Roger WEEKERS.

(Archives d'Ophthalmologie. n. s., t. 4, n° 8, Août 1937.)

MASSON & C^{ie}, EDITEURS
120, BOULEVARD ST-GERMAIN, PARIS (VI^e)

L'acide lactique du cristallin.

Par

Roger WEEKERS.

Parmi les hypothèses tendant à expliquer le mécanisme de la cataracte sénile, l'une attribue à l'acide lactique un rôle important (Lehotzky) (1).

Deux faits sont à la base de cette hypothèse :

1° le cristallin fabrique de l'acide lactique;

2° le cristallin consomme une certaine quantité d'oxygène.

Il résulte de ces faits la possibilité que l'acide lactique soit, partiellement au moins, brûlé dans le cristallin.

La respiration diminue avec l'âge. Lehotzky admet, pour cette raison, qu'une partie de l'acide lactique du cristallin sénile échappe à la combustion, s'accumule dans le tissu, précipite les matières protéiques et provoque ainsi l'opacification de la lentille.

Cette explication suppose comme condition nécessaire, que le cristallin constitue pour l'acide lactique un système clos, sans quoi l'accumulation de cette substance n'est pas possible.

J'ai réalisé diverses expériences concernant l'acide lactique du cristallin et ses rapports avec le milieu extérieur.

TECHNIQUE

Le cristallin utilisé est celui de veau (1 gr.) ou de bœuf (2 gr. et plus). Les yeux sont prélevés immédiatement après l'abatage et apportés aussitôt au laboratoire; les cristallins sont enlevés par dissection et utilisés sans retard. L'expérience est mise en train moins d'une demi-heure après la mort de l'animal (*).

(*) Très rapidement, l'acide lactique du cristallin diffuse dans l'humeur aqueuse. Un dosage effectué avec quelque retard donnera, pour le cristallin, une valeur trop basse, pour l'humeur aqueuse correspondante une valeur trop élevée. Une grande constance dans les conditions expérimentales est nécessaire. C'est peut-être l'explication des quantités variables d'acide lactique trouvées dans l'humeur aqueuse par différents auteurs et mentionnées par Krause (2).

L'acide lactique est dosé par la méthode de Mendei et Goidscheider (3), basée sur une réaction colorimétrique de l'acétaldéhyde dans un milieu déprotéinisé et débarrassé de ses hydrates de carbone. La description détaillée de l'application de cette méthode au cristallin sera faite ultérieurement. La seule innovation est l'emploi du « Stufen-Photometer », permettant la lecture d'un coefficient d'absorption sans comparaison avec une solution étalon. L'absorption maximum est obtenue au moyen d'un filtre de 53 μ . Tous les dosages ont été effectués avec la cuvette de 3 cm. La courbe d'absorption en fonction de la quantité d'acide lactique a été tracée pour des valeurs extrêmes de 0,03 mgr. et 0,12 mgr.

Des dosages effectués à titre de contrôle sur du sang humain ont donné des valeurs identiques à celles obtenues par les auteurs de la méthode : 12 mgr. p. 100 au repos absolu, à jeun.

Les dosages en double sont toujours parfaitement concordants.

TABLEAU 1.
Acide lactique en fonction
du poids.

POIDS (gr.).	AC. LACT. (mgr. p. 100 gr.).
0,96	104
1,03	104
1,04	98
1,07	112
1,15	96,5
1,15	97
1,21	91,7
1,31	92
2,20	64
2,20	56
2,29	66
2,36	69
2,44	62
2,45	58
2,51	62
2,55	58
2,58	59
2,61	60
2,75	66
2,76	62
2,77	60
2,78	64

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

La teneur en acide lactique du cristallin de veau et de bœuf est élevée. La même observation a été faite par Burian et Janic (4) pour les cristallins de grenouille, de chien, de chat et de lièvre.

