Über den Sehpurpur im tapezierten Auge.*

Von

Yuji Hosoya.

(細谷 雄二)

(Aus dem II. physiologischen Institut der Universität zu Sendai,
Direktor: Prof. Dr. T. Fujita).

Einleitung.

Schon in 1897 und 1898 wurde die Erkennbarkeit des Sehpurpurs bei Teleosteer (Abramis, Acerina u. a.) und Krokodil (Alligator), die Tapetum retinale besitzen, von G. Abelsdorff⁽¹⁾⁽²⁾ ophthalmoskopisch nachgewiesen. Beim Tapetum retinale ist⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ das vor demselben gelegene Netzhautepithel mehr oder weniger stark pigmentiert. Aber beim Tapetum chorioideale ist das Epithel des Aussenblatts der Netzhaut, wie ich schon mitteilte,⁽⁶⁾ in grossem Umfange des Augenhintergrundes völlig pigmentlos. §

Da das tapezierte Auge hinter der Netzhaut einen spiegelnden Reflektor hat, steht es also in ganz verschiedenem Verhältnis mit dem nicht-tapezierten, z. B. beim Menschen, bei welchem die Netzhaut mit schwarzem Chorioidealpigment belegt ist. Daher ist es sehr interessant, über das Verhalten des Sehpurpurs in dieser pigmentlosen Netzhautpartie zu erfahren, jedoch wurde darüber bis jetzt noch nicht eingehender studiert. Um die Lücke in diesbezüglichen Untersuchungen ausfüllen zu vermögen, habe

*) Der wesentliche Inhalt mit Demonstration wurde im japanischen Physiologenkongress 1926 (J. of Biophysics, 1927, 2, CXVII) mitgeteilt.

1) G. Abelsdorff, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., 1897, 14, 77.

2) Derselbe, Arch. f. (Anat. u.) Physiol., 1898, 155.

3) J. H. Chievitz, Arch. f. Anat. (u. Physiol.), 1889, Suppl. Bd., 164.

4) H. Laurens u. S. R. Detwiler, J. of Exp. Zool., 1921, 32, 213.

5) S. Garten, Die Veränderungen der Netzhaut durch Licht. Graefe-Saemischs Hb. d. ges. Augenheilk., 2. Aufl. I. Teil, III. Bd. Kap. XII, Anhang. S. 108.

6) Y. Hosoya, dies. J., 1929, 12, 131.

§) Betreffs der Pigmentlosigkeit des tapezierten Gebietes ist zu bemerken, dass auch diese Netzhautteile beim Pferde nicht ganz pigmentfrei sind, sondern schwarze oder graue Pigmentkörner im ganzen Netzhautepithel, und zwar immer weniger dicht nach der Mitte des Gebiets, aufweisen, so dass man nur von einer Pigmentarmut sprechen darf.

ich die folgenden Versuche mit den Säugetieren und den Selachier ausgeführt.

1. Ophthalmoskopische Beobachtungen des Sehpurpurs am lebenden Auge.

Ich versuchte den Farbenwechsel des Sehpurpurs in der Netzhaut der lebenden Säugetiere, und zwar der Katze und des Hundes, ophthalmoskopisch nachzuweisen, was aber noch nicht gelang, da die Anhäufung des Sehpurpurs bei beiden nicht so intensiv ist, dass der Purpurton des Augenhintergrundes mittels des Ophthalmoskops deutlich in die Augen des Untersuchenden fällt. Für diese Untersuchung bietet das Selachierauge ein sehr geeignetes Material, indem die purpurne Färbung der Netzhaut direkt oberhalb des Sehnerveneintritts, der bereits erwähnten pigmentlosen Strecke entsprechend, einen merkwürdig tief roten Streifen sog. Schleiste bildet (vgl. Fig. 1).

