

(Aus dem physiolog. Institut der deutschen Universität in Prag.)

Untersuchungen über die directe motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae des Aal- und Froschauges.

Von

Ernst Guth.

Inhalt.

	Seite
I. Einleitung	119
II. Methodisches	122
III. Ueber die Lichterregbarkeit der Bulbi und isolirten Iriden nach Atropinbehandlung. Vergleichsversuche am Froschdarme	124
IV. Ueber die Dauer der photischen und elektrischen Erregbarkeit isolirter Iriden	130
V. Dauerversuche am Bulbus	136
VI. Lichterregbarkeit isolirter Muskelfasergruppen aus dem Sphincter pupillae. Histologisches	137
VII. Zusammenfassung	141

I. Einleitung.

Als Steinach¹⁾ seine Untersuchungen am enucleirten Bulbus von Amphibien und Fischen aufnahm, handelte es sich um die Entscheidung der Frage, ob die von mehreren Forschern schon früher untersuchte Pupillarreaction des ausgeschnittenen Aal- und Froschauges von der Netzhaut ausgeht, also auf einem intraoculären Reflexe beruht, oder ob das Licht eine directe Wirkung auf die Iris ausübt²⁾. Die Beobachtungen Steinach's, dass die Pupillenverengung auch dann eintrat, wenn man vorher die Retina vollkommen versengt hatte, dass sie sich ferner auch an Versuchsobjecten zeigte, welche nur aus dem Pupillartheil der Iris bestanden, brachten eine Entscheidung der

1) E. Steinach, Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. Zweite Mittheilung: Ueber die directe motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae bei Amphibien und Fischen und über die denselben aufbauenden pigmentirten glatten Muskelfasern. Dieses Archiv Bd. 52 S. 495. (1892.)

2) Die früheren Untersuchungen, sowie die diesbezügliche Literatur sind bei Steinach citirt.

erwähnten Streitfrage in der Richtung, dass die durch Lichtreiz auslösbare Pupillenverengerung extirpirter Augen bei Amphibien und Fischen von nervösen Verbindungen mit der Retina unabhängig sei.

Diese Schlussfolgerung und der weitere Befund, dass eine Pupillenverengerung prompt erfolgt, wenn die Spitze eines Lichtkegels auf irgend eine Stelle des Pupillarrandes fällt, dagegen ausbleibt, wenn die äussere Iriszone (Ciliartheil) getroffen wird, veranlassten Steinach zu einer genauen histologischen Untersuchung der Iris. Dieselbe lieferte als Hauptergebniss eine genaue Kenntniss der Structur des Sphincter iridis verschiedener Amphibien und Fische. Derselbe besteht aus zwei bis drei Lagen spindelförmiger Zellen mit grossen, stäbchenförmigen Kernen. Diese Zellen sind stark pigmentirt, d. h. mit Pigmentkörnchen von annähernd gleicher Form und Grösse erfüllt, welche ihrerseits, entsprechend der fibrillären Structur der Elemente, in Reihen angeordnet sind. Die so entstehenden punktirten braunen Linien wechseln mit hellen Streifen, den Fibrillen, ab. Durch alle ihre Merkmale erscheinen diese Formelemente als glatte bezw. „längsgestreifte“ Muskelfasern charakterisirt.

Besonders bemerkenswerth ist, dass sich die pigmentirten Muskelfasern gerade nur in dem durch Licht erregbaren Sphincter der untersuchten Augen finden, während die übrigen Muskelemente (Ciliarmuskel) pigmentfrei sind.

Alles dies spricht wohl klar für eine directe Lichtwirkung auf die Iris. Da man aber auch an einen innerhalb der Iris selbst verlaufenden Reflex hätte denken können, sollten eventuell vorhandene nervöse Apparate ausgeschaltet werden. Zu diesem Zwecke bediente sich Steinach des Atropins¹⁾ und fand, dass auch am ausgeschnittenen, atropinisirten Bulbus nach Eintritt vollständiger Mydriase noch die Lichtreaction wahrnehmbar ist. Diesen Befund deutete er dahin, dass durch die Einwirkung des Atropins, welches eventuell vorhandene nervöse Apparate ausgeschaltet hätte, die Lichterregbarkeit der Iris nicht beeinträchtigt wird.

Hier sei erwähnt, dass Th. Beer²⁾ später eine Reihe von

1) Auf diese Atropinversuche, welche auch auf die isolirte Iris ausgedehnt wurden, komme ich später ausführlich zurück.

2) Th. Beer, dieses Archiv Bd. 58. 1894. Die Accomodation des Fisch-
auges. XIII. Ueber die Wirkung des Atropins auf die Pupille des Fisch-
auges.

Fischen, insbesondere Lophius und Seezungen, in Bezug auf die Lichtreaction nach Atropinisirung untersuchte und bei denselben ein analoges Verhalten fand.

Durch die Zusammenfassung der histologischen und physiologischen Befunde schloss Steinach auf eine directe motorische Wirkung des Lichtes auf die pigmentirten Muskelfasern des Sphincters. Anhangsweise unternahm er dann noch eine Untersuchung der erregenden Wirkung von Lichtern verschiedener Wellenlänge und fand eine grössere Wirksamkeit der stärker brechbaren Strahlen des Spectrums.

Hier setzt die von Magnus¹⁾ vorgenommene Nachuntersuchung ein. Die aus der verschiedenen Wirkungsintensität spectraler Lichter construirte Curve, welche Magnus auf Grund sorgfältiger und in technischer Hinsicht vollkommener Untersuchungen erhielt, weicht von der von Steinach angedeuteten in folgenden Punkten ab: Magnus' Curve hebt unmittelbar nach dem ersten Viertel der Distanz der Fraunhofer'schen Linien *C* und *D* an, die von Steinach in der Hälfte dieses Abstandes; in gleicher Weise fallen auch Gipfelpunkt und Abstieg der Magnus'schen Curve vor die entsprechenden Punkte der Steinach'schen. Beide aber bezeichnen als den am meisten wirksamen Theil des Spectrums die grünen Strahlen.

Ein grösseres Interesse beansprucht die von Magnus gefundene Curve durch die hier zu Tage tretende Uebereinstimmung derselben mit der Absorptionscurve des Sehpurpurs des Aales. Dieser Befund wäre geeignet, die eingangs erwähnte Frage wieder aufzurollen und an eine Betheiligung des Sehpurpurs beim Zustandekommen der Pupillarreaction auf Belichtung glauben zu machen.

Magnus dachte auch — vielleicht vom obigen Befunde beeinflusst — einen Augenblick an eine Mitwirkung des Sehpurpurs der Retina, als er in den zu seinen Versuchen benutzten Irispräparaten Retinareste fand (S. 591), musste aber selbst eine Antheilnahme dieser Elemente an der Reaction in Abrede stellen, da letztere auch an Irispräparaten auftrat, welche vollkommen frei von allen Retinalelementen waren.

1) Dr. R. Magnus, Assistent am pharmakologischen Institut in Heidelberg, Beiträge zur Pupillarreaction des Aal- und Fischauges. Zeitschr. f. Biologie Bd. 38 S. 567.

So musste Magnus Schritt für Schritt auf Grund seiner eigenen Untersuchungen die von Steinach ausgesprochene Ansicht bestätigen, es handle sich bei der Pupillarreaction am herausgeschnittenen Aal- und Froschauge um Vorgänge, welche sich ausschliesslich in der Iris abspielen.

Aber die Frage nach der Art dieser Vorgänge, ob die von Steinach angenommene directe Lichterregbarkeit der pigmentirten Muskelfasern des Sphincter iridis die Reaction bedinge, oder ob es sich um einen innerhalb der Iris sich abspielenden Reflex handle, will Magnus auf Grund später zu erörternder Atropinversuche in letzterem Sinne lösen.

