

Beitrag zum Wasseraustausch zwischen Kammerwasser, Linse und Glaskörper beim Menschen

Seit der Einführung der Vorderkammerpunktion durch AMSLER und VERREY¹ im Jahre 1941 ist es möglich geworden, Kammerwasseruntersuchungen auch *in vivo* durchzuführen. Wir haben dieses Verfahren benutzt, um die Abflußgeschwindigkeit des Kammerwassers und die Wasserbewegung zwischen Kammerwasser, Linse und Glaskörper beim Menschen zu studieren. Eingehende Untersuchungen an Affen und Kaninchen auf diesem Gebiete verdanken wir KINSEY, GRANT und COGAN². Die amerikanischen Autoren konnten mit Hilfe von D_2O nachweisen, daß die Austauschvorgänge für Wasser zwischen Kammerwasser und Blutbahn mit beträchtlicher Geschwindigkeit vor sich gehen, während die Wasseraufnahme durch Linse und Glaskörper bedeutend langsamer erfolgt. Zweck vorliegender Arbeit war, die Verhältnisse beim Menschen abzuklären.

Wir wählten für unsere Versuche Patienten, denen ein Auge infolge Melanosarkoms der Aderhaut enukleiert werden mußte. In zwei Fällen war der übrige Augenbefund vollständig normal. Ein Fall wies eine starke fädenförmige Degeneration des Glaskörpers mit Punkteinlagerungen und Hypotonie, auf. Vorgängig der Operation wurde die Vorderkammer durch Punktionsöffnung vollständig entleert³, anschließend das entfernte Kammerwasser durch das gleiche Volumen einer physiologischen Kochsalzlösung von 37° C, die schweres Wasser⁴ enthielt, ersetzt. Nach erfolgter Enukleation wurde durch erneute Punktionsöffnung der Vorderkammer das Kam-

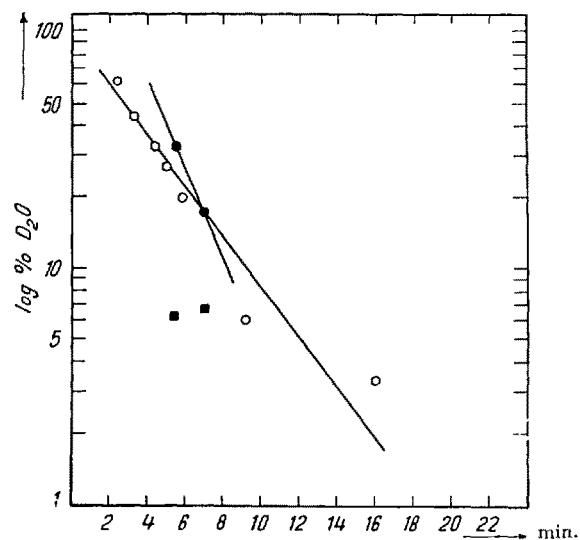
¹ M. AMSLER und F. VERREY, Acta ophthalmologica 105, 44 (1943).

² E. KINSEY, M. GRANT und D. COGAN, Arch. Ophth. 27, 242 (1942).

³ Die vollständige Entleerung ist auf diesem Wege bis auf wenige Prozent möglich.

⁴ Das verwendete D_2O stammt von der Norsk Hydro-Elektrisk Kvelstofaktieselskab Oslo und hat nach den Angaben des Werks einen D_2O -Gehalt von 99,8%. Dieser Wert stimmte mit unseren Bestimmungen innerhalb der Fehlergrenzen überein.

merwasser entnommen und nach Trepanation der Cornea Linse und Glaskörper sorgfältig herauspräpariert. Die Zeit zwischen dem Ende der Vorderkammerfüllung und der Herausnahme des Bulbus wurde gestoppt. Das entnommene Material bewahrten wir in abgeschmolzenen Ampullen auf. Es wurde sobald als möglich der chemischen Aufarbeitung zugeführt.



○ = D_2O -Konzentration im Kammerwasser von Kaninchen nach verschiedenen Zeitabständen, bezogen auf eine Anfangskonzentration von 100% D_2O (KINSEY, GRANT, COGAN).

● = Eigene Beobachtungen beim Menschen.

■ = D_2O -Gehalt der menschlichen Linse, bezogen auf eine Anfangskonzentration von 100% D_2O im Kammerwasser.

Nach dem Vorschlag von HEVESY und JACOBSEN¹ wurden in einer ersten Vakuumdestillation die flüssigen Anteile abgetrennt und diese anschließend einmal über Phosphorpentoxid und dann über Kaliumpermanganat und Natriumperoxyd destilliert. Wir bedienten uns da-

¹ G. HEVESY und C. F. JACOBSEN, Acta physiol. Scand. 1, 11 (1940).

