

Archiv für Psychiatrie und Zeitschrift Neurologie, Bd. 182, S. 543—569 (1949).

Aus der Akademie-Augenklinik Düsseldorf (damaliger Direktor: Prof. Poos).

Physiologie der nicht lichtreflektorisch bedingten Pupillenverengerungsreaktionen.

(Naheinstellungsreaktion, Lidschlußreaktion, Schlafreaktion,
Operationsreaktion.)

Von
FRITZ POOS.

Mit 2 Textabbildungen.

(Eingegangen am 28. Dezember 1948.)

Einleitung.

In der vorliegenden Abhandlung fasse ich 4 noch nicht publizierte Arbeiten zusammen, die beweisen sollen, daß die nicht lichtreflektorisch bedingten Verengerungsreaktionen der Pupille etwas grundsätzlich anderes sind als was sie vorher galten und als was sie die klinische Diagnostik integrierten, die ferner dar tun, daß es sich bei allen diesen Reaktionen um dieselben *intraokularen Vorgänge* handelt, deren Ingangsetzung und Bewegungsablauf, soweit sie allein die Pupillenbewegung betreffen, unabhängig vom Zentralnervensystem erfolgen.

Allen diesen bislang als grundsätzlich verschiedenen betrachteten Reaktionen eine gemeinsame physiologische Grundlage gegeben zu haben, rechtfertigt das sonst für eine Originalarbeit wohl zu anspruchsvolle Thema. Freilich habe ich erst mit meinen Gründen zu kommen. Ich unterbreite sie im folgenden dem Neurologen zur Prüfung ihrer Stichhaltigkeit. Einen Gewinn wird er in jedem Falle haben. Akzeptiert er sie auf Grund ihrer Logik und Plausibilität, dann hat er eine neue Plattform, von der sich mehr ganz anders ausnimmt, als er in der Lage ist, anfänglich zu überschauen. Lehnt er sie ab, dann hat er die Aufgabe, durch schöpferische Gedankenarbeit die an den wichtigsten Punkten postierten Argumente wirkungslos zu machen.

Auf zwei Bundesgenossen, die für die kritische Beleuchtung bislang auf diesem Gebiete unklar gebliebener Zusammenhänge die mächtigsten sind, habe ich zunächst so gut wie ganz verzichtet, und zwar aus technischen, bzw. systematischen Gründen der Publikationsfolge. Es sind dieses die Entwicklungsphysiologie und die Pathologie. Die erste rektifiziert immer wieder unsere durch die teleologisch-analytische Denkmethode bis zur Unlösbarkeit falsch plazierten Fragestellungen, besitzt die sich selbst legitimierende Überzeugungskraft der

Kontinuität der Erscheinungen und soll in einem größeren Zusammenhang zu Wort kommen. Die zweite hat für die Evidenz der ange nommenen normalen Zusammenhänge sehr häufig das kritische Gewicht der Probe auf das Exempel. Dieses soll später in einem logischen System der Pupillenstarren in die Waagschale geworfen werden. Ich hoffe, bei der in dieser Abhandlung schon reichlich weit abgegrenzten Aufgabe zunächst mit der biologisch-unhistorischen Betrachtungsweise und vorwiegend mit rein physiologischen Gesichtspunkten zum Ziele zu kommen.

Die Naheinstellungsreaktion.

Versteht man unter Reflex die Umschaltung eines peripherischen Sinneseindruckes auf motorische Apparate, so besteht bezüglich der echten Reflexnatur von Fusion bzw. Konvergenz und Akkommodation kein Zweifel. Hierbei sind es die Querdisparation und Zerstreuungskreise mit bestimmten Schwellenwerten, welche die zentralen Organe für die korrigierenden Muskelapparate automatisch erregen und hemmen. Für den regulierenden Lichtreflex ist es die Empfindung einer Helligkeitszunahme oder -abnahme, mit welcher die reflektorische Pupillenverengerung oder -erweiterung verknüpft ist.