Die Pupille des *Cynias* ist rundlich und verengert sich beim Lichteinfall zum horizontalen Streifen. Das Auge des lebenden Tieres wurde mittels des Tageslichtes, das durch das Fenster des Dunkelzimmers auf den Versuchstisch kam, in folgender Weise ophthalmoskopiert. Nachdem der Fisch etwa 4 Stunden lang im Dunkeln verweilt hatte, wurde er in ein breites Tuch eingewickelt und in Versuchswanne gut gefesselt. Bei der Einstellung des Ophthalmoskops zeigt das Dunkelauge einen schönen purpurnen Fundus, in welchem ein längs der Schleiste gezogener purpurner Streifen auf den ersten Blick auffällt. Die purpurne Farbe der Netzhaut bleicht im Laufe des 20 minutigen Hellaufenthaltes des Fisches allmählich aus, und nähert sich der des Tapetums, so dass einige Netzhautgefäße erkennbar werden, während das tiefe Rot der Schleiste meist lange zurückbleibt. Wenn der Fisch nochmals ins Dunkelzimmer gebracht und ungefähr 2 Stunden lang stehen gelassen wird, so tritt der verlorene Purpur mit gleicher Deutlichkeit wie am Anfange wieder auf.

2. Beobachtungen des Sehpurpurs am enukleierten Bulbus und an der isolierten Retina.

Zu diesem Versuche wurden zahlreiche Augen von Säugetieren (Katzen, Hunde, Rinder und Pferde) und des Selachiers (*Cynias* und *Raja*) angewandt. Die Farbe der Dunkelretina ist beim Hunde und bei der Katze sehr schwach dunkelrot, beim Rinde tief rot, beim Pferde schwach rot und beim Selachier purpurn (vgl. Figg. 1 u. 2).

Die Anhäufung des Sehpurpurs ist bei Säugetieren, abgesehen von Rindern, bei welchen sie besonders intensiv ist, wie oben erwähnt, relativ

Fig. 1.

Hintere Hälften der beiden Augen eines *Cynias manazo* Bleeker.
R: Im Hellen enukleiert. L: Nach der E nukleation 60 Minuten
lang im Dunkeln aufbewahrt.

Fig. 2.

Regeneration des Sehpurpurs im tapezierten Augenhintergrund von *Cynias manazo* Bleeker. Linkes Auge nach dem einige Stunden langen Dunkelaufenthalt des Fisches enukleiert. L: ungebleichte linke hintere Hälfte. Das rechte Auge (R_1) wurde nach 30 Minuten langer Belichtung exstirpiert und gleich darauf im Dunkeln 1 Stunde lang (R_2) und nachher noch 2 Stunden lang (R_3) aufbewahrt.

schwach, und der Blutgehalt der Netzhaut wirkt bei der Beobachtung desselben mehr oder weniger störend. So muss der Bulbus vor jedem Versuche möglichst blutfrei gemacht werden. Dazu werden die Versuchstiere (Säugetiere) direkt nach dem Tode von Halsgefässen entblutet. Die Augen werden vor dem Tode etwa 30 Minuten lang mit der Augenbinde bedeckt. Sofort nach dem Schlachten oder Verblutungstode enukleierte ich die Augenbulbi, die dann in Ringerlösung aufbewahrt und im Dunkelzimmer bei rotem Lichte äquatorial halbiert wurden. Wenn die hintere Hälfte des Bulbus nach dem Ausstürzen des Glaskörpers in eine mit Ringerlösung gefüllte weisse Porzellanschale gebracht und unter dem mässig verdunkelten Tageslichte beobachtet wird, so zeigt sich, dass die Säugetiernetzhaut auch im tapezierten Gebiete, wo das Pigment in der Pigmentepithelschicht gänzlich fehlt, noch den Sehpurpur enthält. Am Lichte bleicht die Farbe der Netzhaut relativ schnell aus, und an ihrer Stelle tritt die Irideszenz des darunter gelegenen Tapetums hervor, wodurch die genauere Betrachtung der Netzhautfarbe gestört wird.

Ich habe an Säugeraugen auch daraufhin untersucht, ob etwa in der tapezierten, pigmentlosen Netzhautpartie die Sehpurpurausbleichung stärker resp. schneller vor sich gehe, als in der pigmentierten, was der Fall sein müsste, wenn die Lichtwirkung in der ersteren durch geringere Absorption und stärkere Reflexion stärker wäre, als bei der letzteren. Es war noch kein bestimmtes Resultat zu erzielen, da bei mehrere Minuten langer Belichtung mit Sonnen- oder Lampenlicht kein erkennbarer Farbenunterschied zwischen beiden zu stande kam.