	Kammerwasser					Linse			Glaskörper		
	k^1 (z.B1)	t^2 (z.B1) sec.	G^3 (z.B1) mg	d_4^{23}	% D_2O	G^3 (z.B1) mg	d_4^{23}	% D_2O	G^3 (z.B1) mg	d_4^{23}	% D_2O
Auge I	99,8	330	95,8			153,1			1170		
1. Destillation . .			95,4			97,5			1142		
2. Destillation ⁴ . .			94,8			97,5			1134		
3. Destillation ⁵ . .			93,7	1,0331	33,1	97,5	1,0042	6,2	1131	0,9970	0,0
Auge II	50,0	426	212,2	d_4^{22}		182,5	d_4^{22}		1842	d_4^{22}	
1. Destillation ⁶ . .			212,0			122,0			1814		
2. Destillation ⁴ . .			211,1	1,0071	8,7	121,8			1808		
3. Destillation ⁵ . .						121,8	1,0013	3,3	1808	0,9985	0,6
Auge III ⁷	33,3	660				107,4			990		
1. Destillation . .						68,8			830		
2. Destillation ⁴ . .						68,7			828		
3. Destillation ⁵ . .						68,7	0,9971	0,0	826	1,0034	5,2

¹ Anfangskonzentration an D_2O im Kammerwasser in %.

² Verweilzeit in der Vorderkammer bis zur Enukleation.

³ Gewicht des Körpers.

⁴ Destillation über P_2O_5 (auf 100 mg Substanz 0,5 mg P_2O_5).

⁵ Destillation über Na_2O_2 und $KMnO_4$ (auf 100 mg Substanz 0,5 mg Na_2O_2 und 0,5 mg $KMnO_4$).

⁶ Das rohe Kammerwasser wurde direkt über P_2O_5 destilliert.

⁷ Das Kammerwasser dieses Auges wurde nicht untersucht.

bei einer leicht abgeänderten Apparatur, die das Arbeiten mit kleinen Mengen gestattet.

Die gravimetrische Bestimmung des spezifischen Gewichtes¹ erfolgte nach der Methodik, wie sie von M. FURTER² ausgearbeitet worden war.

Die Resultate sind in der Tabelle auf S. 243 zusammengestellt.

Die Abflußgeschwindigkeit des Kammerwassers beim Menschen entspricht, wie aus der Abbildung hervorgeht, den Verhältnissen beim Kaninchen. Auch die Austauschvorgänge zwischen Kammerwasser und Glaskörper bewegen sich in der gleichen Größenordnung. Dagegen scheint die Wasseraufnahme durch die Linse beim Menschen in größerer Ausmaße stattzufinden als beim Kaninchen. Ob dies mit der stärkeren Akkommodationsfähigkeit der menschlichen Linse zusammenhängt, läßt sich zurzeit nicht entscheiden.

Auch die Beobachtung, daß der Logarithmus der prozentualen D₂O-Konzentration in der Vorderkammer linear mit der Zeit abnimmt, spricht für die gleiche Modellvorstellung. Theoretisch läßt sich die Anzahl der Wassermoleküle, die in die Kapillaren, welche die Vorderkammer umgeben, hineindiffundieren und vom Blutstrom abtransportiert werden, nach FICK durch

$$-dn = DO \frac{dc}{dx} dt$$

ausdrücken. Ersetzt man die Substanzmengen durch $dc_k \cdot v$, den Quotienten $\frac{dc}{dx}$ durch $\frac{c_k - c_B}{r}$, so folgt, falls die Blutströmungsgeschwindigkeit in den Kapillaren die Diffusionsgeschwindigkeit stark übersteigt und so $c_B = 0$ gesetzt werden kann

$$- \frac{dc_k}{c_k} = \frac{D \cdot O}{v \cdot r} dt$$

oder integriert

$$- \ln c_k = \frac{D \cdot O}{v \cdot r} \cdot t - \ln k$$

wobei für $t = 0$, $c_k = k$

D Diffusionskoeffizient (Wasser in Wasser: $2 \text{ cm}^2/\text{Tag}$ oder $2,3 \cdot 10^{-8} \text{ cm sec}^{-1}$)

c_k Konzentration im Kammerwasser

c_B Konzentration im Blut

r Kapillarradius $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$

O Kapillaroberfläche des Ziliarkörpers: $6,7 \text{ cm}^2$ (BAURMANN)

v Inhalt der Vorderkammer: $0,2 \text{ cm}^3$

Blutströmungsgeschwindigkeit in einer Kapillare: $5 \cdot 10^{-2} \text{ cm sec}^{-1}$ (MALL)

$\frac{D \cdot O}{v \cdot r}$ darf im anästhetisierten Auge als konstant angenommen werden.