Durch seine Curve glaubt er beweisen zu können, dass dem Muskelpigmente die Fähigkeit, beim Zustandekommen der Pupillarreaction dem Lichte als Angriffspunkt zu dienen, nicht zukomme. Diese Negirung ist vor Allem darin begründet, dass Magnus die von Steinach gebrauchte Bezeichnung des Muskelpigmentes als „bräunlich“ und „gelbbraun“ nicht als eine Charakteristik des Eindruckes ansieht, welchen man bei Betrachtung der pigmentirten Muskelfasern unter dem Mikroskope erhält, sondern als stricte Bezeichnung der Eigenfarbe des Pigmentes.

Daraus folgen dann die verschiedenen Ueberlegungen, wie die einem „gelben“ Pigmente entsprechende Absorptionscurve beschaffen sein müsste, mit dem Schlusse, die erwähnte Curve der Lichtwirkung spreche gegen die Annahme, dass das gelbbraune Muskelpigment den Reiz vermittele. In keiner Weise aber schliesst Magnus die von Steinach angenommene Möglichkeit aus, dass das körnige Pigment der Sphinctermuskeln durch das Licht in irgend einer nicht näher bekannten Art verändert oder beeinflusst wird, und dass der hierdurch entstehende Vorgang die muskuläre Substanz der Sphincterfasern in Erregung versetzt. Andererseits zwingen die bereits erörterten Befunde Steinach's histologischer und physiologischer Art, sowie die nun zu beschreibenden Untersuchungen unabweislich zur Annahme einer nicht reflectorischen, directen Wirkung des Lichtes auf die pigmentirten Fasern des Sphincter pupillae der oben genannten Wirbelthiere.

II. Methodisches.

Ehe ich die Erörterung der Untersuchungen Magnus' fortsetze, will ich kurz die Versuchsbedingungen skizziren, unter welchen

ich meine Experimente ausgeführt habe, weil sich ein Theil derselben an die von Magnus vorgenommenen anschliesst bezw. dieselben modificirt.

Die Versuchsthiere (*Rana esculenta*, *Rana temporaria* und Aale) wurden stets eine Zeit lang in kühlen, dunklen Reservoirs gehalten. Das Irispräparat wurde in der von Magnus näher beschriebenen Weise hergestellt, die Cornea in den meisten Fällen entfernt. Zu den Versuchen wurden nur solche Objecte verwendet, welche sich, auf den Flüssigkeitstropfen gebracht, glatt ausbreiteten und keine Verzerrung der Pupillarperipherie aufwiesen.

Bei lange dauernden Versuchen wurde die Kochsalz- bezw. Atropinlösung oft durch Filtrirpapier aufgesaugt und durch frische ersetzt, um eine Vermehrung der Concentration zu vermeiden. Kurz vor der Reizung mit dem elektrischen Strome wurde die Flüssigkeitsmenge stets derart vermindert, dass sie eben hinreichte, um das Präparat vor Austrocknung zu schützen und so reactionsfähig zu erhalten. Die Herabsetzung der Flüssigkeitsmenge schien mir auch angezeigt, um während der Reizung die Stromdichte im Präparate günstig zu gestalten.

Die Beobachtung der Reaction an der isolirten Iris wurde mit Hülfe des Mikroskopes und stets direct vorgenommen. Die von Magnus angewandte Methode der photographischen Momentaufnahme hat allerdings den Vorzug, dass sie eine genauere Messung der Excursionsgrösse ermöglicht, verschiedene Einzelheiten erkennen lässt, kurz, die Vortheile einer graphischen Methode darbietet. Doch sind andererseits Fehlerquellen nicht ausgeschlossen, welche bei der directen Beobachtung ausser Betracht kommen. So kann z. B. eine Verschiebung des Präparates oder der Camera während der Aufnahme eine Contraction vortäuschen, zumal bei der geringen Schärfe des Bildes bei einer Momentaufnahme. Da es mir aber nicht um Feststellung von Details zu thun war, sondern nur um die Constatirung, ob ein bestimmter Reiz eine Contraction auslöst oder nicht, begnügte ich mich mit der directen Beobachtung, welche mir den unbestreitbaren Vortheil bot, dass eine Verwechslung anderweitig veranlasster Bewegungen des Präparates mit der Contraction des Pupillarrandes oder einzelner Theile desselben ausgeschlossen war.

Die Beobachtungen wurden meist bei schwacher Vergrösserung (Hartnack, Ocular 3, Objectiv 1 und 2) gemacht. Die Verdunkelung wurde in der Weise vorgenommen, dass in die für den Blenden-

cylinder bestimmte Hülse¹⁾ ein schwarz überzogener Korkstöpsel eingeschoben wurde. Die in einem Schlitten an der Unterseite des Objecttisches in horizontaler Richtung leicht verschiebbare Platte gestattete eine für meine Zwecke genügend schnelle Hantirung, wenn das Licht von unten her Zutritt erhalten sollte. Zwischen Objectträger und Objectivlinse lag ein das Präparat gegen auffallendes Licht schützender schwarzer Schachteldeckel, der sich in dem Augenblicke, wo die Beobachtung stattfinden sollte, schnell und bequem abheben liess. In den Versuchspausen war das ganze Mikroskop durch ein dichtes schwarzes Tuch in mehrfacher Lage verhüllt.

Als Lichtquelle diente Tageslicht oder Auerlicht, dessen Strahlen meist durch eine Convexlinse concentrirt wurden.

Zur Prüfung mit dem elektrischen Strome wurden Reizobjectträger verwendet, in deren Mitte eine kreisförmige Vertiefung eingeschliffen war; in dieser verjüngten sich die aufgeklebten Stanniolstreifen zu Elektrodenspitzen. Der Abstand der letzteren wurde beiläufig so gewählt, dass sie den Rand des Irispräparates berühren konnten. Die secundäre Spirale des benutzten Inductoriums hatte 5000 Windungen; die primäre war mit zwei Leclanché-Elementen armirt.

III. Ueber die Lichterregbarkeit der Bulbi und isolirten Iriden nach Atropinbehandlung. Vergleichsversuche am Froschdarme.

Die weiteren Untersuchungen Magnus' schliessen sich an Steinach's Experimente an und ergaben (S. 586) „in der Hauptsache eine Bestätigung der Angaben von Steinach“. Dennoch gelangt Jener zu principiell verschiedenen Schlüssen.

Eine Nachprüfung des bereits geschilderten Atropinversuches von Steinach ergab nämlich, dass nach Ablauf einiger Zeit bei dem mit Atropin behandelten Bulbus einer Temporaria die Lichtreaction aufhört, während der andere, in physiologischer Kochsalzlösung befindliche Bulbus noch weiterhin die Pupillarbewegung auf Belichtung zeigt. Immerhin aber erlosch in dem von Magnus an-

1) Eine genaue Beschreibung und Abbildung der hier genannten Mikroskoptheile findet sich in Behrens-Kossel-Schiefferdecker, Das Mikroskop. 1889 S. 39.

geführten Versuche die Lichtreaction erst vier Stunden, nachdem der Bulbus in die Atropinlösung gebracht worden war. Magnus hält es daher „auf diese Versuche hin“ nur für „sehr wahrscheinlich, dass nach Eintritt voller Atropinwirkung die Reactionsfähigkeit der Iris auf Licht erlischt“.

