

Aus der Universitäts-Augenklinik Heidelberg

(Direktor: Prof. Dr. W. Jaeger)

OPTOGRAMME AUF DER KANINCHENNETZHAUT

(Wiederaufnahme der KÜHNESchen Untersuchungen)

Heidelberg, 1975, 100 S., 10 Abb., 10 Tafeln

Verlag: Prof. Dr. W. Jaeger

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Ruprecht-Karl-Universität zu Heidelberg

2201 D 39

vorgelegt von

Thomas Klothmann

aus Ueckermünde/Pommern

1975

Dekan: Prof. Dr. ^{*Ge. Schmidt*} ~~H. Gänshirt~~

Referent: Prof. Dr. E. Alexandridis

Koreferent: Prof. Dr. W. Jaeger

INHALT

| | |
|---|-----|
| Einleitung | 1 |
| 1. Die Bedeutung der Dankbarkeit | 2 |
| 2. Die Wirkung der Dankbarkeit | 3 |
| 3. Die Förderung der Dankbarkeit | 4 |
| 4. Die Dankbarkeit als Lebenshaltung | 5 |
| 5. Die Dankbarkeit als Tugend | 6 |
| 6. Die Dankbarkeit als Kunst | 7 |
| 7. Die Dankbarkeit als Wissenschaft | 8 |
| 8. Die Dankbarkeit als Religion | 9 |
| 9. Die Dankbarkeit als Philosophie | 10 |
| 10. Die Dankbarkeit als Ethik | 11 |
| 11. Die Dankbarkeit als Politik | 12 |
| 12. Die Dankbarkeit als Ökonomie | 13 |
| 13. Die Dankbarkeit als Soziologie | 14 |
| 14. Die Dankbarkeit als Psychologie | 15 |
| 15. Die Dankbarkeit als Pädagogik | 16 |
| 16. Die Dankbarkeit als Medizin | 17 |
| 17. Die Dankbarkeit als Kunsttherapie | 18 |
| 18. Die Dankbarkeit als Musiktherapie | 19 |
| 19. Die Dankbarkeit als Tanztherapie | 20 |
| 20. Die Dankbarkeit als Sporttherapie | 21 |
| 21. Die Dankbarkeit als Ernährungstherapie | 22 |
| 22. Die Dankbarkeit als Physiotherapie | 23 |
| 23. Die Dankbarkeit als Ergotherapie | 24 |
| 24. Die Dankbarkeit als Logotherapie | 25 |
| 25. Die Dankbarkeit als Gestalttherapie | 26 |
| 26. Die Dankbarkeit als Systemische Therapie | 27 |
| 27. Die Dankbarkeit als Transpersonale Therapie | 28 |
| 28. Die Dankbarkeit als Integraler Therapie | 29 |
| 29. Die Dankbarkeit als Ganzheitliche Therapie | 30 |
| 30. Die Dankbarkeit als Humanistische Therapie | 31 |
| 31. Die Dankbarkeit als Existenztherapie | 32 |
| 32. Die Dankbarkeit als Psychoanalyse | 33 |
| 33. Die Dankbarkeit als Psychotherapie | 34 |
| 34. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 35 |
| 35. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 36 |
| 36. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 37 |
| 37. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 38 |
| 38. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 39 |
| 39. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 40 |
| 40. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 41 |
| 41. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 42 |
| 42. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 43 |
| 43. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 44 |
| 44. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 45 |
| 45. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 46 |
| 46. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 47 |
| 47. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 48 |
| 48. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 49 |
| 49. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 50 |
| 50. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 51 |
| 51. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 52 |
| 52. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 53 |
| 53. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 54 |
| 54. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 55 |
| 55. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 56 |
| 56. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 57 |
| 57. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 58 |
| 58. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 59 |
| 59. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 60 |
| 60. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 61 |
| 61. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 62 |
| 62. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 63 |
| 63. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 64 |
| 64. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 65 |
| 65. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 66 |
| 66. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 67 |
| 67. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 68 |
| 68. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 69 |
| 69. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 70 |
| 70. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 71 |
| 71. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 72 |
| 72. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 73 |
| 73. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 74 |
| 74. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 75 |
| 75. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 76 |
| 76. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 77 |
| 77. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 78 |
| 78. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 79 |
| 79. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 80 |
| 80. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 81 |
| 81. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 82 |
| 82. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 83 |
| 83. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 84 |
| 84. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 85 |
| 85. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 86 |
| 86. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 87 |
| 87. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 88 |
| 88. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 89 |
| 89. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 90 |
| 90. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 91 |
| 91. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 92 |
| 92. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 93 |
| 93. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 94 |
| 94. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 95 |
| 95. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 96 |
| 96. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 97 |
| 97. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 98 |
| 98. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 99 |
| 99. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 100 |
| 100. Die Dankbarkeit als Psychohygiene | 101 |

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|-------------------------------|----|
| Einleitung | 1 |
| KÜHNES Versuche | 3 |
| Biochemie der Netzhaut | 9 |
| Eigene Untersuchungen | 11 |
| Dunkeladaption der Kaninchen | 11 |
| Narkose | 12 |
| Belichtung | 13 |
| Entfernungsmessung | 13 |
| Entfernung der Netzhaut | 14 |
| Aufziehen der Netzhaut | 14 |
| Fotografieren des Optogrammes | 15 |
| Ergebnisse | 17 |
| Diskussion | 24 |
| Zusammenfassung | 28 |
| Literatur | 29 |

EINLEITUNG

Lange bevor der Mensch über die Existenz des dioptischen Apparates im Auge Bescheid wußte, bewegte es ihn, zu ergründen, ob es möglich wäre, das Bild eines beliebigen Objektes im Augenhintergrund wiederzufinden. Nachdem nun der Camera obscura Mechanismus und die Netzhaut als lichtempfindlicher Film entdeckt wurden, stellte sich insbesondere den Kriminalisten die Frage, ob man auf der Netzhaut eines Ermordeten das Bild des Mörders finden könnte, in der Annahme, daß dies der letzte visuelle Eindruck des Getöteten war.