Der Wert dieser Konstante, die uns einen Anhaltspunkt für die zu erwartende zeitliche Konzentrationsabnahme gibt, läßt sich überschlagsmäßig berechnen ($2,2 \cdot 10^2$). Der aus der experimentellen Geraden errechnete Wert liegt in der gleichen Größenordnung ($1,93 \cdot 10^2$).

In viel geringerem Ausmaße sind Linse und Glaskörper am Wasseraustausch beteiligt. Der Hauptanteil des Wassers wird hier durch die Strukturproteine gebunden, so daß sich ein Gleichgewicht nur langsam und unvollständig bilden kann. Sehr schön kommt dies beim degenerierten Glaskörper zum Ausdruck, dessen Wasseraufnahme ein Vielfaches der Norm beträgt.

Der toxische Einfluß von hohen D₂O-Konzentrationen auf Mesenchymzellen und Teilungsvorgänge ist von uns in einer früheren Arbeit untersucht worden³. Die dabei beobachteten Schädigungen treten erst im Verlaufe von Stunden auf, so daß ein solcher bei uns

kurzen Versuchszeiten außer Betracht fällt. Wir wissen ferner aus den Versuchsergebnissen von HEVESY und JACOBSEN¹, daß das Zellwasser erst im Verlaufe von ca. einer halben Stunde ausgetauscht wird, während die Wasserbewegung zwischen Extrazellulärraum und Kapillarsystem innerhalb weniger Sekunden erfolgt. Wir dürfen deshalb die D₂O-Konzentrationsänderungen im Kammerwasser als eine direkte Folge von Austauschprozessen zwischen Kammerwasser und Blutbahn werten.

B. CAGIANUT, H. HEUSSER und K. EICHENBERGER

Augenklinik der Universität Zürich und Organisch-chemisches Laboratorium der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich, den 10. Januar 1948.

Summary

The flowering speed in the aqueous humor of the eye of man and rabbit is the same (KINSEY, GRANT, and COGAN). The exchange of half of the aqueous humor in an anesthetized eye takes place in approximately 2.7 minutes. Under normal conditions, resistance changes in the capillary system may widely influence the water-exchange rate. The exchange between lens and vitreous humor is very small and depends upon the condition of the protein structure.

1 G. HEVESY und C. F. JACOBSEN, Acta physiol. Scand. 1, 11 (1940).

Die Massenverteilung in der markhaltigen Nervenfaser, bestimmt durch Röntgenabsorptionsmessung

Die von ENGSTRÖM^{1,2} entwickelte Absorptionsanalyse mit streng monochromatischem Röntgenlicht erlaubt die quantitative Bestimmung einzelner Atomarten in histologischen Präparaten. Ersetzt man die diskreten Linien durch ein breites, für jedes Gewebe besonders auszuwählendes Band aus dem kontinuierlichen Röntgenspektrum, so gelingt es, in einzelnen Zellstrukturen eine Massenbestimmung durchzuführen. Die von den verschiedenen Elementen hervorgerufenen Absorptions sprünge können vernachlässigt werden und die Gesamtabsorption ist der Gesamtmasse proportional³.

Material. Nach der von STÄMPFLI⁴ beschriebenen Technik werden aus dem N. ischiadicus des Frosches einzelne lebende Nervenfasern herauspräpariert und auf einer sehr dünnen Kollodiumfolie (ca. $0,3 \mu$), welche einen feinen Spalt eines metallenen Objekthalters überdeckt, in Ringer-Lösung ausgebreitet. Nach vollständiger Trocknung des Präparats im Exsikkator werden die aus der Ringer-Lösung auskristallisierten Salze mit Wasser abgewaschen. Drei unabhängige Methoden zeigen, daß sich der Faserdurchmesser beim Eintrocknen nicht ändert, was auf eine große Stabilität der Markscheide schließen läßt. Die einfache Lufttrocknung erweist sich als die schonendste Fixierung. Als konstantes Bezugssystem für die nachfolgende Photometrierung des vergrößerten Röntgenbildes wird zusammen mit dem Präparat ein Keil aus Kollodiumfolien bekannter Massenabsorption auf den Objektträger gelegt.

¹ A. ENGSTRÖM, Acta radiol. Suppl. LXIII, (Stockholm 1946).

² A. ENGSTRÖM und B. LINDSTRÖM, Exper. 3, 191 (1947).

³ A. ENGSTRÖM und B. LINDSTRÖM, im Druck.

⁴ R. STÄMPFLI, Helv. physiol. acta 4, 411 (1946).

¹ Ausgeführt von Hrn. W. MANSER in der mikroanalytischen Abteilung des org.-chem. Laboratoriums der ETH.

² M. FURTER, Helv. chim. acta 21, 1666 (1938).

³ B. CAGIANUT, Exper. 5, 48 (1949).