Le tableau 1 indique la teneur en acide lactique de cristallins de veaux et de bœufs. Ces dosages mettent en évidence un rapport certain entre le poids du cristallin et sa teneur en acide lactique : la concentration des cristallins jeunes est plus élevée que celle des cristallins âgés.

Un fait analogue a été observé pour les phosphates par Müller (5), pour l'eau par différents auteurs cités par Krause (2) (voir de plus les tableaux 3, 4 et 5) et pour d'autres substances encore.

La teneur en acide lactique de deux cristallins provenant d'une même paire d'yeux est pratiquement identique. Les résultats groupés dans le tableau 2 en sont la preuve. Cette circonstance favorable permettra de

déterminer, par comparaison, l'influence de certaines conditions expérimentales modifiant le taux en acide lactique d'un des cristallins, l'autre servant de contrôle.

TABLEAU 2. — Acide lactique des deux cristallins d'une même paire d'yeux.

POIDS (gr.).	ACIDE LACTIQUE (mgr. p. 100 gr.).	
1,03	103,7	102,9
1,15	96,5	96,5
1,21	91,7	95,0
2,20	63,6	64,5
2,36	70,3	68,6
2,44	62,2	61,4

Les recherches suivantes ont eu pour but l'étude des rapports de l'acide lactique avec le milieu extérieur. Ce milieu extérieur est, dans la grande majorité des expériences, constitué par une solution de Ringer (NaCl : 9 p. 1.000; KCl : 0,2 p. 1.000 ; CaCl² : 0,2 p. 1.000; NaHCO³ : 0,2 p. 1.000). Un cristallin immergé dans cette solution conserve pendant plusieurs heures une transparence parfaite. Cette étude comporte deux parties :

- a) la diffusion de l'acide lactique du cristallin vers le milieu extérieur;
- b) le phénomène inverse, la pénétration de l'acide lactique du milieu extérieur dans le cristallin.

a) **Diffusion de l'acide lactique du cristallin vers le milieu extérieur.** — Des cristallins sont immergés individuellement dans 5 cmc. de Ringer à 37° et y sont laissés pendant 1 h. 1/2, 3 h., 4 h. 1/2 ou 6 heures. Ce laps de temps écoulé, on détermine la teneur en acide lactique du cristallin et de la solution de Ringer environnante : la diffusion, rapide pendant la première période, se ralentit ultérieurement (tableau 3) (*).

On pouvait objecter à ces conditions expérimentales que le Ringer n'étant pas homogénéisé de façon constante, il se crée aux environs immédiats du cristallin une zone dont la teneur élevée en acide lactique ralentit la diffusion.

Cette objection n'est pas valable pour les expériences dont les résultats sont réunis dans le tableau 4, au cours desquelles la solution de Ringer maintenue à une température voisine de 20° a été homogénéisée et désoxygénée par le passage continu d'un courant d'azote.

La diffusion de l'acide lactique dans ces nouvelles conditions expéri-

(*) Les cristallins, quel que soit leur poids, ont été immergés dans un même volume de Ringer : 5 cmc. Pour chaque durée de diffusion, des cristallins jeunes et des cristallins âgés ont été utilisés. Les poids moyens, les valeurs moyennes d'acide lactique dans le cristallin et dans le Ringer ont donc été calculés séparément pour les cristallins de différents poids. Les parties du tableau sont comparables soit pour les cristallins jeunes, soit pour les cristallins âgés; mais, pour mettre en parallèle les chiffres fournis par les cristallins jeunes avec ceux fournis par les cristallins âgés, le calcul doit intervenir. La comparaison ne peut être faite qu'en tenant compte de différents facteurs : poids, teneur en eau, surface de la capsule.

TABLEAU 3. — Diffusion de l'acide lactique du cristallin dans du Ringer à 37°.