Wann aber äussert sich diese „volle Atropinwirkung“? Ich modificirte diese Versuche von Steinach und Magnus dahin, dass ich nicht nur das vordere Segment der Bulbi, wie Jene es thaten, mit der Atropinlösung (2 %) in Berührung brachte, sondern die Glasschalen so mit Flüssigkeit füllte, dass dieselbe die Bulbi vollständig bedeckte. Die Schalen brachte ich dann sammt dem Inhalte in schwarze Schachteln, um die Erregbarkeit der Bulbi für das Licht nicht dauernd herabzusetzen. So konnte ich durch Belichtung mit concentrirtem Auerlichte regelmässig noch sechs bis sieben Stunden Pupillarreactionen auslösen. Ein Bulbus zeigte sie sogar nach 24stündigem Verweilen in 1 %iger Atropinlösung (Vers. P.-N. 69).

Dieses Versuchsergebniss macht es nicht sehr wahrscheinlich, dass die Atropinisirung, wie es Magnus als regelmässiges Verhalten angibt, sehr schnell eintretende Aufhebung der Lichterregbarkeit zur Folge hat.

Die in einem späteren Abschnitte nachgewiesene Wirkung des Atropins auf die Muskeln macht es verständlich, dass die Reactionsfähigkeit für Licht in der Atropinlösung früher erlischt, als wenn die Präparate unter möglichst günstigen Verhältnissen in physiologischer Kochsalzlösung verwahrt werden. Der eben erwähnte Versuch am Bulbus und die folgenden Beobachtungen aber lehren, dass die atropinisirte Iris sowohl in ihrer natürlichen Lage als auch im isolirten Zustande, wo sie der Giftwirkung weitaus leichter zugänglich ist, Lichtreaction zeigt, und zwar oft noch zu einer Zeit, wo das Atropin seine functionszerstörende Wirkung auf eventuell vorhandene nervöse Elemente gewiss schon ausgeübt haben müsste.

Zu diesen Versuchen bedarf es vor Allem eines guten Materiales; die von Magnus in Photogrammen reproducirten Präparate zeigen eigenthümliche Verzerrungen der Pupillarperipherie. Iriden, welche Derartiges zeigten, habe ich als ungünstige Versuchsobjecte von vornherein ausgeschieden.

Vortheilhaft ist es auch, als Lösungsmittel für das Atropin, wie es auch Magnus that, nicht destillirtes Wasser, sondern physiologische Kochsalzlösung („Kochsalzatropin“) zu benutzen. Doch auch

bei Verwendung der ersteren Lösung zeigt sich ein Andauern der Lichterregbarkeit durch längere Zeit nach der Atropinisierung. Dieses Verhalten erachte ich für so wesentlich, dass es mir gerechtfertigt erscheint, hier die Aufzeichnungen über mehrere Versuche folgen zu lassen.

Versuch. (Protokoll-Nr. 61.)

Iris einer Temporaria ohne vorheriges Abspülen mit physiologischer Kochsalzlösung in einem Tropfen 2%iger Atropinlösung auf den Reizobjectträger gebracht.

5^h 45' bis 6^h dunkel gehalten. Unmittelbar nach jedem folgenden Lichtreizversuch wurden das Präparat und das Mikroskop in oben beschriebener Weise verdunkelt, was in den folgenden Protokollen mit „Dunkel“ bezeichnet ist.

6^h Belichtung mit concentrirtem Auerlicht: prompte, sehr starke Verengerung der Pupille.

6^h 15' Belichtung mit concentrirtem Auerlicht: prompte, sehr starke Verengerung der Pupille.

6^h 30' Belichtung mit concentrirtem Auerlicht: deutliche Contraction.

6^h 45' Belichtung mit concentrirtem Auerlicht: schwächere Contraction.

7^h Belichtung mit concentrirtem Auerlicht: keine Contraction.

7^h 1' elektrische Reizung. R.-A. ♂ ohne Erfolg.

Versuch. (P.-Nr. 100.)

Temporarieniris 10^h 28' präparirt und sofort in ein Uhrsälchen mit 2%iger Kochsalz-Atropinlösung gebracht und in dieser abgespült; dann in der gleichen Lösung auf dem Reizobjectträger geprüft.

10^h 30' elektrische Reizung. R.-A. 6. Keine Contraction. R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

10^h 45' concentrirtes Auerlicht. Contraction.

10^h 46' elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction¹⁾. Dunkel — Zusatz 2% Atropin.

10^h 55' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

11^h 5' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

11^h 15' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. Contraction. Dunkel.

11^h 25' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction.

1) Aus diesem sowie aus einigen der folgenden Protokolle ist zu ersehen, dass ich oft eine Minute nach Ablauf der Lichtreaction elektrisch gereizt habe, zu einer Zeit also, wo der Sphincter eben in Dilatation übergang. Es handelte sich eben nur darum, den Erfolg beider Reize kurz nach einander zu prüfen. Desshalb verzichtete ich darauf, bei der nachfolgenden elektrischen Reizung die vollständige Dilatation abzuwarten.

- 11^h 26' elektrische Reizung. R.-A. 3. Keine Contraction.
 11^h 27' elektrische Reizung. R.-A. 0. Keine Contraction.
 11^h 28' elektrische Reizung. R.-A. 0. Keine Contraction.
 11^h 31' elektrische Reizung. R.-A. 0. Keine Contraction.

Versuch. (P.-N. 126.)

Aaliris sofort nach der Präparation in 1,5%iger Kochsalz-Atropinlösung eine Minute lang abgespült, dann auf dem Reizobjectträger ausgebreitet.

- 4^h 26' elektrische Reizung. R.-A. 5. Contraction. Dunkel.
 4^h 35' Tageslicht (Sonne). Sehr starke Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Sehr starke Contraction. Dasselbe alle 15 Minuten mit gleichen Erfolge wiederholt.
 5^h 45' Tageslicht (schwächer als vorher). Schwächere Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Contraction. Dunkel.
 6^h Tageslicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5 bis 0. Keine Contraction.

In dem in gleicher Weise an einer anderen Aaliris ausgeführten Versuche (P.-N. 131) zeigte sich Lichtreaction von 3^h 27' (erste Prüfung) bis 7^h (elektrische Reizung. R.-A. 8 bis 6), worauf das Präparat, in physiologische Kochsalzlösung gebracht, noch bis 9^h gleichmässig lichterregbar blieb.

In den beschriebenen Versuchen erlosch also die Lichterregbarkeit der isolirten Froschiris bei Behandlung mit 2%iger Atropinlösung in einer Stunde, die der Aaliris erst nach drei Stunden.

Es erschien nun des Vergleiches wegen wichtig, die Wirkung des Atropins auf andere aus glatter Muskulatur bestehende Organe zu untersuchen, in welchen erwiesenermaassen die Ausbreitung der Erregung auf dem Wege peripherer Reflexbahnen vermittelt wird. Als ein solches Organ erweist sich der Darmtractus des Frosches, in dessen muskulösen Wandungen sich zahlreiche, in letzter Zeit von P. Schultz¹⁾ genauer beschriebene Nervenzellen eingestreut finden. Diese nervösen Elemente sind es, welche bei localer Reizung eine Fortpflanzung der Erregung im peristaltischen und antiperistaltischen Sinne auf reflectorischem Wege ermöglichen.

Die vielbesprochenen Versuche Engelmann's²⁾ an nervenzellenfreien Stücken des Ureters lehrten allerdings, dass peristaltische

1) P. Schultz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1895 S. 517. Die glatte Muskulatur der Wirbelthiere. I. Ihr Bau.

2) W. Engelmann, Pflüger's Archiv Bd. 2. 1869. Zur Physiologie des Ureter.