Dagegen ergeben sich bezüglich der Einordnung der Naheinstellungsreaktion der Pupille nicht geringe Schwierigkeiten. Für diese fehlen die Voraussetzungen, die eine automatische Muskelreaktion als selbständigen Reflexvorgang kennzeichnen. Da normalerweise die Pupillenverengerung immer zwangsläufig mit Konvergenz und Akkommodation in Erscheinung tritt, wies man ihr als nichtreflektorische sog. Mitbewegung oder Mitreaktion eine Sonderstellung zu. Unter „Mitreaktion“ würde man also hier einen Vorgang zu verstehen haben, bei welchem eine automatisch erfolgende Regulierung durch ein autonomes Erfolgsorgan zustande kommt, ohne daß eine der Regulierung voraufgehende Unstimmigkeit als Reiz auftritt. Es bestünde demnach für den Vorgang nur eine zentrifugale Bahn.

Die finale Betrachtungsweise, d. h. die Beantwortung der Frage nach dem Sinn und der Bedeutung der Nahblickverengerung vermag gleichfalls nicht die unklaren Beziehungen zwischen einer zentralnervösen Einrichtung und der Verengerungsreaktion zu erhellen. Über den Zweck der Pupillenverengerung beim Nahsehen sind verschiedene Ansichten geäußert worden. Es ist aber nicht anzunehmen, daß die Lichtregulierung hierbei von Bedeutung ist. Ferner ist nach den sorgfältigen Untersuchungen von AMES und PROCTOR der Verlauf der Aberrationskurve beim Auge nicht derjenige, der bei den üblichen, aus homogenem Material hergestellten Linsen und Linsensystemen rechnerisch und experimentell gefunden wird, sondern es wird infolge

der Schichtung in der Linse des menschlichen Auges die einfache Aberrationskurve in eine solche verwandelt, bei der mit Vergrößerung der Blendenöffnung immer wieder Maxima und Minima der Schnittweiten abwechseln. Eine Veränderung des Pupillendurchmessers kann also für die Bildsehschärfe nur unwesentlich sein, soweit die Wirkung der sphärischen Aberration in Frage kommt.

Es bleibt nur noch eine Tatsache zu erwähnen, die für die Pupillenveränderung von Bedeutung sein kann und sein wird, nämlich ihr Einfluß auf den Tiefenbereich des scharfen Sehens in der Nähe. Die Tiefe eines Systems nimmt mit Änderung der Dingentfernung schnell zu und ab. Würde die bei mittlerer Helligkeit und Ferneinstellung vorhandene Pupillenweite von $D = 3,5$ mm auch bei Naheinstellung auf 300 mm verbleiben, so würden die Tiefengrenzen 304,3 mm und 295,7 mm betragen und damit ein Tiefenintervall von 8,6 mm sich ergeben, das sich bei Naheinstellung und Pupillenweite $D = 1,5$ mm auf 20 mm erweitern würde. Umgerechnet auf Dioptrien ergibt dies bei $D = 3,5$ mm einen Bereich von 0,096 Dioptr., bei $D = 1,5$ mm dagegen 0,222 Dioptr. und daher eine wesentliche Steigerung des Tiefenbereiches. Es ist zu beachten, daß hiermit wenigstens die Akkommodationsschwellenbreite überschritten wird, für die unter normalen Verhältnissen 0,15 Dioptr. angenommen werden muß. Zweck der Pupillenreaktion beim Nahsehen dürfte also die Vergrößerung des Tiefenbereiches sein, auf die bei der Naheinstellung besonderer Wert zu legen ist. Die Pupillenverengerung bei Naheinstellung stellt demnach eine zusätzliche Akkommodation (Akkommodation auf die dritte Dimension) dar, weswegen für den Vorgang die Bezeichnung „Akkommodationsmiosis“ die sinnvollste ist. GULLSTRAND sagt: „Die Funktion der akkommodativen Pupillenverengerung ist in der Vergrößerung der Tiefe der Abbildung zu erblicken, indem die nötigen Akkommodationsvariationen beim Betrachten naher Gegenstände durch die vergrößerte Tiefe wesentlich vermindert werden. Mit der Aberration hat sie nichts zu tun. Welche Vorteile diese Pupillenverengerung bietet, dürfte man in der Zeit vor der Erfindung der Augengläser leichter verstanden haben als jetzt, weil sie damals das einzige Mittel gegen die normale Presbyopie darstellte.“