N° de l'expérience.	Durée de diffusion (heure).	CRISTALLIN				RINGER	
		Poids (gr.).	Teneur en eau (p. 100).	Acide lactique (mgr. p. 100 gr.).	Acide lactique (mgr. p. 100 emc.).		
41	0	1,03		104	} 0,0		
5	0	1,07		112			
42	0	1,21	1,10	92			
45	0	2,20		64	} 0,0		
43	0	2,36		69			
52	0	2,51	2,46	62			
51	0	2,78		61			
30	1 30	1,0027	1,06	94	} 6,5		
18	1 30	1,1119	67,1	30			
33	1 30	2,2150		49	} 5		
19	1 30	2,4578	59,3	54			
16	1 30	2,4083	61,6	50	} 7,0		
35	1 30	2,6050		51			
30	3	1,0289	67,6	74	} 8		
18	3	1,1952	66,9	71			
35	3	1,750		85	} 8,3		
33	3	2,260		48			
19	3	2,2942	63,3	38	} 5,7		
17	3	2,3530	60,0	57			
30	4 30	0,9130	68,1	50	} 7,5		
18	4 30	1,0910	68,9	66			
19	4 30	1,9679	67,6	53	} 11		
35	4 30	2,1150		92			
33	4 30	2,4050	2,16	47	} 8,9		
				57			
30	6	1,0129	66,3	59	} 12		
32	6	1,010	67,5	73			
18	6	1,2025		71	} 11,6		
33	6	2,110		51			
35	6	2,115		48	} 8,3		
19	6	2,7227	63,2	43			

mentales reste du même ordre de grandeur que celle observée dans les expériences antérieures.

L'expérience n° 26, poursuivie pendant 24 heures, fournit, si l'on tient compte de la durée de la diffusion et malgré un trouble apparent du cristallin, un chiffre d'acide lactique diffusé, comparable à ceux obtenus au cours d'expériences poursuivies pendant moins longtemps.

TABLEAU 4. — Diffusion de l'acide lactique du cristallin dans du Ringer à 20°, agité de façon continue par un passage de N².

N° de l'expérience.	Durée de la diffusion (heure).	CRISTALLIN			RINGER
		Poids (gr.)	Teneur en eau (p. 100).	Acide lact. (mgr. p. 100 gr.)	Acide lact. (mgr. p. 100 mgr.)
31	6	0,8162	67	64	7,5
21	6	2,4364	59,4	43	8,5
22	8	2,2542	62,2	44	11,2
26	24	2,4027	62,5	56	21,0

Doit-on considérer le cristallin comme un tout enveloppé dans sa capsule ou bien faut-il y voir la juxtaposition d'éléments anatomiques plus petits ? La diffusion de l'acide lactique n'étant pas modifiée par la dissection d'un morceau plus ou moins important de la capsule de l'une ou l'autre face (tableau 5), la deuxième de ces hypothèses semble, du point de vue de la diffusion de l'acide lactique tout au moins, plus vraisemblable.

TABLEAU 5. — Diffusion de l'acide lactique d'un cristallin dont la capsule a été partiellement enlevée dans du Ringer à 37°.

N° de l'expérience.	Durée de la diffusion (heure).	CRISTALLIN			RINGER
		Poids (gr.)	Teneur en eau (p. 100).	Acide lactique (mgr. p. 100 gr.)	Acide lact. (mgr. p. 100 mgr.)
23	1 30	2,1456	64,1	51,4	7,5
23	3	2,2688	61,2	42	9,5
23	4 30	2,5022	64,0	53	12
23	6	2,3439	62,4	42	10
24	24	2,0144	65,1	32	12,7
25	24	2,2508	62,8	49	27

Si les conditions expérimentales décrites jusqu'ici ne modifient pas sensiblement la diffusion de l'acide lactique, il n'en est pas de même de l'addition à la solution de Ringer d'une certaine quantité de glucose. Des cristallins (tableau 6) sont immergés pendant 6 heures dans un échan-

tillon unique de Ringer additionné de glucose. L'acide lactique est dosé dans le cristallin et dans le Ringer à la fin de l'expérience. Au cours de ces recherches, et contrairement à ce qui se passe lorsque le Ringer ne contient pas de glucose, la teneur en acide lactique du cristallin ne diminue pas. Cette observation est en accord avec les travaux de Cohen et Killian (6) qui montrent que le glucose du milieu extérieur peut être utilisé par le cristallin. Ce tissu semble donc avoir la propriété de régulariser sa teneur en acide lactique. La même remarque avait été faite par Süllmann pour les phosphates.