Bewegungen ohne Betheiligung nervöser Reflexbahnen zu Stande kommen können. Man darf jedoch dieses Verhalten nicht als allgemein gültig für jede Art peristaltischer Bewegungen ansehen. Das geht unter Anderem aus Untersuchungen von P. Schultz¹⁾ hervor, welcher nachwies, dass sowohl die „spontanen rhythmischen Contractionen“ des Darmes als auch die peristaltischen Bewegungen desselben als Reflexphänomen aufzufassen seien. Den Beweis für seine Ansicht erbrachte er dadurch, dass er die nervösen Einflüsse durch Atropin ausschaltete, ohne dass die Erregbarkeit der glatten Muskulatur Einbusse erlitten hätte. Doch geht er, wie wir sehen werden, etwas zu weit, wenn er eine Wirkung des Atropins auf die Muskelfasern selbst vollkommen in Abrede stellt²⁾.

Zu meinen Versuchen bediente ich mich im Kühlen gehaltener Frösche, meist Esculenten. Dem frisch getödteten Thiere wurde der ganze Darmtractus vom Oesophagus bis zum Rectum entnommen und nach Entfernung der Anhänge und des Mesenteriums mit physiologischer Kochsalzlösung durchgespült, um die im Inneren befindlichen, leicht faulenden Massen zu entfernen. Dieses Präparat zeigte, auf einer Glasscheibe ausgebreitet, reichliche Einschnürungen, besonders im Bereiche des Magens und Dünndarmes, als Ausdruck des an diesen Stellen stärker auftretenden reflectorischen Tonus.

Die Reizung mit dem elektrischen Strome wurde in verschiedener Weise vorgenommen. Wenn die Elektroden so angelegt werden, dass der Strom parallel zur Darmachse verläuft, entsteht eine Perlkugel, indem sich an den beiden Stellen, wo die Elektrodenspitzen anliegen, die Darmwand einschnürt. Von dieser Stelle aus schreitet aber die Bildung von Perlkugeln ein Stück nach aufwärts und nach abwärts weiter, auch nach Entfernung der Elektroden, so dass der Darm alsbald ein rosenkranzartiges Aussehen erhält. Mitunter kann man auch ausgebreitete peristaltische Erscheinungen deutlich wahrnehmen.

Setzt man aber die Elektroden so an, dass der Strom in der Richtung des Darmquerschnittes verläuft, so sieht man eine nach beiden Richtungen fortschreitende cylindrische Einschnürung.

Verwahrt man ein derartiges Präparat bei einer Temperatur von

1) P. Schultz, Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1897. Zur Physiologie der längsgestreiften (glatten) Muskulatur. Dritter Beitrag S. 326 ff. — Vergl. ferner das Schema der peripheren Reflexcentra im Darmtract von Dogiel-Sakusseff (Renaut, Traité d'histologie pratique 1899 p. 963).

2) Derselbe, Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1897 S. 313.

ca. 10° C. in der feuchten Kammer, so kann man diese Erscheinungen, wenn auch in vermindertem Maasse, noch zwei bis vier Tage nach der Exstirpation beobachten, wenn das Darmrohr genügend feucht gehalten und oft mit physiologischer Kochsalzlösung gereinigt wird.

Legt man aber einen solchen Darm in 2%ige Kochsalz-Atropinlösung, so ist nach 25–30 Minuten von diesen peristaltischen Bewegungen nichts mehr wahrnehmbar. Bei elektrischer Reizung zeigt sich eine lediglich auf die Reizstelle beschränkte ringförmige Einschnürung, — das gleiche Verhalten, welches an den in der feuchten Kammer befindlichen Präparaten, wie oben erwähnt, erst nach ca. drei Tagen auftritt. Der Darm stellt sich dann als ein glattes Rohr dar, und das Aufhören des Tonus äussert sich auch in Zunahme der Länge des Darmschlauches.

Hier ist nun thatsächlich eine Trennung zweier Erscheinungen experimentell bewerkstelligt worden. Die Reflexerregbarkeit und mit ihr der Tonus und die Fähigkeit zu peristaltischer Bewegung des ausgeschnittenen Darmrohres wurden in einem Falle durch die Atropinbehandlung, im anderen Falle einfach durch das langsame Absterben (Anämisirung) aufgehoben. Die directe Erregbarkeit der Muskulatur aber überdauerte jene in beiden Fällen lange Zeit. Es sind nämlich bei Reizung mit dem Inductionsstrome locale Einschnürungen an dem in der Atropinlösung liegenden Darms 24–30 Stunden, an dem in der feuchten Kammer gehaltenen, unvergifteten Präparate noch 10–12 Tage nach der Exstirpation zu beobachten.

Sigmund Mayer¹⁾ wies auf die grosse Ueberlebensfähigkeit der glatten Muskulatur als auf eine längst bekannte Thatsache hin, und alle späteren Autoren, welche sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, heben diese Erscheinung stets von Neuem hervor. Man muss es also der vergiftenden Wirkung des Atropins auf die glatten Muskelfasern selbst zuschreiben, wenn diese nach Behandlung mit Atropinlösung wesentlich früher ihre Reactionsfähigkeit verlieren.

Eine Lähmung der glatten Muskeln durch Atropin vertrat auch Jessop²⁾, und die oben erwähnten Versuche geben ein neues Argu-

1) Sigmund Mayer in Hermann's Handb. d. Physiologie Bd. 5 S. 474.

2) Jessop, Bericht des VII. internationalen Ophthalmologencongresses Heidelberg S. 188 (Ref. in Nagel's Jahrber. 1887).

ment für diese Ansicht. Wenn also Schultz¹⁾ behauptet, dass das Atropin „sogar in stärkster Lösung die Muskeln selbst nicht angreift“, so kann diese Angabe in Bezug auf die von ihm untersuchten Organe (Darmmuskulatur) nur für die erste Zeit der Giftwirkung Gültigkeit beanspruchen.

Obige Vergleichsversuche ergeben also:

1. dass sich am Froschdarm Reflexvorgänge von der den glatten Muskeln eigenen Irritabilität trennen lassen, insofern, als nach Ausschaltung der reflexvermittelnden nervösen Apparate durch Atropin oder Anämisirung die glatte Muskulatur noch lange Zeit hindurch erregbar bleibt;

2. dass die Atropinbehandlung die Function der intramuskulären Reflexapparate in 25—30 Minuten aufhebt;

3. dass in einem späteren Stadium Atropin auch die directe Erregbarkeit der glatten Muskulatur vernichtet.

Vergleicht man den sehr raschen Eintritt der (als zweiten Punkt angeführten) Atropinwirkung an dem dickwandigen, von straffem Bindegewebe umhüllten Darmrohre mit der Zeit, über welche atropinisirte Iriden, in ihrer natürlichen Lage sowohl als auch in isolirtem Zustande, ihre Contractionsfähigkeit auf Belichtung erhalten können (siehe Vers. S. 126 und 127), so erscheint es schon hiernach nahezu ausgeschlossen, die Wirkung des Lichtes auf die ausgeschnittene Aal- und Froschiris als einen peripheren Reflexvorgang anzusprechen.

IV. Ueber die Dauer der photischen und elektrischen Erregbarkeit isolirter Iriden.

Magnus versucht aber seine Ansicht, die Lichtreaction der Iris beruhe auf einem Reflexvorgange, durch einen weiteren Versuch zu stützen. Er fand, dass die isolirte Iris nach Behandlung mit 1—2 %iger Atropinlösung in kurzer Zeit nicht mehr auf Belichtung reagire, wogegen der faradische Strom noch Contraction bewirke. In diesem Versuche gipfelt Magnus' Beweisführung, die Lichterregbarkeit der ausgeschnittenen Aal- und Froschiris auf einen Reflex zurückzuführen; er deutet den Versuch dahin, dass sich nach Lähmung der nervösen Apparate

1) I. c. S. 313 u. Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1898. Ueber die Wirkungsweise der Mydriatica u. Myotica S. 53. Atropin.

der der Lichtwirkung zu Grunde liegende Reflex nicht mehr abspielen könne, während der elektrische Strom immer noch im Stande sei, die Muskeln direct zur Contraction zu bringen.