Wir haben also die Pupillenverengerungsreaktion bei Naheinstellung als eine Pupillenakkommodation aufzufassen, welche die Linsenakkommodation ergänzt zu der Gesamtakkommodation oder vollkommenen Akkommodation als Gemeinschaftsleistung von Ciliarmuskel plus Sphincterpupille. Hierbei ist aber kein spezifischer Netzhautreiz (wie Querdisparation und Zerstreuungskreise bei Fusion und Akkommodation) erkennbar, der auf reflektorischem Wege die Pupillenweite regulieren könnte. Die Verengerungsbewegungen verlaufen

sozusagen „undosiert“, wobei diese erst beginnen, nachdem Konvergenz und Linsenakkommodation schon weit vorgeschritten sind und ferner auch anfänglich schon sehr enge Pupillen beim Nahsehen noch eine weitere Verengerung erfahren. Wir gelangen von dieser Seite her auch zu keiner befriedigenden Einsicht in die entwicklungs geschichtliche Notwendigkeit einer zentralen Verankerung dieses regelmäßigen Vorganges.

Nachdem der viele Jahrzehnte lange Streit um die Frage, ob die Naheinstellungsreaktion mit der Konvergenz oder dem Akkommodationsvorgang verknüpft sei (Literatur s. bei MODEROW, 1905 und BEHR, 1924) unentschieden geblieben ist, versucht man in letzter Zeit, dieser Fragestellung *auszuweichen*, indem man annimmt, daß alle drei Muskel tätigkeiten, sowohl die Konvergenz, die Akkommodation als auch die Pupillenverengerung gleichzeitig und selbständige voneinander vom Impuls zum Nahsehen in Gang gesetzt werden (GULLSTRAND). BEHR vermutet ein corticales Naheinstellungszentrum für alle drei Muskel mechanismen und nimmt an, daß von diesen auch eine Bahn für die Pupillenverengerung zum Sphincterzentrum und von dort zum Sphincter ziehe. Die Naheinstellungsreaktion sei also eine selbständige zentralgesteuerte Pupillenreaktion. — Kompliziert werden diese Ver hältnisse noch durch die Annahme einer gesonderten Bahn für die Lidschlußreaktion und der besonderen Innervationsbedingungen für die Schlafreaktion. Es wären dieses aber alles Impulse, die über das Sphincterzentrum laufen sollen und hier in Widerstreit treten mit den Aufgaben, die das Zentrum in reflektorischer Hinsicht für die Licht regulierung zu erfüllen hat.

Wir dürfen nicht vergessen, daß alle diese zentralen Einrichtungen in vorläufigem Sinne nur hypothetisch gedacht sind und auf Befunde im Verhalten der Erfolgsorgane zugeschnitten sind, die ihrerseits aber einer verschiedenen Deutung zugänglich sind. Eine Änderung und vor allem auch Vereinfachung unserer Vorstellungen würde dann einen Fortschritt bedeuten, wenn gleichzeitig durch diese die wichtigsten hierhergehörigen, bis heute unverständlichen Tatsachen aus der Physiologie und Pathologie der Pupillenbewegung erklärbar würden.

Angeführt seien die Tatsachen, daß trotz stärkster „Tonisierung“ des Sphincters bei forciertter Konvergenzanstrengung die enge Pupille bei Minderung des Lichtreizes dennoch mit einer Erweiterung reagiert; daß die Pupillenverengerung sowohl beim Lichtreflex als auch beim Nahsehen konzentrisch erfolgt, bei der letzteren aber gleichzeitig eine Verlagerung des Pupillenzentrums nasalwärts eintritt (v. HELMHOLTZ, 1867, ADAMÜCK und WOINOW, 1871 u. a.); daß im Gegensatz zum Lichtreflex bei der Naheinstellungsreaktion das reizlose Intervall fehlt und bei dieser die Latenzzeit verlängert ist; daß die Verengerungs

bewegung bei der Naheinstellung langsamer erfolgt als beim Lichtreflex (DONders, 1851); daß, trotzdem vom hypothetischen Nah-einstellungszentrum alle beteiligten Muskeln gleichzeitig ihre Impulse bekommen sollen, man aber eine Pupillenverengerung erst hinzutreten sieht, nachdem die Konvergenz- und Akkommodationsbewegung schon weit vorgeschritten sind; daß die absolut starre Pupille sich nicht bei Naheinstellung, aber wohl häufig als Reaktion auf den Lidschluß noch verengern kann, usw.