Als erster brachte vor rund einhundert Jahren BOLL das Bleichen der Netzhaut mit der Wirkung des Lichtes auf die Netzhaut in Zusammenhang. KÜHNE macht BOLL diese Erkenntnis streitig und behauptet, daß BOLL, sowie alle anderen Untersucher, zwar die Farbe des Sehpurpur erkannten, jedoch sein Verschwinden mit dem Tod des Tieres verbanden.

Da KÜHNE praktisch als erster von der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut wußte, war er es auch, der zuerst den Sehpurpur chemisch und physikalisch in extenso untersuchte. Anfangs mikroskopierte er die Netzhäute bei schwacher Beleuchtung, um zu er-

fahren, welche Vorgänge in den Stäbchen ablaufen, bis der gesamte Sehpurpur gebleicht ist.

Bei seinen Versuchen, welchen Einfluß Absorptionsfarben auf die Bleichung des Sehpurpur ausüben, entdeckte er durch Zufall das Bild einer Gasflamme auf der Netzhaut eines Frosches, die dieser 14 Stunden lang angestarrt hatte. KÜHNE nannte dieses Bildchen ein Optogramm; den Weg, der dabei beschritten wurde, nannte er Optografie.

Die Aufgabe dieser Arbeit ist es, festzustellen, inwieweit KÜHNES Angaben zutreffen. Außerdem soll untersucht werden, ob das Bedürfnis der Kriminalologen, auf der Netzhaut eines Ermordeten die Gegenstände bzw. Personen, die er unmittelbar vor seinem Tode gesehen hat, sichtbar zu machen, befriedigt werden kann.

KÜHNES VERSUCHE

Nach der Veröffentlichung BOLLs, daß die Retina vieler Tiere nach längerer Dunkeladaption purpurrot sei und daß diese Farbe kurz nach dem Tode wieder verschwindet, erhebt KÜHNE den Anspruch, erkannt zu haben, daß der Farbverlust der Wirkung des Lichtes zuzuschreiben sei. Der Streit zwischen beiden Wissenschaftlern, der sich nach dieser Entdeckung entfachte, soll hier nicht erörtert werden, da beide diese Erkenntnis für sich beanspruchen. Mit Sicherheit kann jedoch gesagt werden, daß KÜHNE als erster die Idee zur Optografie hatte und sie auch verwirklichte. Er ging von folgender Überlegung aus: "Da das Sehen offenbar nur möglich ist, wenn stets Ausgleich zwischen dem Bleichen des Sehpurpur in den Stäbchen und der purpurzeugenden Tätigkeit des Retinaepithels besteht, so wird man überdauernde Optogramme nur erwarten dürfen, wo jener Ausgleich gestört ist, also entweder nach so langer oder so intensiver Belichtung, daß das weiter funktionierende Epithel die Stäbchen nicht genügend wieder zu röten vermag, oder unter Umständen, wo das Epithel nichts mehr leistet"; der letzte Zustand tritt nach dem Tode auf.

Während des Lebens besteht nach KÜHNES Ansicht eine Störung dieses Gleichgewichtes zwischen Bleichung und Regeneration des Sehpurpur, wenn das Auge längere Zeit geblendet wird. Das Auge ist nicht im Stande, längere Zeit einen hellen Gegenstand ohne Lidschlag zu betrachten. Es ist unfähig dann zu sehen, da das Licht auf bestimmte Stäbchen fällt, deren Sehpurpur quasi verbraucht wird, ohne sich sofort wieder regenerieren zu können. Nach dem Lidschlag vermag das Auge wieder zu sehen, da nun andere Stäbchen zur Sicht benutzt werden, deren Sehpurpur noch vorhanden ist.

Anhand dieser Überlegungen faßte KÜHNE den Beschluß zur Optografie, die nun im wesentlichen besprochen werden soll. Bedauerlicherweise ist es angesichts der vorhandenen Literatur nicht möglich, zu eruieren, in welcher Reihenfolge er seine Optogramme anfertigte, d.h. welcher Versuch am Anfang stand. Aus der Vielzahl seiner Versuche mag folgender wohl der erste gewesen sein, der seine Vermutungen bestätigte. KÜHNE entdeckte nämlich rein zufällig, wie er ausdrücklich betont, auf einer aus einem Froschauge entnommenen Netzhaut das Bild einer Gasflamme "mit seinen züngelnden Spitzen", die der Frosch 14 Stunden lang bis zu seinem Tode angestarrt hatte. Inwieweit KÜHNE sich in dieser

Angabe von seiner Phantasie leiten ließ, mag dahingestellt sein und an einer späteren Stelle abgehandelt werden.

Als zweiter Versuch kann jener gelten, den er am 15. Januar 1877 im Centralblatt veröffentlicht, an anderer Stelle allerdings auf den 16. Januar 1877 datiert. Ein lebendes Kaninchen wurde 1,5 m von einer 23 x 27 cm großen Öffnung eines Fensterladens entfernt fixiert. Auf der rechten Cornea war das Spiegelbild dieser Öffnung zu finden. Nun wurde das Auge 5 Minuten lang mit einem schwarzen Tuch verdunkelt, danach 3 Minuten lang belichtet. Anschließend enthauptete er das Kaninchen, enukleierte das Auge im Dunkeln, öffnete es und legte es in 4% Alaun. KÜHNE erhielt einen nahezu quadratischen hellen Fleck von 1 mm^2 Größe auf rotem Grund. Um die Glaubwürdigkeit dieses sensationellen Resultates zu unterstreichen, schreibt KÜHNE im Centralblatt: "Unter den kompetenten Zeugen des Versuches ermächtigt mich Herr College Bunsen zur Anführung seiner besonders wertvollen Zustimmung".