Aus den im letzten Abschnitte angeführten Experimenten geht hervor, dass die Lichterregbarkeit der isolirten Iris nach Atropinisirung in vielen Fällen noch zu einer Zeit besteht, wo das Gift seine reflexaufhebende Wirkung lange geäussert haben müsste. Der positive Ausfall dieser Versuche entzieht einer Reihe anderer Beispiele, in welchen die Lichterregbarkeit nach Atropinbehandlung sehr frühzeitig erlischt (siehe folg. Protokoll), jede Beweiskraft im Sinne der Auffassung Magnus'.

Versuch. (P.-N. 92.)

Temporarieniris, sofort nach der im Halbdunkel vorgenommenen Präparation ohne Zusatz irgendwelcher Flüssigkeit auf den Reizobjectträger gebracht und kurze Zeit dunkel gehalten.

6^h 39' concentrirtes Auerlicht. Starke Contraction.

6^h 40' elektrische Reizung. R.-A. 8. Starke Contraction.

6^h 41' 1% Atropin.

6^h 43' Elektrische Reizung. R.-A. 8. Contraction.

6^h 44' elektrische Reizung. R.-A. 8. Contraction. Dunkel.

6^h 59' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction.

7^h elektrische Reizung. R.-A. 8. Keine Contraction.

In Bezug auf das hier zu besprechende Verhältniss der Dauer der Lichterregbarkeit zu der der Reizbarkeit durch faradische Ströme zeigen sowohl die dem vorigen Abschnitte beigegebenen Versuchstabellen als auch das obige Protokoll ein gleichmässiges Abklingen der Erregbarkeit für Reize beider Art. Dieses Verhalten möchte ich als das regelmässige hinstellen, weil ich es in der weitaus grössten Zahl der angestellten Versuche beobachtet habe.

In der Minderzahl befinden sich die Fälle, wo ein Ueberdauern der elektrischen Reizbarkeit gegen die Erregbarkeit für Lichtreize statthat. Ich führe hier einen Versuch an, dessen Ablauf dem von Magnus als Beispiel für dieses Verhalten mitgetheilten gleich ist. Doch habe ich die Beobachtung weiter fortgesetzt und fand nach kurzer Zeit auch den elektrischen Strom vollkommen wirkungslos.

Versuch. (P.-N. 106.)

Temporarieniris, sofort nach der Präparation eine Minute lang in 1%iger Kochsalz-Atropinlösung abgespült, dann in einem Tropfen derselben auf den Reizobjectträger gebracht.

5^h 25' bis 5^h 35' Dunkel.

5^h 35' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 0.
Contraction. Dunkel.

5^h 50' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 0.
Keine Contraction.

Diese verschiedenen Ergebnisse veranlassten mich, die Erregbarkeitsdauer für photische und elektrische Reizung an nicht atropinisirten, in physiologischer Kochsalzlösung verwahrten Iriden zu untersuchen; ich fand hier ein analoges verschiedenes Verhalten. Die Versuche wurden derart an- gestellt, dass entweder abwechselnd Licht und der elektrische Strom als Reiz verwendet wurden, oder dass ich zunächst nur Belichtung als Reiz wirken liess und erst, wenn die Contraktionen schwächer wurden, auch die Wirkung des elektrischen Stromes prüfte. In den Versuchspausen befanden sich die Präparate sammt den Object- trägern in einer feuchten Kammer, deren Glasglocke mit schwarzem Papier überzogen war. Auf diese Weise wurde die Handhabung bei länger dauernden Versuchen sehr erleichtert, und die Objecte waren nicht nur vor einem allzu häufigen Wechsel der äusseren Verhältnisse geschützt, sondern auch in Folge des dauernden Aufenthaltes im Dunkel stets im Zustande grösstmöglicher Lichterregbarkeit.

Als Resultat solcher Versuche findet man auch hier in den meisten Fällen gleichzeitiges Erlöschen der photischen und elektrischen Erregbarkeit.

Versuch. (P.-N. 124.)

Temporarieniris, in physiologischer Kochsalzlösung auf dem Reizobject- träger in der dunklen, feuchten Kammer verwahrt. Von 10^h Vorm. bis 5^h Nachm. stündliche Prüfung der Lichtreaction mit Tageslicht ergibt stets Contraction, von da an constant unter dem Mikroskope.

5^h 30' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 6.
Contraction. Dunkel.

6^h concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 6.
Contraction. Dunkel.

6^h 15' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5.
Contraction. Dunkel.

6^h 30' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5.
Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 4. Contraction. Dunkel.

6^h 45' concentrirtes Auerlicht. Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 4.
Contraction. Dunkel.

7^h concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 4
bis 0. Keine Contraction.

7^h 15' elektrische Reizung. R.-A. 0. Keine Contraction.

Versuch. (P.-N. 127.)

Aaliris, dessen Lichterregbarkeit an dem Tags vorher enucleirten Bulbus wiederholt geprüft worden war, 2^h Morgens präparirt, gibt, mit concentrirtem Auerlichte und mit dem elektrischen Stromè bei R.-A. 8 gereizt, prompte, starke Contraction.

Das Präparat wird dann sammt dem Objectträger in der dunklen, feuchten Kammer im Kühlen aufbewahrt und von

7^h bis 10^h Vorm. stündlich gereizt. Tageslicht. Faradische Ströme, R.-A. 8. Stets energische Contraction.

10^h bis 3^h Nachm. stündlich gereizt. Tageslicht. Elektrische Reizung. R.-A. 7. Derselbe Erfolg.

3^h bis 6^h 30' Nachm. halbstündlich gereizt. Tageslicht. Elektrische Reizung. R.-A. 6. Stets starke, zum Schlusse etwas schwächere Contraction.
Von nun an unter dem Mikroskope dunkel gehalten:

7^h concentrirtes Auerlicht. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Deutliche Contraction.

7^h 15' concentrirtes Auerlicht. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Deutliche Contraction.

7^h 30' concentrirtes Auerlicht. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Deutliche Contraction.

7^h 45' concentrirtes Auerlicht. Elektrische Reizung. R.-A. 4. Deutliche Contraction.

8^h concentrirtes Auerlicht. Schwache Contraction.

8^h 05' elektrische Reizung. R.-A. 3. Schwache Contraction.

8^h 15' elektrische Reizung. R.-A. 3—0. Keine Contraction.

8^h 20' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction.

Auch bei diesen Versuchsreihen liess sich in einer geringen Anzahl von Fällen ein kurzes Ueberdauern der elektrischen Reizwirkung beobachten, wie folgende Beispiele lehren.

Versuch. (P.-N. 86.)

Iris einer Temporaria, welche lange Zeit dem Lichte ausgesetzt war, auf dem Reizobjectträger unter das Mikroskop gebracht.

4^h 34' elektrische Reizung. R.-A. 8 bis 4. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction.

Bis 4^h 50' bleibt das Präparat belichtet. Dann dunkel.

5^h schwaches Tageslicht. Keine Contraction.

5^h 1' elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

5^h 15' concentrirtes Auerlicht. Contraction.

5^h 16' elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

5^h 25' concentrirtes Auerlicht. Schwache Contraction.

5^h 26' elektrische Reizung. R.-A. 3. Contraction. Dunkel.