Nicht nur gegen die Reflexnatur dieser Pupillenreaktion, sondern auch gegen ihr Zustandekommen durch einen besonderen Innervations-

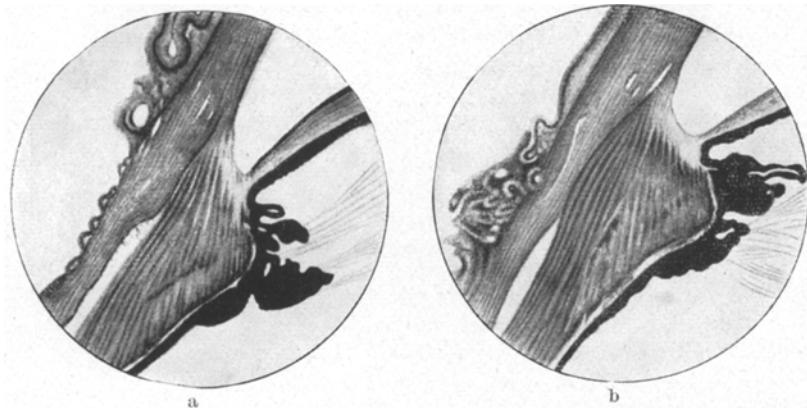


Abb. 1a u. b. a Ciliarmuskel, Affe, nicht kontrahiert, Atropin. b Ciliarmuskel, Affe, kontrahiert. Eserin. [Nach HEINE, Anatomie des akkommodierten Auges. Graefes Arch. 49, 1 (1900).]

vorgang lassen sich Bedenken geltend machen, und es lassen sich zahlreiche Argumente anführen, die es in überwiegendem Maße wahrscheinlich machen, daß derselbe Ciliarmuskelakt, der die Linsenakkommodation nach der v. HELMHOLTZSchen Theorie in Gang setzt, gleichzeitig auch mechanisch die Pupillenverengerung nach dem gleichen Prinzip herbeiführt. Hierbei wären Linsenapparat und Irisblende zwei gleichzeitig vom Ciliarmuskel dirigierte Einrichtungen mit der additiven Leistung der Gesamtakkommodation oder vollkommenen Akkommodation. Diese besteht aus Linsenakkommodation (Bildschärfe) und Pupillenakkommodation (Bildtiefe).

Wie ist aber eine solche Wirkung auf die Irisblende ohne Eingreifen eines Zentralvorgangs und in Analogie zu den mechanischen Vorgängen bei der Linsenakkommodation vom Ciliarmuskel aus möglich?

Beim Vergleich des nicht kontrahierten und kontrahierten Ciliarmuskels auf Abb. 1 wird erkennbar, daß die Formänderung des sich kontrahierenden Muskels gleichzeitig, entsprechend dem „Abrollungsstück“ des Lig. pectinatum, eine Bewegung der Ansatzpunkte der

Irisbasis in Richtung auf die Pupillenmitte herbeiführt. Durch die Verkleinerung des Kreises der Irisbasis werden, ähnlich wie die Zonulafasern, die radiären Fasern der Iris, besonders der Hinterplatte, entspannt. Um seine gleiche Spannung aufrecht zu erhalten, muß der Sphincter sich (nach verlängerter Latenzzeit!) auf den Entspannungsreiz hin in entsprechendem Umfange verkürzen. Dieser Vorgang soll mit der Bezeichnung „Entspannungsmiosis“ gekennzeichnet werden. Sie soll ferner besagen, daß für das Zustandekommen einer solchen Pupillenbewegung eine besondere Nervenbahn und eine besondere Innervation von einem Zentrum aus nicht notwendigerweise bestehen muß. Allerdings ist für diesen Mechanismus Voraussetzung, daß die durch Ciliarmuskelkontraktion erfolgende Verschiebung der Faseransatzpunkte groß genug ist, um die bei Naheinstellung zu beobachtende Pupillenverengerung bewirken zu können.