Von diesem Erfolg ermutigt, ging KÜHNE dazu über, Objekte zu benutzen, die für jedermann ohne Schwierigkeiten erkenntlich sind. So bediente er sich eines großen Bogenfensters, dessen Kreuze er durch Bretter bis auf 22 cm verstärkte. Die sonstige

Versuchsanordnung unterschied sich nicht wesentlich von der oben genannten.

Nachdem es KÜHNE nun gelungen war, Optogramme zu erhalten, versuchte er, sie zu konservieren, d.h. lichtunempfindlich zu machen. Obwohl er mit den verschiedensten Substanzen eine Fixierung der Optogramme zu erreichen suchte, blieb ihm der Erfolg versagt. Er nennt Stoffe, die den Sehpurpur zersetzen und solche, die ihn nicht angreifen. Unter letzteren ist Kaliumalaun anzutreffen, das den Kontrast zwischen rot und weiß besonders hervorhebt. Er kam zu dieser Entdeckung, als er nach einer Substanz suchte, die die Netzhaut härtet, damit sie leichter aus dem eröffneten Auge zu entfernen sei.

Kaliumalaun gehört zu den Adstringentien, macht die Netzhaut also griffiger und weniger leicht zerreißlich.

Sein Verfahren war folgendes: Nachdem er ein Auge belichtet hatte, halbierte er es am Äquator, entfernte den vorderen Augenabschnitt samt Glaskörper und gab den Skleranapf, der nur noch die Netzhaut beinhaltete, 24 Stunden lang in eine 4% Alaunlösung. Danach legte er das halbierte Auge in Wasser. Dies ist insofern wichtig, als dabei überschüssiges Alaun von der Netzhaut gewaschen wird, das sonst beim Trocknen kristallisiert und

die Netzhaut brechen läßt. Außerdem läßt sich eine schwimmende Netzhaut leichter weiterbehandeln als eine, die in sich zusammengefallen ist. Mit einem Locheisen stanzte er die Netzhaut am Optikuseintritt aus und konnte nun die Retina aus dem Skleranapf entnehmen, um sie sogleich, unter Wasser, auf ein Porzellanschälchen zu stülpen. Zu Beginn stülpte er die Sklera samt Retina um und legte beides in Alaun; weil er nun die Vorderseite der Netzhaut betrachtete, wo naturgemäß kein Sehpurpur zu finden ist, konnte er hier kein positives Ergebnis erzielen.

Wiederum per Zufall fand KÜHNE eine weitere Methode zur Konservierung seiner Optogramme. Brachte er noch feuchte Netzhäute ans Licht, so verblichen die Optogramme rasch. Waren die Netzhäute aber bereits trocken, so verloren sie erst nach beträchtlicher Zeit ihre Zeichnung. Diese Beobachtung veranlaßte ihn, alle Optogramme in einem Exsikkator aufzubewahren. Durch diesen einfachen Trick wurden seine Optogramme wesentlich lichtunempfindlicher; er spricht sogar von der Farbechtheit des Sehpurpur.

Dunkeladaptierte Tiere benutzte KÜHNE selten. Manchmal hielt er sie über Nacht in einem dunklen Raum, öfters aber waren die Tiere nur so lange

dunkeladaptiert, so lange er benötigte, um sie zu fixieren und vor einem Muster aufzustellen.

Eine Narkose benötigten seine Tiere nicht, sie hielten angeblich auch so still, wenn man sie öfters streichelte und sich ruhig verhielt. Ab und zu benutzte er einen Lidhalter oder fixierte das Auge mit einigen Fäden in der Conjunctiva. Die Ruhigstellung des Bulbus war somit für ihn gewährleistet.

KÜHNE belichtete seine Netzhäute sehr unterschiedlich zwischen einer und zwölf Minuten; in Extremfällen wie beim erwähnten Flammenoptogramm am Frosch, sogar 14 Stunden. Die richtige Belichtung war für ihn eine Ermessens- und Erfahrungssache, ähnlich wie es die Fotografen seiner Zeit praktizierten, indem sie die Belichtungszeit den Beleuchtungsverhältnissen anpassten. Er bediente sich ausschließlich des Tageslichts, wobei Sonnenschein nicht unbedingt erforderlich war, denn er erhielt auch bei Nebel und Regen brauchbare Optogramme, empfahl jedoch als beste Tageszeit die Stunden zwischen 11 und 15 Uhr.

Ergänzend sei erwähnt, daß KÜHNE "die Gartenseite des hiesigen Laboratoriums und ein menschliches Bildnis" als Objekt benutzte, aber auch betont, daß diese Optogramme "viel zu wünschen übrig ließen!"

BIOCHEMIE DER NETZHAUT

Die Säugetiernetzhaut enthält zwei lichtempfindliche Zellarten. Die Zapfen, die für das Farbsehen verantwortlich sind - sie sollen hier nicht mitbesprochen werden - und die Stäbchen, die Rhodopsin (Sehpurpur) enthalten. Sie ermöglichen das Sehen im Dunkeln, sind also zuständig für schwarz-weiß Kontraste.

Das Sehpurpurmolekül besteht aus einem Proteinanteil, dem Opsin; seine Konfiguration ist weitgehendst unklar. Der zweite Bestandteil ist eine prosthetische Gruppe; sie liegt entweder als 11-cis-Retinal oder als 11-cis- β -Dehydroretinal vor.

Wird nun der Sehpurpur von einem Photon getroffen, so isomerisiert die prosthetische Gruppe aus der 11-cis in die all-trans Konfiguration. Durch die veränderte Molekülgestalt wird die Proteinbindung gestört und das Protein macht vermutlich eine Änderung der Raumstruktur durch. Die photochemische Umsetzung führt auf bisher ungeklärte Weise zur Nervenerregung. Der Stabilitätsverlust des Moleküls läuft in mehreren Reaktionen ab und bringt schließlich die stabilen Endprodukte Retinal und Opsin hervor. Die eindeutig

isolierten Zwischenprodukte dieser Reaktionen sind Sehorange, Sehgelb und Sehweiß.