5^h 45' concentrirtes Auerlicht. Keine Contraction.

5^h 46' elektrische Reizung. R.-A. 0. Contraction.

5^h 55' elektrische Reizung. R.-A. 0. Contraction.

6^h 5' elektrische Reizung. R.-A. 0. Keine Contraction.

Versuch. (P.-N. 132.)

Aaliris, durch 40 Stunden in dunkler, feuchter Kammer aufbewahrt, zeigt, wiederholt mit Tageslicht oder concentrirtem Auerlicht und mit faradischen Strömen R.-A. 9 und 8 geprüft, prompte Reaction. Die letzten durch Belichtung bei trübem Tageslichte erhaltenen Contractionen werden schwächer, das Präparat bleibt im Folgenden unter dem Mikroskop.

Von 9^h bis 12^h Vorm. sind die bei Belichtung auftretenden Contractionen schwächer als die durch elektrische Reizung (R.-A. 7) erzielten.

12^h 15' helles Tageslicht. Langsame Bewegung des Pupillarrandes. Elektrische Reizung. R.-A. 6. Deutliche Contraction. Dunkel.

12^h 30' ebenso.

12^h 45' helles Tageslicht. Kaum bemerkbare Bewegung. Elektrische Reizung. R.-A. 6. Deutliche Contraction. Dunkel.

1^h helles Tageslicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5. Schwache Contraction. Dunkel.

1^h 15' helles Tageslicht. Keine Contraction. Elektrische Reizung. R.-A. 5—0. Keine Contraction.

Man sieht also, dass auch an der nicht atropinisirten Iris die elektrische Erregbarkeit sich länger erhalten kann als die Reactionsfähigkeit gegen Belichtung. Es muss daher das gleiche Verhalten bei der atropinisirten Iris nicht auf die Wirkung des Atropins bezogen werden. Vom Standpunkte Magnus' liesse sich freilich die Uebereinstimmung der Erscheinungen an der unvergifteten und an der atropinisirten Iris durch die Annahme erklären, dass eben auch beim normalen Abklingen der Reizbarkeit die reflexvermittelnden nervösen Apparate früher absterben, was ein Erlöschen der Lichterregbarkeit vor dem Ausfall eines Erfolges der directen Muskelreizung durch den elektrischen Strom zur Folge hätte. Wäre aber diese Supposition richtig, dann müsste das Ueberdauern der elektrischen Reizbarkeit die Regel bilden, während es thatsächlich, wie mehrfach erwähnt, nur eine Ausnahme darstellt; es müsste ferner der elektrische Strom bei annähernd gleichem Rollenabstande durch längere Zeit nach dem Erlöschen der Lichterregbarkeit die atropinisirte Iris zur Contraction bringen. Magnus selbst hat sein Augenmerk auf dieses Verhalten nicht gerichtet. Meine eigenen Untersuchungen (vgl. obige Protokolle) zeigen, dass man nach Aufhören der Reaction auf Belichtung mit gutem Tages- oder concentrischem Auerlichte stets die stärksten Ströme

(über einander geschobene Rollen) verwenden muss, um eine Contraction zu erzielen, während kurz vorher ein Rollenabstand von 4—6 cm hierzu ausreichte. Zu Beginn des Versuches genügt ein Rollenabstand von 8—10 cm, eine Reizstärke, welche sich bemerkenswerther Weise lange Zeit wirksam erhält, um zum Schlusse rasch abzusinken.

Die grösste Zeitdifferenz aber, um welche die photische von der elektrischen Erregbarkeit überdauert wurde, betrug:

bei der in physiologischer Kochsalzlösung verwahrten Iris 1 Stunde (Frosch P.-N. 86, Aal P.-N. 132),

bei der atropinisirten Iris 25 Minuten (Frosch P.-N. 106), also ausserordentlich wenig im Vergleiche zu dem grossen Zeitintervall zwischen Aufhören der Peristaltik und Schwund der directen Muskelerregbarkeit am anämisirten bezw. atropinisirten Froschdarm (mehrere Tage bezw. 30 Stunden). Die Erklärung Magnus' ist also nicht zutreffend. Das oft eintretende rasche Schwinden jeglicher Erregbarkeit nach Atropinisirung ist auf Lähmung der Muskulatur zurückzuführen, welche bei der aus zartem Gewebe aufgebauten und in Folge ihrer geringen Dicke leichter durchdringlichen Iris begreiflicher Weise früher zur Geltung kommt als an der Darmmuskulatur.

Für das Ueberdauern der elektrischen Erregbarkeit glaube ich eine befriedigende Erklärung in Folgendem gefunden zu haben: Bedient man sich zur faradischen Reizung empfindlicher Präparate eines möglichst grossen Abstandes der beiden Spulen des Inductoriums (8—10 cm), so ist man im Stande, die Intensität des Reizes allmählig und stufenweise zu vergrössern. Von der Stärke der benutzten Lichtreize gilt das nicht in gleicher Weise, und wenn man nun an den Punkt gelangt, wo Licht von gegebener Intensität keine Contraction mehr auslöst, kann der in seiner Intensität verstärkte elektrische Strom noch erregend wirken. Die Einwirkung derartiger Einflüsse gibt sich in den beiden letzten mitgetheilten Versuchen deutlich kund.

Eine kurze Zusammenfassung des bisher Angeführten ergibt: Magnus behauptet, dass die Atropinisirung der Iris die Lichterregbarkeit derselben sofort oder in sehr kurzer Zeit aufhebt, während der elektrische Strom länger wirksam bleibt. Er deutet das dahin, dass das Atropin „supponirte“ reflexvermittelnde, nervöse Elemente, welche für das Zustandekommen der Lichtwirkung nöthig

seien, gelähmt habe, aber die Reizwirkung des elektrischen Stromes auf die Muskelfasern erhalten bleibe.

Dagegen ergaben meine Untersuchungen: Die Wirksamkeit des elektrischen Stromes überdauert mitunter auch normaliter die Lichterregbarkeit, und zwar sogar um eine grössere Zeitdifferenz, als dies nach Atropinisierung der Fall ist.

Dieses Ueberdauern ist durch die Möglichkeit einer stufenweisen Verstärkung des elektrischen Stromes, wie es dem Lichtreize nicht zukommt, leicht zu erklären.

Die Wirkung des Atropins aber äussert sich durchaus nicht regelmässig in Aufhebung der Lichterregbarkeit in kurzer Zeit nach Application desselben, sondern die Reactionsfähigkeit gegen Belichtung ist oft noch zu einer Zeit vorhanden, in welcher das Atropin, wie durch die Versuche am Darne erwiesen ist, die nervösen Apparate bereits ausser Function gesetzt hätte, also auch die hier supponirten reflexvermittelnden Nervelemente durch das Atropin schon ausgeschaltet sein müssten.

V. Dauerversuche am Bulbus.

Durch die bisherigen Ausführungen ist bereits das hauptsächlichste Argument für die Annahme eines Reflexvorganges bei der Lichtreaction der ausgeschnittenen Aal- bzw. Froschiris widerlegt. Ein weiteres Argument für die Negirung eines solchen Reflexes ist die grosse Zeitdauer, über welche sich die Pupillarreaction am enucleirten Bulbus erhält.