Um die Ausbreitung des Sehpurpurs in der Netzhaut und seine Ausbleichung durch das Licht näher zu untersuchen, wurde das im Dunkeln gehaltene Rinderauge unmittelbar nach der E nukleation in 3–5% Formol lichtdicht aufbewahrt und nach 24 Stunden im Äquator halbiert. Das Ablösen der Netzhaut von der Chorioidea ist dann leicht auszuführen, was sonst ohne Zerstörung der ersteren schwer möglich ist.⁷⁾ Die abgelöste Netzhaut bleibt beim Herausstürzen des Glaskörpers an der Opticuspapilla anhaftend. Durch diese Fixation, wie Abelsdorff⁸⁾ bei Fischeaugen und N. Andogsky⁹⁾ bei Kaninchenaugen angegeben hat, wurde auch der Sehpurpur der Rindernetzhaut so lichtbeständig, dass er annähernd 15 Minuten lang unter dem hellen Lichte fast unverändert besteht, also ein zur Demonstration geeignetes Material darbietet. Nach etwa 20 minutiger Belichtung bleicht die purpurne Farbe der Netzhaut etwas schneller und binnen ca. 40 Minuten gänzlich aus. Dabei konnte ich niemals das Vorhanden-

7) N. Andogsky, Arch. f. Ophthalmol., 1897, **44**, 422.

8) G. Abelsdorff, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., 1897, **14**, 83.

9) N. Andogsky (7), 422.

sein eines gelblichen intermediären Stadiums, des sog. Sehgelbs, nachweisen.

Bei der Verbreitung des Sehpurpurs ist es besonders merkwürdig, dass die purpurne Färbung der Säugernetzhaut in einer schmalen Zone, der sog. Sehleiste, am intensivsten ist. Diese ist bei Kaninchen direkt unterhalb, bei sonstigen genannten Tieren aber oberhalb des Sehnerveneintritts horizontal angezogen.

3. Regeneration des Sehpurpurs in der pigmentlosen Netzhautpartie.

Beim Säugetierauge (Rind, Pferd, Katze und Hund) ist die Regeneration des Sehpurpurs nach der Enukleation wie W. C. Areys und W. Kühne¹⁰⁾ beim Kaninchen angegeben haben, schwer nachweisbar, während beim Selachierauge diese nicht nur an der halbierten hinteren Hälften des Bulbus, sondern auch an der isolierten Netzhaut noch gut erkennbar ist.

Um die Zeitdauer des Dunkelaufenthaltes, während dessen der Sehpurpurgehalt das Maximum erreicht, zu prüfen, wurden mehrere Selachier im Dunkeln gelassen, und nach verschieden langem Zeitintervall konnte man die Netzhautfarbe des enukleierten Augenbulbus beobachten.

Wenn das Tier nach dem Verweilen im Hellen ungetähr eine Stunde lang lichtdicht in Seewasser blieb, so zeigte die Netzhaut des Tieres eine tiefrote (ein wenig zum Purpur neigende) Farbe, welche in dieser Zeit schon ihr Maximum erreicht zu haben scheint, denn auch bei längerem, mehrere Stunden dauerndem Dunkelaufenthalt nimmt die Farbtiefe nicht mehr zu. Freilich ist die Regeneration des Sehpurpurs vom Erhaltenbleiben des Kreislaufes abhängig und folglich tritt beim exstirpierten Hellauge, wie unten erörtert wird, die vollständige Regeneration erst nach 2 stündiger Dunkelaufbewahrung ein.

Um die Regenerationszeit eingehender zu untersuchen, enukleierte ich dem einige Stunden lang im Dunkeln schwimmenden Cynias oder Raja beide Augen und bewahrte das eine derselben sofort in einer mit Seewasser gefüllten Flasche im Dunkeln auf. Das andere habe ich zuerst im hellen Zimmer 30 Minuten lang dem diffusen Tageslichte ausgesetzt und unmittelbar darauf in der genannten Flasche lichtdicht aufbewahrt. In bestimmtem Zeitintervall nach der Herstellung einer Anzahl solcher enukleierten Augenpaare (10', 20', 30', 60', 120', etc. nach dem Einbringen des Hellauges ins Dunkel) halbierte ich je ein Paar der

10) W. C. Areys u. W. Kühne, Untersuch. a. d. physiol. Inst. Heidelberg, 1878, 2, 215.

so präparierten Augen (d. h. Dunkel- und Hellbulbus desselben Tieres) äquatorial und verglich die Farbentöne des Hintergrundes miteinander. Innerhalb eines 30 minutigen Zeitraumes ist der Farbenunterschied zwischen dem Hell- und Dunkelauge ganz deutlich, und zwar zeigt das erstere blaugrünliche (durchschimmernde Tapetumfarbe) und das letztere schöne Purpurfarbe. Wenn das Zeitintervall 60 Minuten überschreitet, nimmt die Rötung der Hellretina immer mehr zu, so dass interessanterweise solcher Unterschied nach etwa 2 stündiger Dunkelaufbewahrung vollkommen verloren geht und die Farbe des Tapetumgebietes beider Augen gleich tief purpurn wird (vgl. Fig. 2).