La diffusion de l'acide lactique dans le Ringer est dans ce cas considérablement augmentée (comparer les tableaux 3 et 6).

TABLEAU 6. — Diffusion de l'acide lactique du cristallin dans du Ringer à 37° contenant 200 à 400 mgr. de glucose p. 100 cmc.

N° de l'expérience.	Durée de la diffusion (heure).	CRISTALLIN		RINGER
		Poids (gr.).	Acide lactique (mgr. p. 100 gr.).	Acide lactique (mgr. p. 100 cmc.).
61	6	0,96	111	17
63	6	0,98	102	19
64	6	1,01	106	22
62	6	1,04	109	18
			107	49,0
59	6	2,60	72	17
60	6	2,64	58	19
60	6	2,64	61	18
58	6	2,92	70	20
58	6	2,92	66	19
			65	18,6

On pourrait, en se basant sur ces résultats, tracer la courbe de diffusion de l'acide lactique du cristallin vers une solution de Ringer. L'allure de cette courbe serait à peu près identique dans les diverses conditions expérimentales décrites : diffusion rapide au cours des 90 premières minutes, diffusion plus lente ultérieurement. Cette ascension rapide de la portion initiale de la courbe n'est probablement que l'expression de la grande différence de concentration entre le cristallin et le Ringer au début de l'expérience. Une autre hypothèse ne peut cependant être rejetée *a priori* : l'existence dans le cristallin d'acide lactique libre très diffusible et d'acide lactique lié, aux protéines par exemple, et dont la diffusibilité serait moindre. Les expériences dont les résultats sont réunis dans le tableau 7 ont eu pour but de vérifier cette hypothèse. Un cristallin est plongé pendant deux heures dans 5 cmc. de Ringer; à la fin de cette première période, le Ringer est renouvelé et remplacé par 5 cmc. de Ringer frais. L'acide lactique est dosé dans les différents échantillons de Ringer, dans le cristallin avant et après la diffusion. Les résultats obtenus ne plaident guère en faveur de l'existence d'acides lactiques de diffusibilités diverses. La quantité d'acide

lactique diffusé peut être considérée comme identique dans le 1^{er}, le 2^e et même le 3^e Ringer (*).

TABLEAU 7. — Diffusion de l'acide lactique du cristallin dans du Ringer à 37°, renouvelé à plusieurs reprises.

N° de l'expérience.	CRISTALLIN			RINGER		
	Poids (gr.).	Durée du séjour dans Ringer (heure)	Acide lactique (mgr. p. 100 gr.)	N° de l'échantillon.	Durée de diffusion (heure)	Acide lact. (mgr. p. 100 cme)
28		»	»	1	2	7,8
	2,5009	»	»	2	2	7,2
		4	52	»	»	»
29		»	»	1	2	8,5
	2,1389	»	»	2	2	7,5
		4	57	»	»	»
37	2,58	0	59	»	»	»
		»	»	1	2	8,2
		»	»	2	2	5
	2,58	»	»	3	2	6,5
		6	45	»	»	»
38	2,45	0	58	»	»	»
		»	»	1	2	6,4
	2,45	»	»	2	2	6,3
		4	41	»	»	»
39	2,53	0	59	»	»	»
		»	»	1	2	6,0
	2,53	»	»	2	2	5,7
		4	31	»	»	»

Si on calcule la quantité d'acide lactique diffusé dans les différents échantillons de Ringer et si on la compare à la quantité d'acide lactique perdu par le cristallin, on trouve cette première valeur supérieure à la seconde. Malgré l'absence de glucose dans le Ringer, le cristallin fabrique donc pendant la durée de l'expérience une certaine quantité d'acide lactique, très vraisemblablement aux dépens des hydrates de carbone qu'il contient.