Enucleirte Froschbulbi wurden in kleinen Glasdosen mit einer geringen Menge physiologischer Kochsalzlösung, welche sie eben vor dem Austrocknen zu schützen im Stande war, aufbewahrt. Der Lichtzutritt war durch kleine, die Glasdosen fassende, schwarz überzogene Schachteln verhindert; auf dem Boden und im Deckel dieser Schachteln befand sich feuchtes Filterpapier in 5—6facher Lage. Aus den so hergestellten feuchten Kammern wurden die Bulbi täglich mehrmals herausgenommen, um die Wirkung der Belichtung zu prüfen, wozu anfangs helles Tageslicht, späterhin focales Auerlicht verwendet wurde. Bei dieser Gelegenheit wurden die Schalen stets gut gereinigt, Bulbi und Filterpapier neu befeuchtet. Auf diese Weise konnten die Augäpfel bei Temperaturen von 9—12° C. meistens über eine Woche lang reactionsfähig erhalten

werden. Freilich verloren sie zu dieser Zeit die normaler Weise vorhandene pralle Spannung, der Augenhintergrund zeigte weisslich-graue Verfärbung, erschien wie versengt, Cornea und Linse wurden trüb, aber die Pupillarreaction zeigte sich noch bis zum elften, in einem Falle sogar noch am vierzehnten Tage (P.-N. 52).

Die am Froschdarme vorgenommenen Dauerversuche, unter gleichen Verhältnissen und bei gleichen Temperaturen ausgeführt wie die eben erörterten Beobachtungen am Froschbulbus, ergaben, dass die reflectorische Erregbarkeit 2—3 Tage nach der Entfernung des Darmes aus dem Organismus erlischt, während die Erregbarkeit der Muskulatur sich noch bis zum 10. bis 12. Tage erhält. Steinach¹⁾ hat in seinen Untersuchungen am Spinalganglion des Frosches auch den histologischen Nachweis dafür erbracht, dass die am lebenden Thiere aus dem Blutkreislauf ausgeschalteten Nervenzellen nach einer Woche degenerirt sind.

Würde es sich bei der Lichtreaction der Amphibien- und Fischiris um einen Reflex handeln, so wäre hiernach nicht einzusehen, wie sich ein solcher über einen so grossen Zeitraum erhalten könnte. Dagegen stimmt die Zeit, über welche die directe Lichterregbarkeit der Iris am enucleirten Froschbulbus bestehen bleibt, in auffallender Weise mit der Dauer der directen Reizbarkeit der glatten Muskulatur des Froschdarmes überein.

VI. Lichterregbarkeit isolirter Muskelfasergruppen aus dem Sphincter pupillae. Histologisches.

Sollte nun trotz alledem der Versuch gemacht werden, die Pupillarreaction der freipräparirten Amphibien- und Froschiris auf einen Reflexvorgang innerhalb derselben zurückzuführen, so müsste man zunächst, in Berücksichtigung der im letzten Abschnitte erörterten Beobachtungen, annehmen dürfen, dass sich periphere Reflexbahnen zwei Wochen nach Ausschaltung aus dem Organismus functionsfähig erhalten können. Aus den nun folgenden Versuchen ergeben sich auch Anhaltspunkte für die etwa erforderliche Zahl und Anordnung der in Frage stehenden nervösen Apparate.

1) E. Steinach, dieses Archiv Bd. 78. 1899. Ueber die centripetale Erregungsleitung im Bereiche des Spinalganglions.

Iriden, deren ciliare Partien abpräparirt worden waren, wurden zunächst auf ihre Reactionsfähigkeit gegen den Lichtreiz geprüft. Ergab sich hierbei prompte Reaction, so wurde das Präparat durch scharfe, in radiärer Richtung geführte Schnitte in mehrere (4—5) Sektoren getheilt. Solche Ausschnitte wurden nach längerem Verweilen im Dunkeln mit concentrirtem Auerlicht oder diffusum Sonnenlicht bestrahlt¹⁾. Bei stärkerer Vergrößerung (Hartnack Obj. 4 Oc. 3) konnte man stets deutliche, für die Contraction bei Pupillenverengung charakteristische Bewegung des Pupillarrandes beobachten. Bemerkenswerth ist, dass es für den Reizerfolg vollständig gleichgültig ist, welcher Stelle der Pupillarperipherie der Sector entnommen ist. Auch solche Sektoren zeigen langdauernde Reactionsfähigkeit: In wiederholten Fällen konnte innerhalb 80 Minuten acht Mal Contraction beobachtet werden (P.-N. 34, 51).

Weiterhin gelingt es bei einiger Uebung, das Pigmentepithel von der Hinterfläche der Iris abzupinseln. Hat man auf solche Weise die Pupillarzone an einer umschriebenen Stelle vom Pigmentepithel befreit, so bewirkt auch Belichtung dieser Stelle von der Hinterfläche aus, welche sonst nach Magnus ohne Erfolg bleibt, starke, von der blossgelegten Stelle ausgehende Contraction.

Schneidet man aber einen solchen pigmentepithelfreien Theil der Pupillarzone heraus und zerzupft denselben unter dem Präparirmikroskope mit feinen Nadeln, so lassen sich bei Benutzung der Objectivlinse 5 oder 7 die pigmentirten Muskelfasern beobachten. Solche Zupfpräparate wurden auf dem ausgehöhlten Objectträger in physiologischer Kochsalzlösung unter einem Deckgläschen 20 bis 30 Minuten dunkel gehalten. Bei darauffolgender Bestrahlung mit reflectirtem Sonnenlichte oder auch nur mit focalem Auerlichte wurde auch an diesen aus 10—15 Muskelfasern bestehenden Präparaten eine Contractionserscheinung wahrnehmbar. Allerdings wird in vielen Fällen die Reactionsfähigkeit einerseits durch die mechanische Alteration der Muskelfasern ungünstig beeinflusst, andererseits dadurch, dass während der

1) Wie schon in der Arbeit Steinach's hervorgehoben wurde, spielen bei solchen Versuchen thermische Einflüsse keine Rolle; das Ergebniss bleibt dasselbe, wenn die erregenden Strahlen dicke Schichten gesättigter Alaunlösung durchsetzt haben.

ziemlich lange dauernden Präparation das Licht Zutritt hat und die specifische Erregbarkeit herabsetzt.

Der aus diesen Versuchen hervorgehende Befund, dass sich losgetrennte Sektoren aus den verschiedensten Oertlichkeiten der Pupillarzone der Iris, sowie kleinste Gruppen von Muskelfasern aus dem Sphincter durch Belichtung zur Contraction bringen lassen, drängt unausweichlich zur Annahme einer directen Lichterregbarkeit dieser Elemente.

Wollte man diese Beobachtungen mit der Auffassung Magnus' in Einklang bringen, dann müssten sich in jedem solchen Sector, entsprechend jeder kleinsten Gruppe von Muskeln, reflexvermittelnde nervöse Elemente nachweisen lassen. Es müsste sich ein den ganzen Umfang des Pupillargebietes einnehmender Kranz von Nervenzellen finden. Obwohl für die Schlussfolgerungen Magnus' die histologische Darstellung solcher Formelemente überaus wichtig gewesen wäre, so hat derselbe nicht einmal den Versuch gemacht, zu ermitteln, ob für seine Hypothese eine anatomische Grundlage zu finden sei.

Die zahlreichen histologischen Untersuchungen der Iris höherer Wirbelthiere, insbesondere der Vögel und Säuger lieferten in Bezug auf das Vorhandensein von Nervenzellen im Pupillatheile der Iris kein widerspruchsfreies positives Ergebniss. Ueber die diesbezüglichen Verhältnisse bei Amphibien und Fischen ist meines Wissens nichts bekannt. Derartige histologische Untersuchungen sind aber durch das Pigmentepithel an der Hinterfläche der Iris und die im Strome zerstreut liegenden sternförmigen Pigmentzellen sehr erschwert, und man ist daher seit Langem bestrebt gewesen, dieses störende Moment auszuschalten. Zunächst versuchte man, das Pigment abzupinseln. Das gelingt jedoch nicht in allen Fällen, erfordert überdies längere Zeit, so dass die Präparate nicht in ganz frischem Zustande fixirt werden können; ausserdem leidet das Präparat selbst unter den mechanischen Insulten.