Andererseits ist aber der Sehpurpur der Selachier schwerer ausbleichbar. Auch wenn der Fisch mehrere Stunden lang bei guter Tagesbeleuchtung im Zimmer belassen wird, zeigt die isolierte Netzhaut noch mehr oder weniger deutlich eine rötliche Färbung, und das herausgenommene Auge muss besonders stark beleuchtet werden, um den Sehpurpur spurlos auszubleichen.

Auch die isolierte Retina des Selachiers ist noch regenerationsfähig, allerdings muss sie zur Wiedererhaltung des tiefen Purpurs über 5 Stunden lang im Dunkeln gehalten werden. Wenn ich auch nachweisen konnte, dass das Netzhautepithel an der Tapetumfläche der Chorioidea, wovon die Netzhaut entfernt war, anhaftend blieb, war ich dennoch nicht sicher, ob die letztere ganz epithelfrei war oder nicht. Jedenfalls fand die Regeneration des Sehpurpurs derselben immer überall gleichmässig statt. Die schwach rote Netzhautfarbe des im Hellen verweilten Selachierauges hat keinen Stich ins Violett, sondern ist mehr zum gelblichroten Ton geneigt, und solange dieser noch vorhanden ist, erfolgt, wie Ayres und Kühne¹¹⁾ beim Kaninchenauge angegeben haben, die vollkommene Erholung des Purpurs viel schneller als nach vollständiger Ausbleichung.

Aus den vorgehenden Befunden ist ohne weiteres zu folgern, dass die Regeneration des Sehpurpurs sich auch in der tapezierten Partie der Netzhaut, wo das Pigment in der Pigmentepithelschicht fehlt, vollzieht. Die Tatsache, dass auch bei Säugetieren der pigmentfreie Netzhautteil Sehpurpur enthält, spricht für die von W. Trendelenburg,¹²⁾ sowie H. Laurens und S. R. Detwiler¹³⁾ bei anderen Tierarten ausgesprochenen Ansichten, und die, dass gerade diesem Netzhautteil wohl die grösste Sehfunktion zukommt, spricht, wie S. Garten¹⁴⁾ hervorgehoben hat, gegen

11) W. C. Ayres u. W. Kühne (10), 234.

12) W. Trendelenburg, *Ergeb. d. Physiol.*, 1911, II, 19.

13) H. Laurens u. S. R. Detwiler (4), 221.

14) S. Garten, *Zeitschr. f. Augenheilk.*, 1922, 47, 187.

die Ansicht, dass die Lichtenergie zuerst vom Netzhautpigment absorbiert wird und dann ihre Reizwirkung auf die Sehzellen entfaltet (z. B. Schanzsche¹⁵⁾ Theorie).

Zusammenfassung.

(1) Der Sehpurpurgehalt der Netzhaut ist am lebenden tapezierten Selachierauge, bei dem seine Anhäufung sehr intensiv ist, ophthalmoskopisch nachweisbar.

(2) Die Netzhaut des im mässig hellen Tageslichte lebenden Tierauges (besonders deutlich beim Selachier) zeigt mehr oder weniger purpurne Nuance.

(3) Auch im Tapetumgebiet, wo das Pigment in der Netzhaut-epithelschicht völlig fehlt, enthalten die Säugetier- und Selachierretina Sehpurpur, welcher ohne Vermittlung des Pigments gut regenerierbar ist.

(4) Der Sehpurpur des lebenden Selachiers regeneriert vollkommen in 1 stündigem Dunkelaufenthalt, der des enukleierten Auges in 2 und der der isolierten (epithelfreien?) Retina erst nach 5 Stunden Dunkelaufbewahrung.

15) F. Schanz, Münch. med. Wochenschr., 1921, 1390, Zeitschr. f. Augenheilk., 1921, 46, 311, Zeitschr. f. Sinnesphysiol., 1923, 54, 93 und Zeitschr. f. Physik, 1923, 12, 28.