Retinal wird wahrscheinlich von seiner Eiweißbindung hydrolytisch abgespalten. Trans-Retinal kann dann durch eine Isomerase in cis-Retinal umgewandelt werden. Dieses verbindet sich wiederum in einer Spontanreaktion mit Opsin.

Ein beträchtlicher Teil des trans-Retinal wird durch eine Alkoholdehydrogenase zum Retinol (Vit. A₁) reduziert. Retinol steht mit der Blutbahn im Austausch, kann aber auch zu Retinal dehydriert werden.

Der heutige Wissensstand über die Sehpurpurregeneration ist noch sehr lückenhaft. Man vermutet, daß instabile Zwischenprodukte durch Isomerasen und durch Spontanreaktionen zu cis-Retinal umgewandelt werden können.

Grundsätzlich ist die Regeneration des Sehpurpur eine Wiederherstellung beschädigter Moleküle. Man kann darunter auch eine de-novo-Synthese verstehen.

Durch autoradiografische Methoden wurde in den inneren Segmenten eine Eiweißsynthese entdeckt. Dieses Eiweiß wird an die Außenglieder abgegeben. Ob es sich dabei um Opsin handelt, ist noch unklar.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

In diesem Abschnitt soll beschrieben werden unter welchen Bedingungen es möglich ist, Optogramme heute herzustellen. Dazu ist es unumgänglich, diese Versuche ausführlich zu erläutern, um es anderen Untersuchern zu ermöglichen, jederzeit reproduzierbare Optogramme zu erhalten. Vorweggenommen sei betont, daß die zu beschreibenden Versuche, im Gegensatz zu KÜHNES, ausschließlich bei künstlichem Licht durchgeführt wurden. In einer Versuchsreihe werden die Netzhäute narkotisierter Kaninchen belichtet, während in einer zweiten Reihe nur unter Rotlicht enukleierte Augen verwendet werden.

Dunkeladaption der Kaninchen

In den ersten Versuchen wurden die Tiere solange dunkeladaptiert, wie es erforderlich war, sie in eine tiefe Narkose zu versetzen (ca. 20 Minuten). Später wurden die Augen solcher Tiere benutzt, die sich mindestens 6-8 Stunden im Dunkeln aufgehalten hatten, um eine optimale Sehpurpurregeneration zu erzielen. Mit dieser verlängerten Dunkeladaption wurden jedoch keine qualitativ besseren Optogramme erhalten.

Narkose

Zur Narkose wurde ausschließlich Evipan in einer Verdünnung von 1:100 benutzt. Dieses Verhältnis erwies sich als günstig, da es sich entsprechend der groben Reflexe des Kaninchens, relativ einfach dosieren ließ. Das erwünschte Narkosestadium 3 war mit dieser Methode jedoch nicht immer zufriedenstellend zu erreichen, da die Tiere bei geringster Überdosierung durch Atemstillstand ad exitum kamen. Befriedigender, aber auch aufwendiger, wäre eine totale Kreislaufüberwachung und Intubationsnarkose gewesen. Narkosestadium 3 ist deshalb erwünschenswert, weil im Stadium 2 die Tiere einen Nystagmus entwickeln. Der Versuch, das Auge mit Lidhaltern der verschiedensten Art zu fixieren, mißlang. Eine Ruhigstellung des Bulbus muß jedoch gewährleistet sein.

Der Katheder für die intravenöse Narkoseinjektion wurde in eine Ohrvene entweder bei Rotlicht oder bei Helligkeit, während die Augen der Tiere mit schwarzen Klappen verbunden worden waren, eingeführt. In den Versuchen am enukleierten Auge wurden 0,5 g Evipan mit 10 ml physiologischer Kochsalzlösung verdünnt, schnell injiziert. Nachdem das Tier ad exitum kam, konnten die Bulbi bei Rotlicht schnell enukleiert werden.

Belichtung

Unter den vorhandenen Laborbedingungen erwies sich eine Belichtungszeit von 5 Minuten als günstig für das enukleierte Auge, obwohl Zeiten zwischen 4 und 7 Minuten auch Optogramme ergaben. Bei Experimenten am lebenden, narkotisierten Kaninchen mußte die Belichtungszeit verdoppelt werden. Als Lichtquelle diente eine 500 Wattbirne, welche 40 cm hinter der Milchglasscheibe angebracht war.

Entfernungsmessung

Die richtige Entfernung und die erwünschte Größe des auf die Netzhaut geworfenen Bildes wurde mit Hilfe eines enukleierten Auges ermittelt. Dies gelingt verhältnismäßig leicht, denn die Kaninchen-sklera ist dünn und gut lichtdurchlässig. So kann man das auf der Netzhaut abgebildete Muster durch die Sklera wie auf einer Mattscheibe betrachten. Die Zweckmäßigkeit dieses Testes besteht darin, daß man einen Eindruck gewinnt, wie groß Muster und Entfernung sein müssen, um eine gewünschte Optogrammgröße zu erreichen. Für jedes Muster wurde auf diese Weise der richtige Abstand festgestellt. Der günstigste Abstand für einen Mesterdurchmesser von 25 cm betrug 30 cm.

Entfernung der Netzhaut

Der Versuch wurde unternommen, mittels einer Revolverlochzange den Optikus von der Netzhaut zu trennen. Dieses Verfahren hatte Nachteile, da unter Rotlicht die Sicht nicht ausreichend war, um Schäden an der Netzhaut zu vermeiden. Besser eignet sich folgende Methode: das belichtete Auge wird sofort am Limbus mit einer Rasierklinge eröffnet und die Iris mit einer Hakenpinzette gefaßt. Unter leichtem Zug wird sie samt Linse und Glaskörper aus dem Spalt herausgezogen. Mit einer feinen Schere wird anschließend die Hornhaut entfernt; den verbliebenen Skleranapf gibt man in 4% Alaunlösung. Nach 24 Stunden Einwirkungszeit wird die Sklera zirkulär an der Ora serrata abgeschnitten. Wenn man an der richtigen Stelle operiert hat, kann man unter schwachen Bewegungen im Wasser feststellen, daß die Netzhaut im Augenbecher flottiert, da sie lediglich noch am Optikus befestigt ist. Unter Belassen eines winzigen Optikusstumpfes kann man nun die restliche Sklera beschneiden.