Exemple : Un cristallin contient au début de l'expérience en valeur absolue 1,52 mgr. d'acide lactique, à la fin 1,16 mgr., soit une diminution de 0,36 mgr. en l'espace de 6 heures.

0,98 mgr. d'acide lactique ont diffusé dans le même temps dans les 3 échantillons successifs de Ringer où le cristallin a été immergé.

Le cristallin a donc fabriqué 0,62 mgr. d'acide lactique.

(*) En réalité, la concentration des échantillons successifs de Ringer diminue légèrement, car pendant l'expérience, la concentration dans le cristallin lui-même s'abaisse

b) Diffusion de l'acide lactique du milieu extérieur vers le cristallin.

— Que le cristallin laisse diffuser l'acide lactique qu'il contient vers le milieu extérieur, le fait ne paraît pas douteux.

Normalement, ce milieu extérieur est l'humeur aqueuse; la teneur en acide lactique en est très variable, parfois élevée pendant le travail musculaire [Wittgenstein et Gaedertz (7), Sasaki (8)]. La question de la diffusion de l'acide lactique du milieu extérieur vers le cristallin méritait de retenir l'attention. On immerge des cristallins dans du Ringer additionné d'une quantité connue d'acide lactique. En milieu acide, les cristallins se troublent rapidement. Ils restent au contraire bien transparents ou ne présentent que des opacifications locales peu étendues, si on a soin de neutraliser l'acidité par une certaine quantité de Na^2CO^3 ou de NaHCO^3 . Les expériences dont les protocoles seront mentionnés ont été réalisées avec du Ringer additionné d'acide lactique, puis neutralisé.

La teneur en acide lactique de cristallins immergés pendant 8 heures 1/2 dans du Ringer contenant 236 mgr. p. 100 d'acide lactique ou pendant 6 heures dans de l'humeur aqueuse en contenant 90 mgr., augmente au cours de l'expérience (tableau 8).

TABLEAU 8. — Augmentation de la teneur en acide lactique du cristallin dans une solution concentrée d'acide lactique.

N° de l'expér.	Poids de ch. crist. (gr.).	Durée (heures).	Nature du milieu.	Ac. de lactique du cristallin (mgr. p. 100 gr.).	
				Avant.	Après.
50	2,75	8 30	Ringer + 236 mgr. p. 100 acide lactique + Na^2CO^3	66	87
51	2,78	8 30		64	86
52	2,51	8 30		62	83
53	2,29	8 30		66	86.
15	2,20	6	Humeur aqueuse 90 mgr. p. 100 acide lactique.	56	63

Cette observation peut être interprétée de deux façons différentes :

1° l'acide lactique du Ringer pénètre dans le cristallin et en augmente la concentration;

2° la concentration élevée du milieu s'oppose à la diffusion de l'acide lactique néoformé dans le cristallin : la teneur de ce dernier s'élève.

Les expériences résumées dans le tableau 9 confirment la première de ces interprétations.

Un cristallin est plongé dans un Ringer dont la concentration en acide lactique (70 mgr. p. 100) est faiblement supérieure à celle du cristallin. Cet excès suffisant pour empêcher une diffusion importante de l'acide lactique du cristallin vers le Ringer est toutefois trop faible pour être la

cause d'une diffusion de dehors en dedans. Le deuxième cristallin de la même paire est plongé dans un Ringer contenant 230 mgr. p. 100 d'acide lactique. Dans l'hypothèse d'une diffusion de dehors en dedans, cette concentration élevée modifiera en l'augmentant la teneur du cristallin en acide lactique.