Die Gestaltverhältnisse des Ciliarmuskels beim Menschen sind annähernd die gleichen. Wir pflegen sie auf Meridionalschnitten in unseren Lehr- und Handbüchern zu betrachten, ohne daß der Muskel, wie *in vivo*, unter der Wirkung der normalen Bulbusspannung steht und ohne daß der Zustand wie bei Desakkommodation oder Akkommodation zur Fixierung gelangt ist. Hierbei bildet der Muskel im ganzen ein Dreieck mit zwei langen Seiten, die nach hinten zu einem spitzen Winkel konvergieren. Die dritte Seite des Dreiecks nimmt an der Begrenzung der Vorderkammer teil, und die beiden zugehörigen Winkel skleralwärts und linsenwärts nähern sich einem rechten. Im Zustand der Desakkommodation flacht sich der Muskel je nach dem bestehenden Refraktionszustand mehr oder weniger stark ab, so daß der innere Winkel stumpf und der äußere Winkel spitz wird (*myopischer Typus*): im Zustand der Akkommodation oder unter der Wirkung von Eserin-Pilocarpin wird dagegen der innere Winkel spitz und die Höhe des Dreiecks, d. h. die Entfernung von der sich dem Linsenäquator nähern den Spitze des Muskels bis zur Sklera nimmt zu (*hyperopischer Typus*). Gleichzeitig erfolgt eine Bewegung nach vorne, so daß die Ciliarfortsätze sich nach vorne und in Richtung auf das Pupillenzentrum bewegen.

An sonst gesunden und breit iridektomierten Augen läßt sich bekanntlich dieser Vorgang verfolgen. Man sieht dabei, wie sich die Fortsätze in der ganzen Circumferenz vor den Linsenäquator gegen die Vorderfläche der Linse vorschlieben können (siehe bei v. HESS, 1903). Die Fortsätze verhalten sich passiv. Die Bewegung und die Verkleinerung des Durchmessers des inneren Muskelringes in seiner ganzen Circumferenz wird nur durch den Ciliarmuskel bewirkt. Mit diesem stehen aber die radiären Irisfasern, d. h. die ganze Dilatatorplatte, in insertionsmäßigem Zusammenhang, so daß auch eine

entsprechende Verkleinerung des Durchmessers der Irisbasis unausbleiblich ist.

Da nun aber bekanntlich der Ciliarmuskel und die Ciliarfortsätze auf der temporalen Seite stärker ausgebildet sind und die Differenz in der Länge des Ciliarkörpers durchschnittlich 1—2 mm beträgt (H. WAGNER, 1931, R. STEIN, 1932), wird durch die Verschiebung der radiären Irisfaseransatzpunkte in Richtung auf das Pupillenzentrum eine Pupillenverengerung und gleichzeitig eine Verschiebung der Pupille nach nasalwärts erfolgen müssen (s. unten).

Die nachfolgende Berechnung bei Zugrundelegung einer akkommodativen Pupillenverengerung von $3\frac{1}{2}$ auf 2 mm und Annahme eines Querschnittes des Sphincters der mittelweiten Pupille von 0,8 mm ergab eine Größenordnung der notwendigen Verschiebung der Radiärfaseransatzpunkte, wie sie fraglos vom Ciliarmuskel getätigten kann.

Bei der Pupillenverengerung im Zusammenhang mit der Ciliarmuskelkontraktion muß die Basis der Iris eine gewisse Verkleinerung erfahren, wenn man nicht eine stärkere Dehnung der radiären Fasern annehmen will. Für die Ermittlung dieser Basisverkleinerung kann man folgenden Weg einschlagen (Abb. 2). Für die mittlere (physiologische) Pupillenweite von 3,5 mm hat der Sphincter einen bestimmten Durchmesser d , der einem kreisförmigen Querschnitt entsprechen möge. Mittelpunkt des Kreisquerschnittes M habe den Abstand r von der Pupillenmitte. Dann ist nach der GULDINSCHEN Regel das Volumen des Muskels

$$\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot 2\pi r = V. \quad (1)$$

Für die kleinste Pupillenweite mögen die entsprechenden Werte des Muskel durchmessers D und R bezeichnet werden. Ohne Berücksichtigung von Kontraktionen, deren Einfluß als unwesentlich ausgeschaltet werden kann, würde bei der Verkürzung, die zur Pupillenverengerung führt, das Volumen V unverändert bleiben, und man erhält somit