Aufziehen der Netzhaut

Anfangs wurden Kugeln aus schwarzem Plastillin verwendet in der Annahme, daß ein weißes Optogramm darauf besser zu erkennen sei. Jedoch erkennt man

darauf weder weiß noch purpur. Plastillin erwies sich ferner nicht als optimal, da die Kugeln schnell Fingerabdrücke annehmen und sich beim Hantieren leicht verformen. Geeigneter erschienen Kügelchen aus gebrannter, weißer Knetmasse, welche eine glatte Oberfläche aufweisen. Um nun die Netzhaut auf eine solche Kugel aufzuziehen, legt man sie neben die Netzhaut in eine Schale mit Wasser. Mit einer Pinzette faßt man die Netzhaut am Optikusstumpf und hebt sie, unter ständigen Auf- und Abbewegungen, bis sie sich wie ein Fallschirm öffnet, auf die Kugel. Liegt die Netzhaut nun nicht völlig faltenlos auf der Kugel, so streicht man sie vorsichtig mit den Fingern glatt. Dabei kann sie aber leicht einreißen. Zum Trocknen gibt man die Retina dann in ein lichtdichtes Gefäß.

Fotografieren des Optogrammes

Dieser Schritt ist noch immer mit Schwierigkeiten behaftet und noch nicht zufriedenstellend gelöst. Es wurde ein rotunempfindlicher Film (Agfaortho) und ein Grünfilter (VG 14 Schott & Gen. Mainz) verwendet. Die Durchlässigkeit des Filters für Licht von 600 nm beträgt 10%, für 650 nm 1,0% und für 700 nm 0,01%. Durch starke Beleuchtung tritt ein Kontrastverlust ein, welcher

bei schwacher Beleuchtung auch nicht zu beseitigen ist, da man für Makroaufnahmen lange Belichtungszeiten und somit die Bleichung des Optogrammes in Kauf nehmen muß.

ERGEBNISSE

Anfangs diente ein einfaches Streifenmuster, das auf eine 125 x 125 cm große Leinwand projiziert wurde, als Objekt. Die 5 cm breiten schwarzen Streifen waren jeweils von 5 cm breiten weißen Streifen getrennt. Das narkotisierte Kaninchen wurde in 50 cm Abstand von dieser Leinwand plaziert, so daß das Spiegelbild der Leinwand auf dessen Cornea wiederzufinden war. Dieser Abstand wurde von KÜHNE übernommen, da es primär wichtig erschien, einen Bezugspunkt zu finden, der später variiert werden könnte. Da bezüglich der Belichtungszeit keine exakten Anhaltspunkte zur Verfügung standen und das gegebene Licht sehr hell erschien, wurde eine Zeit von 2 Minuten gewählt, die sich jedoch als zu lang erwies, weil eine gänzlich gebleichte Netzhaut vorgefunden wurde. Bei Halbierung der Belichtungszeit war die Netzhaut in getrocknetem Zustand orange, jedoch ohne Optogramm. Da die schwarzen Streifen nicht schwarz genug erschienen, d.h. das Muster als solches zu kontrastarm erschien und keinerlei Aussicht auf Erfolg versprach, wurde die Versuchsanordnung abgeändert. Jetzt wurde die Leinwand direkt mit 5 cm breiten schwarzen Streifen

beklebt, der Projektor dahinter gestellt und das Kaninchen davor.

Beim Experimentieren mit den Belichtungszeiten stellte sich heraus, daß man die Farbe der getrockneten Netzhaut als Belichtungsmesser heranziehen kann: ist die Netzhaut gebleicht, dann muß kürzer belichtet werden.

Nach erfolglosen Versuchen mit Belichtungszeiten zwischen 15 Sekunden und 7 Minuten sowie verschiedenen Lichtintensitäten, wurde anstelle der Leinwand eine 50 x 50 cm Milchglasscheibe verwandt, welche jetzt mit 7,5 cm breiten Streifen beklebt war. Bei einer Belichtungszeit von 10 Minuten ergab diese Versuchsanordnung ein Optogramm, das an Schärfe und Kontrast sehr zu wünschen übrig ließ und erst nach längerer Betrachtung als solches zu erkennen war. Fotografisch wurde dieses Optogramm wegen seiner Minderwertigkeit nicht festgehalten, jedoch zeigte es, daß es durchaus möglich ist, solches am lebenden Auge zu erhalten, womit KÜHNES Angaben bestätigt wären.

Aufgrund der Unschärfe dieses Optogrammes, beschloß man die richtige Entfernung vom Objekt am enukleierten Auge zu ermitteln. Dabei stellte sich heraus, daß bei den gegebenen Bedingungen ein Abstand von 30 cm ausreichend ist, um das

ganze Muster deutlich auf der Netzhaut zu erkennen. Rückt man das Auge näher an das Objekt, erhält man nur einen kleinen Ausschnitt des Musters; bei größerer Entfernung wird das Muster erheblich verkleinert und ist nicht mehr als solches zu erkennen. So zeigt z.B. Abb.1 deutlich perspektivistische Verkürzungen eines schachbrettartigen Musters. Die Mustergröße des linken hellen Recht-

