

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 anästhesierten 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 unsern

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 anaesthetized 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 Absorptionssprünge können vernachlässigt werden und die Gesamtabsoption 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).

Methode. Der schematische Aufbau der Röntgenapparatur ist aus Abb. 1 ersichtlich. Die ganze Anordnung befindet sich im Vakuum. Die über die Austrittsblende *B* gelegte Aluminiumfolie *Al* von 9μ Dicke schützt den Lipmann-Röntgenfilm *L* vor dem sichtbaren Licht

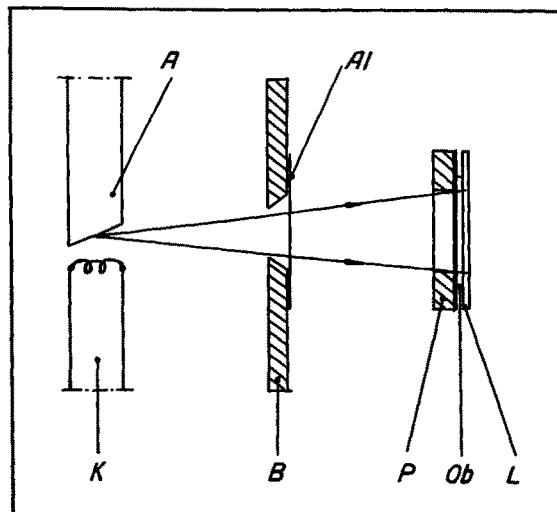


Abb. 1. Schema der Versuchsanordnung. *A* Anode, *K* Kathode der Röntgenröhre, *B* Blende mit 9μ Al-Folie, *P* Präparathalter, *Ob* Präparat, *L* Lipmann-Film.

der Kathode *K*. Die kontrastreichsten Bilder von Nervenfasern erhält man mit einer Anodenspannung von 4 kV; das entspricht einer kürzesten Grenzwellenlänge von 3,1 Å. Der Film wird mit der Schichtseite direkt auf das Präparat aufgelegt und mit einer Spannvorrichtung festgedrückt. Scharfe Bilder werden nur bei unmittelbarem Kontakt von Präparat und Film erhalten. Das extrem feine Korn des Lipmann-Films erlaubt eine mikrophotographische Nachvergrößerung des Originalbildes im Maßstab 1:200 bis 1:600.

Ergebnisse. Abb. 2 zeigt ein Röntgenbild einer internodalen Strecke (*a*), eines Ranvierschen Schnürrings (*b*) und eines Querschnittes durch einen ganzen Nervenast (*c*). Aus den Bildern ist ersichtlich, daß die Gesamtmassekonzentration in der Markscheide größer ist als im Achsenzylinder. Im Querschnitt (10 μ Dicke) ist dieser Befund noch deutlicher. Der photometrische Vergleich mit der bekannten Massenabsorption des Kolloidumkeils liefert folgende Werte:

die Markscheide enthält $0,3-0,4 \cdot 10^{-12} \text{ g}/\mu^3$,
der Achsenzylinder enthält $1/5$ bis $1/8$ dieser Masse.
Diese Zahlen beziehen sich auf das Trockengewicht der Nervenfaser.

Die gleichen Präparate wurden bei 4°C während 75 Stunden in Petroläther extrahiert. In der Markscheide mißt man danach einen Absorptionsverlust von 50%, was recht gut dem Lipoidgehalt entspricht. Im Achsenzylinder wurde kein mit Sicherheit meßbarer Absorptionsverlust festgestellt. Auffallend ist die Tatsache, daß der Verlust besonders in den zentralen Partien der Markscheide auftritt. Auch bei länger dauernder Behandlung in Petroläther gelang es nicht, die äußeren und inneren Schichten der Markscheide in gleich starker Weise zu extrahieren. Es ist heute noch verfrüht, daraus den Schluß einer ungleichmäßigen Lipoidverteilung in der Markscheide zu ziehen.

Am Ranvierschen Schnürring ist meist beidseitig, bisweilen auch nur einseitig, die Absorption in der Markscheide wesentlich höher als im Internodium. Nach tetanischer Reizung (20 Minuten mit 100 Reizen/sec)

konzentriert sich dieses stark absorbierende Gebiet vom Rande der Faser nach deren Achse hin. Die Vermutung liegt nahe, daß es sich hier um die Darstellung einer Ionenverschiebung handelt. Unter gleichen Reizbedingungen erzeugte Mikroveraschungsbilder deuten ebenfalls in diese Richtung. Ein sicherer Beweis ist nur mit der Absorptionsanalyse im monochromatischen Röntgenlicht zu erbringen.

Quermembranen im Schnürring konnten weder vor noch nach der Extraktion nachgewiesen werden. Im Internodium wechseln hellere mit dunkleren unregelmäßigen Schattierungen ab. Ihre Zuordnung zu Gebilden im Neurokeratingerüst oder zu Golgi-Trichtern ist sehr wahrscheinlich.

Obgleich die mit der beschriebenen Technik erzeugten histologischen Bilder wegen der endlichen Ausdehnung der Strahlungsquelle gegenüber dem Präparat nie die Schärfe echter optischer Abbildung haben, ist damit doch ein wesentlicher Vorteil gewonnen: die im sichtbaren Licht so störenden Beugungs- und Brechungsscheinphänomene (BECKESCHE LINIEN) besonders an den Kanten sphärischer Objekte sind vollständig beseitigt. Die Interpretation der Röntgenabsorptionsbilder ist geometrisch einfach, und es gelingt, in Strukturen von

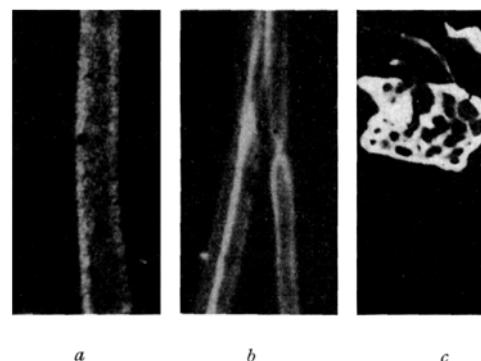


Abb. 2. Mikrophotographien von Mikroröntgenaufnahmen. *a* Internodale Strecke (630mal vergr.), *b* Ranvierscher Schnürring (250mal vergr.), *c* Querschnitt eines Nervenastes (150mal vergr.). Die für Röntgenstrahlen stark absorbierenden Bezirke sind weiß zur Darstellung gebracht.

etwas weniger als 1μ Ausdehnung quantitative Massenbestimmungen vorzunehmen. Mit monochromatischem Röntgenlicht ist zudem eine quantitative Elementaranalyse möglich. A. ENGSTRÖM und H. LÜTHY¹

Karolinska Institutet, Avdelningen för Cellforskning, Stockholm, 15. Dezember 1948.

Summary

On single nerve fibres of the frog (*n. ischiadicus*) absorption measurements with x-rays have been performed. The determinations give the following results: The myelinated fibre is to be considered as a rigid tube. The mass of the myelin sheath is about $0.3-0.4 \cdot 10^{-12} \text{ g}/\mu^3$, and that of the axon only $1/5-1/8$ of this value. The center of the myelin sheath contains about 50% lipids with one inner and one outer protein layer. No extractable lipids have been observed in the axon. The behaviour of the axon in the neighbourhood of the nodes of Ranvier has been studied after electrical stimulation. A complete description of the analytical technique and the results will soon be published.

¹ Der Studienaufenthalt in Schweden wurde durch die «Stiftung für biologisch-medizinische Stipendien» ermöglicht.