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot 2\pi r = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 2\pi R \quad (2)$$

oder einfacher nach Beseitigung beiderseits gleicher Faktoren

$$d^2 \cdot r = D^2 \cdot R. \quad (3)$$

Aus der Skizze ist ersichtlich, daß

$$\left. \begin{array}{l} p = 2r - d \\ P = 2R - D \end{array} \right\} \quad (4)$$

sein muß. Ist nun der Durchmesser der Irisbasis bei mittlerer Pupille M , so gilt

$$M = 2m + 2r + d \quad (5)$$

wobei m die Länge der radiären Fasern ist. Ändert sich diese Länge bei Kontraktion des Sphincters nicht, obwohl eine geringe Dehnung im Bereich der Möglichkeit liegt, so gilt entsprechend

$$M' = 2m + 2R + D \quad (6)$$

für den neuen Basisdurchmessers M' bei kleiner Pupille. Die Verschiebung der äußeren Ansatzpunkte der radiären Fasern folgt dann aus (5) und (6) in der Form

$$\frac{M - M'}{2} = \frac{2r + d - 2R - D}{2} = r - R + \frac{d - D}{2}. \quad (7)$$

Da p und P als bekannt vorauszusetzen sind, folgt

$$\left. \begin{array}{l} p - P = 3,5 - 2,0 = 2r - 2R - d + R \\ \text{oder} \\ \frac{M - M'}{2} = 0,75 + (d - D). \end{array} \right\} \quad (8)$$

Nimmt man für d den Wert 0,8 mm an, so ergibt Gleichung (3) mit (4)

$$D^2 \cdot R = 0,64 \cdot 2,15 = 1,376.$$

Die zweite Gleichung von (4) gibt

$$R = \frac{D + 2}{2},$$

woraus für D die Gleichung 3. Grades folgt

$$D^3 + 2D^2 = 2,752.$$

Die einzige brauchbare Wurzel ist

$$D = 0,9635,$$

womit dann

$$\frac{M - M'}{2} = 0,75 - 0,164 = 0,586 \text{ mm.}$$

Eine kleine Änderung dieses Wertes tritt ein, wenn man den Querschnitt des Sphincters als elliptisch voraussetzt. Ist das Achsenverhältnis 3:2, so sind die Achsen

$$a = 0,98; b = 0,66$$

und es folgt

$$A \cdot B \cdot R = 1,448.$$

Da B praktisch unverändert $= b$ bleiben wird, erhält man

$$A(A + 2) = \frac{2,896}{0,66} = 4,38; A = 1,322$$

und hieraus den im zweiten Grenzfall geltenden Wert

$$\frac{M - M'}{2} = 0,75 - 0,52 = 0,23 \text{ mm.}$$

Welche Annahme man auch machen mag, der Betrag der Verschiebung der Ansatzpunkte ist relativ klein und bewegt sich in den Grenzen von 0,23 mm bis 0,59 mm, wobei eine Dehnung der radiären Fasern die Grenzwerte in jedem Falle verkleinern würde.

Ferner sind die bei der Akkommodation in Frage kommenden Grenzwerte für die Exkursionen in der Verschiebung der Ansatzpunkte zentralwärts praktisch deshalb noch wesentlich kleiner, da normalerweise die Pupillenverengerung bei Akkommodation auf Naharbeitsentfernung durchschnittlich nur $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ mm beträgt (BACH, 1908). Es wurde der Berechnung aber eine Pupillenverengerung von $3\frac{1}{2}$ auf 2 mm Durchmesser, d. h. eine Pupillenexkursion, die 2–3mal größer ist, zugrunde gelegt, um einen Anhaltspunkt dafür zu gewinnen, ob der Apparat in anatomischer Hinsicht auch in der Lage ist, die Grenzeistung nach der beschriebenen Mechanik der Entspannungsmiosis zu vollbringen. Das rechnerisch gewonnene Resultat steht aber wohl nicht im Widerspruch zu den anatomisch-funktionellen Möglichkeiten.

Bei der Desakkommodation muß eine Spannungszunahme der Radiärfasern eintreten, die die Pupille wieder erweitert. Die Analogie zum Linsenakkommodationsakt nach der v. HELMHOLTZSCHEN Theorie ist vollkommen. Eine anatomisch-funktionelle Verbindung zwischen Ciliarmuskel und Sphincter entspricht auch dem Sinne der Akkommodationsmiosis als zusätzliche Pupillenakkommodation für die Nähe im Sinne der Vergrößerung der Tiefensehschärfe und Verminderung der sonst notwendigen Akkommodationsvariationen. Für den vollständig Presbyopen ohne Gläserkorrektion besteht hierin die einzige Möglichkeit zur Besserung der Nahsehschärfe, und bei Säugetieren mit schwach ausgebildetem Linsenakkommodationsvermögen, wie bei Katze und Kaninchen, wird diese zusätzliche Akkommodation von Bedeutung sein.