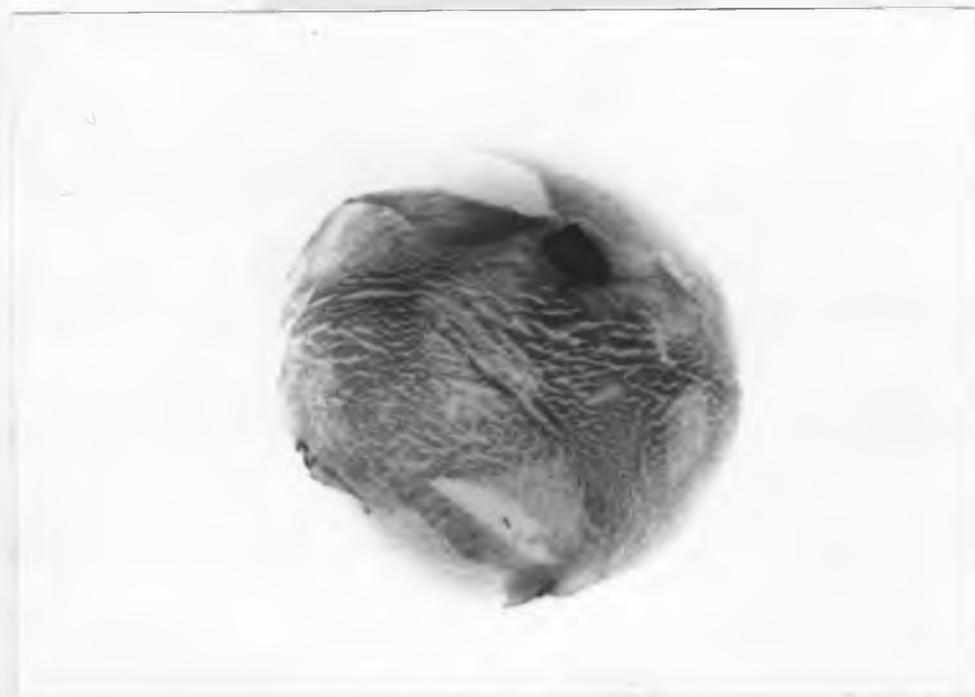


Abb.1: Optogramm auf der Kaninchenretzhaut. Schachbrettartiges Muster mit perspektivistischen Verkürzungen.

eckes beträgt 5 x 5 cm, das rechte 6 x 6 cm. Das enukleierte Auge war 20 cm vom Objekt entfernt.

Bei der zweiten Fotografie (Abb.2) wurde die Ziffer 3 aus schwarzem Karton herausgeschnit-

ten und der Karton so vor die Milchglasscheibe gestellt. Im Vergleich zu Abb.1 ist zu bemerken,



Abb.2: Optogramm der Ziffer 3. Das Muster ist aus schwarzem Karton herausgeschnitten.

daß dunkle Flächen der Netzhaut auf der Fotografie besser zur Geltung kommen. Aus diesem Grunde wurden für die weiteren Versuche schwarze Muster wie z.B. das Kreuz (Abb.3) und die Ziffer 75 (Abb.4) angefertigt und auf dem Glas angebracht. Wie aus den Fotos ersichtlich ist, führen nur einfache grobe Muster zu gutem Erfolg. Kleinflächige oder kontrastarme sind nicht zu verwerten.

Bei der Betrachtung eines fotografierten

Optogrammes setzt der Betrachter sein Augenmerk zunächst auf flußlaufähnliche Rillen. Diese Artefakte werden durch die starke Vergrößerung des Originals verursacht. Am Optogramm selbst treten



Abb.3: Optogramm eines schwarzen Kreuzes

diese durch Trocknen entstandenen Netzhautrhagaden für das Betrachterauge überhaupt nicht in Erscheinung.

Aus unerklärlichen Gründen haften des öfteren Pigmente auf der konservierten Netzhaut. Auch sie können das schönste Optogramm nicht auswertbar werden lassen.

Alle fotografierten Optogramme wurden von

enukleierten Augen hergestellt. Dabei ist zu beachten, daß der Optikusstumpf, in den Fotos als schwarzer Fleck erkennbar, möglichst am Optogramm-



Abb.4: Optogramm der Ziffer 75. Am oberen Rand ist ein Netzhautriß zu erkennen, der beim Aufziehen der Retina auf eine Kugel entstanden ist. Den oberen rechten Rand bildet ein Stückchen Netzhaut, das nicht belichtet wurde (Umrandung der Milchglasscheibe).

rand erscheinen sollte, wo er als weniger störend empfunden wird.

Schließlich bleibt noch zu erwähnen, daß versucht wurde, ein Optogramm an einem menschlichen Auge, welches wegen eines Aderhautmelanoms enukleiert werden mußte, zu erhalten. Leider scheiterte dieses Experiment an einigen technischen Problemen,

so daß die Frage, inwieweit die Optografie auch beim menschlichen Auge nützlich ist, mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden kann. Für das Kaninchenauge kann man jedoch sagen, daß nur unbewegliche, kontrastreiche und grobe Objekte verwertbare Optogramme ermöglichen.



Abb.5: Optogramm eines Schachbrettmusters. Die Mustergröße der hellen und der dunklen Quadrate beträgt 10 x 10 cm. Entfernung des enukleierten Auges vom Muster beträgt 30 cm.