L'acide lactique de chacun des cristallins est dosé après un temps égal de séjour dans l'un ou l'autre des Ringer.

Le deuxième cristallin contient à la fin de l'expérience plus d'acide lactique que le premier. L'acide lactique diffuse donc du Ringer vers le cristallin.

TABLEAU 9. — Teneur en acide lactique du cristallin plongé dans des solutions de concentrations diverses.

N ^o de l'expér.	Poids de chaque cristallin (gr.).	Nature du milieu.	Ac. lact. du crist. après 5 h. (mgr. p. 100 gr.).	Nature du milieu.	Ac. lact. du crist. après 5 heures (mgr p. 100 gr.)
54	2,49	Ringer + 70 mgr.	65	Ringer + 230 mgr.	80
55	2,57	p. 100 ac. lact.	67	p. 100 ac. lact.	82
56	2,57	+ NaHCO ³	58	+ NaHCO ³	72

Cette diffusion de dehors en dedans doit nécessairement s'accompagner d'une diminution de l'acide lactique contenu dans le Ringer. L'expérience 57 en est une preuve : 3 cristallins de 2,5 gr. environ sont immergés dans 6 cmc. de Ringer contenant au début de l'expérience 200 mgr. p. 100 d'acide lactique. 6 heures après, ce Ringer ne contient plus que 185 mgr. p. 100.

DISCUSSION

Les expériences de Kronfeld et Bothman (9), celles de Bakker (10) montrent que la dégradation des hydrates de carbone dans le cristallin aboutit en partie à la formation d'acide lactique.

Quel est le sort ultérieur de cet acide lactique ? Trois possibilités sont à envisager :

- a) la combustion;
- b) la synthèse en glycogène (réaction de Pasteur-Meyerhof);
- c) la diffusion.

La consommation d'oxygène du cristallin étant proportionnellement faible, la part d'acide lactique brûlé ne peut constituer qu'une minime fraction.

La preuve n'est pas faite de l'existence de glycogène dans le cristallin.

L'existence et l'importance de la synthèse du glycogène au départ de l'acide lactique restent entièrement hypothétiques (Süllmann) (11). Pas plus que la première éventualité et pour la même raison, cette synthèse ne peut être très importante.

La plus grande partie de l'acide lactique formé diffuse vers l'humeur aqueuse : les concentrations relatives en acide lactique du cristallin et de l'humeur aqueuse, les expériences mentionnées dans ce travail en sont des preuves certaines. Les recherches de F. P. Fischer (12) en donnent encore une nouvelle confirmation : l'humeur aqueuse d'un œil aphaque contient moins d'acide lactique que celle d'un œil normal.

Ces faits viennent à l'appui des travaux démontrant la perméabilité de la capsule du cristallin aux substances cristalloïdes. Ils présentent un intérêt particulier parce que l'acide lactique est une substance physiologiquement importante et que la diffusion a pu en être étudiée non seulement de dedans en dehors mais également de dehors en dedans.

C'est à tort que l'on considérerait le cristallin comme un système clos pour l'acide lactique : il existe de façon constante un échange de cette substance entre le cristallin et l'humeur aqueuse. La rapidité, le sens de cette diffusion sont influencés par les concentrations relatives en l'un et l'autre endroit. L'âge, qui abaisse la concentration dans le cristallin, le travail musculaire qui l'élève dans l'humeur aqueuse, sont les facteurs dominants.

Cette liberté d'échange entre les deux milieux semble devoir faire rejeter toute théorie de la cataracte basée sur une rétention d'acide lactique dans le cristallin.

CONCLUSIONS

I. — *a)* La teneur en acide lactique du cristallin de veau et de bœuf est, en dehors de tout travail musculaire intense et prolongé tout au moins, considérablement plus élevée que la teneur en acide lactique de l'humeur aqueuse correspondante.

b) La concentration en acide lactique d'un cristallin jeune est plus élevée que celle d'un cristallin âgé.

c) Les deux cristallins des yeux d'une même paire contiennent la même quantité d'acide lactique.