Der Einwand, daß bei einem solchen Zusammenhang zwischen Ciliarmuskeltätigkeit und Pupillenverengerung der Vorgang der Radiärverkürzung der Irisfasern auch an einer Gewebsbewegung im äußeren Ciliarteil der Iris sichtbar sein müsse, kann nicht als unbedingt gelten. Daß, besonders bei vergrößernder Betrachtung, der ganze Bewegungsvorgang beim Lichtreflex und bei der akkommodativen Verengerung

in der Iris ein anderer ist, wird unten näher begründet. Zum Teil ist dieser Unterschied sicherlich bedingt durch die akkommodative Bewegung der Linse und die konsekutive Änderung der Form der hinteren Vorderkammerbegrenzung. Aber in nicht seltenen Fällen ist, wie schon HÜCK und TSCHERNING beobachteten und wie auch BEHR angibt, eine auf das Pupillenzentrum gerichtete Bewegung der Iris auch in ihrem ciliaren Teil sichtbar. Auch braucht bei der Kleinheit der überhaupt in Frage kommenden Exkursionen im Ciliargebiet eine Bewegung des lockeren Stromas an der Irisbasis nur weniger sichtbar zu sein, da es vorzugsweise auf die Entspannung der radiären Fasern der inneren Irisschichten (Dilatatorplatte) ankommt.

Es besteht ferner durchaus die Möglichkeit, daß eine noch wesentlich geringgradigere Verschiebung der inneren Irisbasis, als die oben berechnete, genügt, um die Pupille erheblich zu verengern, da hierbei nicht nur mit einer Muskelquerschnittszunahme des Sphincters, sondern auch mit einer Kraftzunahme und deshalb auch mit stärkerer Dehnung der radiären Irisfasern im mehr pupillaren Teil wie beim Lichtreflex zu rechnen ist. Es kommt ausschließlich darauf an, daß der Entspannungsreiz für den Muskel groß genug ist. Wie wirksam die Entspannung als Reiz für die Kontraktion und Herstellung einer neuen Spannungslage ist, weiß jeder, der sich experimentell mit der glatten Muskulatur befaßt hat.

An älteren Versuchen, die Konvergenzmiosis mechanisch zu erklären, hat es nicht gefehlt. Sie konnten jedoch nicht zum Ziele führen, da sich die angenommenen Voraussetzungen hierfür als irrig erwiesen. So hielt TSCHERNING (zit. bei BEHR) den Abfluß des Kammerwassers aus der Vorderkammer, ähnlich wie nach der Parazentese der Hornhaut, für die Ursache der Pupillenverengerung. Andere glaubten, daß Vermehrung der Blutfülle oder eine Steigerung des intraocularen Druckes durch die Konvergenz diese Wirkung haben könne.

Eine Reihe weiterer Argumente, die für den hier zu begründenden anatomisch-funktionellen Zusammenhang zwischen Ciliarmuskel und Sphincter sprechen und die es in hohem Maße wahrscheinlich machen, daß zum Zweck der Gesamtakkommodation (Sehschärfe plus Tiefensehschärfe) Ciliarmuskel und Sphincter als ein Muskelapparat agiert, bei dem es bezüglich der zentralnervösen Vorgänge nur auf den Ciliarmuskel ankommt, sollen in folgendem besprochen werden.

Trotzdem Konvergenz und Akkommodation auf Grund ihrer zentralen Impulse schon getätigten werden, verengert sich die Pupille erst bei Einstellungen auf etwa 30 cm und in vielen Fällen noch später. Das steht aber im Widerspruch zu der bisherigen Annahme eines gemeinsamen Zentrums für die Naheinstellungsreaktion, durch das die Pupillenverengerung zu einer selbständigen Nerv-Muskelaktion würde.

Die Pupillenreaktion als Entspannungsmiosis kann sich aber nicht anders verhalten. Eine pupillenwirksame Verschiebung der Ansatzpunkte der Radiärfasern der Iris kann erst erfolgen bei schon vorgeschrittener Linsenakkommodation und setzt daher auch erst ein, wenn eine entsprechende Formänderung des Ciliarmuskels für den Nahbereich der Akkommodation eingetreten ist.

Die Latenzzeit für die Sphincterreaktion ist aus denselben Gründen größer als die bei Lichtreaktion. Es wird die Muskeltätigkeit erst von einem System auf ein anderes übertragen.