Diese Bedenken führten zur Methode, die pigmenthaltigen Zellen durch Bleichen des Farbstoffes durchsichtig zu machen. Hierzu wurden vielfach Chlor und Wasserstoffsuperoxyd in verschiedenster Weise verwendet. Doch klagen die Autoren, welche diese Methoden angeben, schon selbst darüber, dass die Präparate bei vollständiger

Entfärbung einerseits brüchig werden, und dass andererseits durch die Verwendung der Bleichmittel die Tinctionsfähigkeit der Objecte herabgesetzt wird.

Wir besitzen aber in der Chromsäure ein Mittel, welches für die Entfernung des Pigmentes äusserst zweckdienlich ist, ohne die Haltbarkeit des Präparates zu beeinträchtigen. Es wurden zwar schon Gemische mit Chromsäure (z. B. 0,5 Chromsäure mit Chlorwasser) zur Entfärbung von Pigment verwendet. Allein die bleichende Wirkung der Säure in so geringer Concentration ist keine vollkommene und braucht überdies sehr lange Zeit, während die Zusatzflüssigkeiten die ihnen eigenthümlichen Schädlichkeiten für das Präparat mit sich bringen. Die Behandlung mit Chromsäure in etwas stärkerer Concentration ist eine sehr einfache und führt binnen kurzer Zeit sicher zum Ziele; sie gleichzeitig als Fixirungsflüssigkeit und als Bleichmittel zu verwenden, möchte ich nach meinen Erfahrungen nicht empfehlen, und zwar desshalb, weil sie sich für den ersten Zweck nicht vollkommen bewährt.

Ich fixirte Bulbi, nachdem ich sie am hinteren Pole abgekappt oder aufgeschlitzt hatte, in toto in Sublimatkochsalzlösung (Heidenhain) oder in Flemming'scher Flüssigkeit, härtete in Alkohol und präparirte erst dann die Iris heraus. Diese wurde nun auf 24—48 Stunden in 1—2 %ige Chromsäure gebracht. Die Entfärbung gelingt in den meisten Fällen so vollkommen, dass auch nicht eine Spur der früheren dichten Pigmentirung der Hinterfläche der Iris zu sehen ist; aber auch die sternförmigen Pigmentzellen des Irisstromes und die Muskelfasern des Sphincters haben ihren Farbstoff verloren. Es bleibt zwar nach der Behandlung mit Chromsäure ein von dieser herrührender gelblicher Farbenton zurück, welcher bei dem nachträglichen Auswaschen in Wasser nur wenig abblasst, allein derselbe stört weder die Durchsichtigkeit noch die Färbbarkeit der Präparate. Die Iris ist so durchsichtig geworden, dass man sie in toto färben und als Uebersichtspräparat verwenden kann. Es zeigt sich dann bei entsprechender Färbung in sehr schöner Weise die gesammte Structur der Iris mit allen ihren Einzelheiten. Der Sphincter mit seinen Elementen tritt unter dem zarten Epithel sehr scharf hervor. Ich verwendete nebst den Anilinfarbstoffen besonders Hämatoxylin, Pikrinsäure und Thionin und erhielt stets vollkommen befriedigende Bilder.

Bei der Untersuchung selbst achtete ich nur auf das fragliche

Vorhandensein von Ganglienzellen im Pupillartheile der Iris. Doch lieferte die Durchmusterung der Uebersichtspräparate sowohl als auch der Serienschnitte ein vollkommen negatives Resultat. Vorher hatte ich mich durch Behandlung von Rückenmarksschnitten mit Chromsäure davon überzeugt, dass die Färbbarkeit der Ganglienzellen durch dieselbe nicht beeinträchtigt wird.

VII. Zusammenfassung.

Die von Steinach ermittelte Thatsache, dass es sich bei der Lichtreaction des ausgeschnittenen Aal- und Froschauges um einen lediglich innerhalb der Iris sich abspielenden Vorgang handelt, wurde von Magnus bestätigt. Zur Entscheidung der Frage, ob dieser Vorgang als peripherer Reflex aufzufassen sei (Magnus), oder ob er auf einer directen motorischen Wirkung des Lichtes auf die Sphinctermuskeln beruht (Steinach), mögen die folgenden, aus obigen Erörterungen zusammengefassten Thatsachen dienen:

1. Die Lichterregbarkeit isolirter Iriden nach Atropinbehandlung überdauert in einer Reihe von Fällen die Zeit, innerhalb welcher das Atropin die Function peripherer Reflexbögen vernichtet.

2. Das in einer anderen Reihe von Fällen beobachtete frühzeitige Erlöschen der photischen Erregbarkeit atropinisirter Iriden beruht nicht auf der Ausschaltung „supponirter“ Reflexbahnen, sondern auf Schädigung der Sphinctermuskeln durch das Atropin (siehe unten Punkt 8).

3. Das Erlöschen der photischen und elektrischen Erregbarkeit findet bei atropinisirten ebenso wie bei unvergifteten Iriden in der weitaus grössten Zahl der Fälle gleichzeitig statt.

4. Ein Ueberdauern der elektrischen Erregbarkeit über die photische tritt sowohl bei atropinisirten als auch bei langsam absterbenden, nicht atropinisirten Iriden viel seltener auf; es beruht aber nicht darauf, dass etwa ein der Lichtreaction zu Grunde liegender Reflexvorgang früher erlischt als die directe elektrische Erregbarkeit der Sphinctermuskeln, sondern es erklärt sich das Ueberwiegen des Reizerfolges einfach aus der feineren Abstufbarkeit der Intensität der elektrischen Reize.

5. Am enucleirten Bulbus lässt sich die Pupillarreaction fast zwei Wochen hindurch beobachten, also weitaus länger, als sich periphere Reflexe an ausgeschnittenen Organen erhalten (siehe Vergleichsversuche am Darms).

6. Sowohl Sectoren aus dem Pupillarrande der Iris als auch kleinste isolirte Muskelfasergruppen aus dem Sphincter lassen sich in analoger Weise wie der ganze Irisring durch Belichtung zur Contraction bringen. Für die Annahme einer nervösen Grundlage des Phänomens wäre somit der Nachweis eines Kranzes von Ganglienzellen erforderlich. Das Ergebniss der histologischen Untersuchung der mittelst Chromsäure pigmentfrei gemachten Iriden ist jedoch in Bezug auf Nervenzellen im Pupillartheile der Iris ein vollkommen negatives. Der obige Befund an isolirten Muskelfasergruppen enthält also den schärfsten Beweis für die directe Wirkung des Lichtes.

Durch die mitgetheilten Versuchsergebnisse und durch das absolut negative Ergebniss der histologischen Untersuchung ist die Auffassung Magnus', dass es sich bei der Lichtreaction der ausgeschnittenen Iris um einen innerhalb derselben sich abspielenden Reflexvorgang handle, widerlegt; dagegen ist die Kenntniss der photischen Erregbarkeit des Sphincter pupillae vielfach ergänzt und die Steinach'sche Annahme einer directen motorischen Wirkung des Lichtes auf die pigmentirten Muskelfasern desselben neuerdings gestützt.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass Atropin in einem gewissen Stadium der Vergiftung die glatten Muskelfasern lähmt. Das frühere oder spätere Eintreten dieser Wirkung auf die in der Lösung befindlichen Präparate hängt von der Dicke derselben ab (Iris — Darm).