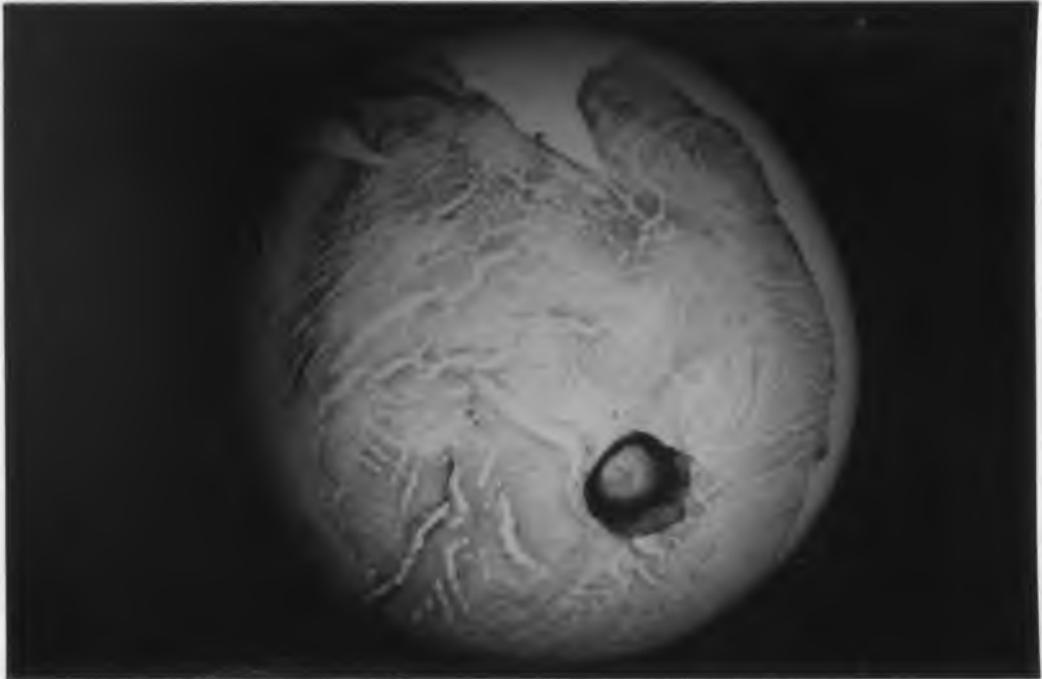


Abb.6: Optogramm der Ziffer 75. Es handelt sich um die gleiche Retina wie in Abb.4; in dieser Aufnahme sind seitliche und untere Milchglasscheibenumrandung deutlich zu erkennen.

DISKUSSION

Mag man die Exaktheit der KÜHNESchen Versuche in Frage stellen, so muß man doch einräumen, daß er die Optografie als Methode entwickelt hat und damit entscheidend das Wissen über den Sehpurpur beeinflußt hat. So schreibt er: "Die Optografie ist im weitesten Sinne das Mittel gewesen, die lokale Wirkung des Lichtes auf die Retina beim Sehen objektiv nachzuweisen, denn sie bewies allein und zuerst, daß das Licht nicht weil es überhaupt ins Auge gelangt oder weil es irgendwie die Retina erreicht, die Farbe der Netzhaut ändert, sondern daß es dies nur tut, wo es die gefärbten Elemente trifft".

Mit Hilfe der Optografie gelingt es, die bleichende Wirkung des Lichtes auf bestimmte Bezirke der Netzhaut zu beschränken. Der Einfluß des Lichtes ist wie der auf einen fotografischen Film: belichtete Stellen werden zersetzt und sind damit lichtunempfindlich gemacht. Ein wesentlicher Unterschied ist allerdings darin zu sehen, daß man beim Film ein Negativ erhält, während man das Optogramm als Positiv ansehen muß. Anders ausgedrückt bedeutet dies, daß die dunklen Flächen eines Optogrammes den dunklen Flächen des Musters

entsprechen, während beim Film die dunklen Stellen mit den hellen des Musters übereinstimmen.

Hat man nun ein solches Positiv (Optogramm) erhalten, so wird man bestrebt sein, dieses zu fixieren, also haltbar und lichtunempfindlich zu machen. Für den Fotografen bedeutet Fixieren die Entfernung des noch vorhandenen lichtempfindlichen Silbersalzes. Würde man jedoch versuchen, gemäß dieser Definition ein Optogramm zu behandeln, so würde man bei der Entfernung der lichtempfindlichen Stellen das Bild auswischen. Insofern ist es wichtig, zu beachten, daß nach dem Zeitpunkt der Belichtung kein Licht mehr die Netzhaut trifft bis sie vollständig getrocknet ist. Wenn man also von einer Fixierung der Optogramme spricht, sollte man eher an die Fixierung des Histologen denken, da auch hier lediglich Eiweiß präzipitiert wird. Dazu eignet sich Kaliumalaun, welches den Sehpurpur in keiner Weise alteriert, sondern nur die Netzhaut zur weiteren Behandlung griffiger und weniger zerreißlich macht. Fotografischer Entwickler z.B. läßt die Netzhaut durchsichtig und geleeartig werden, so daß es unmöglich ist, sie auf eine Kugel aufzuziehen. Außerdem zersetzt so ein Entwickler den Sehpurpur.

Im wesentlichen unterscheiden sich KÜHNES

Arbeiten von den vorliegenden Untersuchungen geringfügig. Jetzt wurde jedoch der fotografische Beweis erbracht, daß die Optografie als Methode sich verwirklichen läßt, während KÜHNE sich nur auf kompetente Zeugen oder Zeichnungen berufen konnte. Uneingeschränkt kann gesagt werden, daß er die Pionierarbeit auf diesem Gebiet geleistet hat und sogar die Optografie in die Reihe der Vorlesungsversuche aufnehmen wollte. Bisweilen ließ er sich jedoch von seinem Eifer und seiner Phantasie beflügeln, so z.B. in seinen Optogram Zeichnungen: alle zeigen sowohl die markhaltigen Fasern als auch die gebleichten Netzhautstellen auf einer Darstellung. In Wirklichkeit verhält es sich etwas anders: die markhaltigen Fasern liegen auf der Innenseite, also glaskörperwärts; im Gegensatz dazu trifft man die Stäbchen mit dem Sehpurpur auf der Außenseite, also aderhautwärts, der Retina. Auch das oben erwähnte Flammenoptogramm dürfte hier einzuordnen sein.

Mit diesen Zeichnungen, damals das einzige Mittel um derartige Ergebnisse veröffentlichen zu können, gelingt es, wichtige Merkmale besonders hervorzuheben und andere, die vielleicht stören, einfach zu umgehen. Anders verhält es sich bei der Fotografie solcher Optogramme. Dabei verlieren sie

an Qualität und Aussagekraft, weil die Kontraste weitaus schwächer sind als im Originalpräparat.