II. — *a)* Lorsqu'un cristallin est immergé dans une solution de Ringer, l'acide lactique diffuse du cristallin vers le Ringer et la teneur en acide lactique du cristallin s'abaisse.

b) La dissection partielle de la capsule ne modifie pas sensiblement la vitesse de diffusion.

c) Le renouvellement du Ringer augmente la quantité totale d'acide lactique diffusé.

d) La teneur en acide lactique du cristallin reste constante pendant toute la durée de l'expérience et la diffusion augmente si on ajoute du glucose au Ringer.

e) Immérgé dans du Ringer renouvelé à plusieurs reprises et plus encore dans du Ringer additionné de glucose, le cristallin fabrique de l'acide lactique pendant la durée de l'expérience.

III. — La diffusion de l'acide lactique peut se faire du Ringer vers le cristallin, si le Ringer a été additionné d'une quantité suffisante d'acide lactique.

Je remercie vivement M. le Professeur Brückner de l'hospitalité si cordiale qu'il m'a offerte dans sa clinique et dans son laboratoire et M. Süllmann, assistant, qui m'a suggéré l'idée de ce travail et m'a aidé dans sa réalisation.

Littérature.

1. P. LEHOTZKY. — Theorie der Pathogenese der senilen Katarakt. *Zentrbl. f. d. ges. Ophthalm.*, 1935, **34**, 123.
2. A. C. KRAUSE. — The biochemistry of the Eye, p. 109, 110 et 191. *The Johns Hopkins Press*, 1934.
3. B. MENDEL u. I. GOLDSCHIEDER. — Eine kolorimetrische Mikromethode zur quantitativen Bestimmung der Milchsäure im Blut. *Biochem. Zeitschr.*, 1925, **164**, 163.
4. II. BURIAN u. D. JANIC. — Zuckerbestimmung in Kammerwasser und Linse von Kaninchen und Rindern. *Zentrbl. f. d. ges. Ophthalm.*, 1937, **37**, 85.
5. II. K. MÜLLER. — Ueber den Gehalt an säurelöslichem organischem Phosphat der gesunden und der kranken Linse. *Arch. f. Augenheilkunde*, 1936, **109**, 497.
6. M. COHEN a. S. A. KILLIAN. — Studies in intra-ocular metabolism. *XIII Concl. Ophth.*, 1929, *Hollandia* **1**, 166.
7. A. WITTGENSTEIN u. A. GAEDERTZ. — Ueber den Milchsäuregehalt des Kammerwassers. Experimentelle Untersuchungen. I. Mitteilung : Beziehungen zwischen dem Milchsäuregehalt des Blutplasmas und des Kammerwassers. *Biochem. Zeitschr.*, 1926, **176**, 1.
8. T. SASAKI. — Ueber den Milchsäuregehalt des Kammerwassers (I, II u. III Mitt.). *Acta soc. ophthalm. jap.*, 1931, **35**, 1048, 1357 u. 1617 u. dtisch. Zusammenfassung 99, 119 u. 137.
9. P. KRONFELD u. L. BOTHMAN. — Zur Frage der Linsen. *Atmung Zeitschr. f. Augenheilk.*, 1928, **65**, 41.
10. A. BAKKER. — Eine Methode, die Linsen erwachsener Kaninchen ausserhalb des Körpers am Leben zu erhalten. *Graefes Arch.*, 1936, **135**, 581.
11. H. SÜLLMANN. — Der Kohlehydratstoffwechsel der Linse. I. Die Bildung von Phosphorsäureestern in der Linse. *Arch. f. Augenheilk.*, 1937, **110**, 303.
12. F. P. FISCHER. — Ernährung und Stoffwechsel der Gewebe des Auges. *Ergeb. d. Physiol.*, 1931, **31**, 451.