Schließlich bleibt die Frage zu erörtern, ob die Optografie für die Kriminalisten von Nutzen sein könnte. Aus den Versuchen ist ersichtlich, daß die Beleuchtung, die Belichtungszeit und der Kontrast limitierende Faktoren bei der Optografie sind. Normale Beleuchtungsverhältnisse, wie z.B. Tageslicht, reichen nicht aus, um den Sehpurpur am lebenden Auge wesentlich zu bleichen, da nämlich nur geringe Mengen des Sehpurpur zersetzt werden. Ferner eignet sich diese Methode auf Grund der langen Belichtungszeit nicht für kriminalistische Zwecke. Die Bleichung des Sehpurpur erfolgt nach dem Gesetz $I \times t = \text{konstant}$. Um den Zeitfaktor möglichst klein zu halten, werden Intensitäten benötigt, wie sie bei Tageslicht nicht zu erreichen sind.

Weiterhin haben die Versuche am Kaninchenauge gezeigt, daß ein Muster von der Größe eines menschlichen Kopfes ca. 30 cm von dem abbildenden Auge entfernt sein muß, um auf der Netzhaut groß genug zu erscheinen. Ein Optogramm ist für kriminalistische Zwecke daher nicht zu gewinnen.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Optografie ist eine Art der Blendung, bei der nur die vom Licht unmittelbar getroffenen Stellen der Netzhaut ihres Sehpurpur beraubt werden. Im Versuch wird dabei mittels des dioptischen Apparates eines Kaninchenauges ein kontraststarkes Muster auf der Retina abgebildet.

Es werden Versuche an lebenden und enukleierten Augen beschrieben. Ein positives Resultat wird nur durch die absolute Ruhigstellung des Bulbus garantiert. Nicht berücksichtigt werden die Regenerationsvorgänge, die beim lebenden Tier stattfinden. Objekte oder Muster können nur Verwendung finden, wenn sie in Größe und Kontrast bestimmte Anforderungen erfüllen. Da das Original nicht lichtbeständig ist, ist es vonnöten, ein fotografisches Abbild des Optogrammes herzustellen, um das Ergebnis auch außenstehenden Personen sichtbar zu machen.

Die Frage, inwieweit ein Optogramm von Gegenständen oder Personen auf der Netzhaut eines Ermordeten, die er unmittelbar vor seinem Tode gesehen hat, möglich ist, wird diskutiert.

LITERATUR

- BOLL, F.: Zur Anatomie und Physiologie der Retina.
Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften, 230 - 233 (1877)
- Zur Anatomie und Physiologie der Retina.
Monatsberichte der königlichen preussischen
Akademie der Wissenschaften zu Berlin,
783 - 787 (1876)
- DARTNALL, H.: Handbook of Sensory Physiology, 7,
New York-Berlin-Heidelberg: Springer 1972
- KEIDEL, W.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie.
Stuttgart: Thieme 1970
- KÜHNE, W.: Chemische Vorgänge in der Netzhaut.
In HERMANN: Handbuch der Physiologie, 3,
1. Teil, 235 - 342. Leipzig: Vogel 1879
- Vorläufige Mitteilung über optographische
Versuche. Centralblatt für die medicinischen
Wissenschaften, 33 - 35 (1877)
- Zweite Mitteilung über Optographie. Central-
blatt für die medicinischen Wissenschaften,
49 - 50 (1877)
- Untersuchungen aus dem Physiologischen Insti-
tute der Universität Heidelberg, 1 - 4, 1878
- WINTERSTEIN, H.: Handbuch der vergleichenden Physio-
logie. 4, Jena: Fischer 1913

Herrn Prof. Dr. E. Alexandridis möchte ich für die Überlassung des Themas und für seine Ratschläge bei der Durchführung der Untersuchungen meinen besten Dank aussprechen.

LEBENS LAUF

Am 2. Februar 1945 wurde ich als Sohn des Maurermeisters Paul Ott und seiner Ehefrau Emma, geb. Kruck, in Ueckermünde/Pommern geboren. Vom Jahre 1951 an besuchte ich die Volksschule in Wolfratshausen/Obb. und wechselte 1956 in das Realgymnasium Icking/Obb., das ich bis Oktober 1961 besuchte.

Da meine Mutter im Jahre 1957 und mein Vater im Jahre 1961 starben, wurden meine Schwester Angelika und ich von dem Arzt Dr. med. Harald Klothmann und seiner Ehefrau Jutta, geb. Großkopf, die in Kanada lebten, adoptiert. Dort besuchte ich von November 1961 bis Oktober 1963 die High School in Evansburg/Alberta.

Zu diesem Zeitpunkt zogen wir von Kanada nach Kalifornien um, woraufhin ich im November 1963 in Sunnyvale/Kalifornien die "Fremont High School" besuchte und sie im Juni 1964 mit einem Diplom abschloß.

Nach einer zweijährigen Absolvierung des "Foothill College" in Los Altos Hills/Kalifornien, besuchte ich ein Semester lang das "San Jose State College" in San Jose/Kalifornien. Nach dem Wechsel auf das "Humboldt State College" in Arcata/Kalifornien

nien, wo ich von Februar 1967 bis März 1969 eingeschrieben war, schloß ich das Studium mit dem Bachelor of Arts in Biologie ab.

Im April 1969 kam ich nach Heidelberg, um hier Medizin zu studieren. Da die Anerkennung meiner ausländischen Zeugnisse als Berechtigung zum Hochschulstudium in Deutschland etwas langwierig war, konnte ich das Medizinstudium erst im Sommersemester 1970 beginnen. Nach zweisemstrigem Studium bestand ich die naturwissenschaftliche und nach 5 Semestern die ärztliche Vorprüfung. Zur Zeit befinde ich mich im 5. klinischen Semester und werde im Sommer 1975 das medizinische Staatsexamen ablegen.