Der Ablauf der Pupillenbewegungen ist langsamer als beim Lichtreflex, auch wenn der ganze Akkommotionsbereich vom Fernpunkt zum Nahpunkt übersprungen wird. Die Geschwindigkeit des Bewegungsablaufes wird annähernd der Geschwindigkeit der Ciliarmuskelbewegung entsprechen. Sehr auffallend sind diese Beziehungen bei der Akkommotion.

Selbst bei maximalem, höchstgradig forcierter Naheinstellungsimpuls erweitert sich die hochgradig akkommotionsmiotische Pupille noch prompt bei Verringerung der Außenbeleuchtung. Dieses Verhalten wäre sehr unwahrscheinlich, wenn (nach den üblichen Vorstellungen über die Pupillenerweiterung bei Lichtreizminderung) die Akkommotionsmiosis durch entsprechend starke eigene Innervationsimpulse von einem Zentrum über den Sphincterkern aus zu stande käme.

Überhaupt ist es sehr unwahrscheinlich, daß die Natur im Falle des Sphincters gleichzeitig mit verschiedenen Zentren, Nerven und Innervationsimpulsen gleichsam auf einem Instrument spielt, und zwar zu verschiedenen Zwecken. Die akkommitative Pupillenverengerung wird, jedenfalls im Wachzustand, getätigter gegen die Erweiterungstendenz der Pupille bei Verdunklung, und sie erweitert sich bei Desakkommation gegen die Verengerungstendenz bei Belichtung. In der akkommativen Pupillenverengerung liegt daher etwas Unbedingtes, das nicht durch ein „Überwiegen der Kräfte“ von zentralnervösen Einrichtungen entschieden wird. Diesen Weg beschreitet die Natur nie, sondern sie bedient sich zum mindesten der reflektorischen Ausschaltung oder Hemmung anderer Innervationsimpulse. Der Lichtreflex funktioniert aber weiter. Er wird überwunden durch die mechanische Kraft der Entspannungsmiosis.

Hierdurch erklärt sich auch die klinische Erfahrungstatsache, daß „der Konvergenzimpuls für den Sphincter stärker ist als der Lichtreflex“. Dieses Verhältnis wird häufig offenbar während der Rückbildung einer Ophthalmoplegie, wobei der Lichtreflex noch nicht durchdringt, der Sphincter sich bei Konvergenz aber schon kontrahiert.

Er kann dieses aber nur soweit, als der Ciliarmuskel sich wieder erholt hat und bei seiner Zusammenziehung die radiären Irisfasern entspannt.

Daß die akkommodative Pupillenverengerung nicht gesondert (wie der Lichtreflex) durch eine zentralnervöse Einrichtung gesteuert wird, geht auch aus dem Umstand hervor, daß auch dann, wenn die Pupillen schon sehr eng sind (z. B. Tabes, Greisenpupille, besonders wenn diese hyperopisch bedingt ist), bei Naheinstellung die Pupillen sich unter Umständen noch erheblich weiter verengern. Man müßte sonst „blinde“ unkontrollierte Innervationsimpulse annehmen, deren sich normalerweise aber das Zentralnervensystem nicht bedient.

Im Zusammenhang mit der Akkommodation bzw. den anatomischen Verhältnissen des Ciliarmuskels steht auch die bekannte Tatsache, daß die Pupillen in den ersten Lebensjahren bis zur Emmetropisation durchschnittlich enger sind als später und daß Hyperope durchschnittlich engere Pupillen haben als Myope, was nicht durch besondere Sphincterinnervation, die neben dem Lichtreflex einherläuft, erklärbar ist, sondern wohl durch die Annahme einer teilweisen funktionalen Abhängigkeit der Pupillenweite vom Zustand des Ciliarmuskels, d. h. wieweit dieser je nach seinem Bau im hyperopen und myopen Auge Einfluß nimmt auf die pupillenwirksame Länge der Radiärfasern der Iris. Im Zustand der Desakkommodation besitzt der Ciliarmuskel aber die Gestalt des myopen Typus, während er im Zustande der Akkommodation die Gestalt des hyperopen Typus besitzt. In den fixierten anatomischen Beziehungen liegt wahrscheinlich auch der vornehmliche Grund für die individuellen Unterschiede in der Pupillenweite.

Durch v. HELMHOLTZ (1867), KNAPP (1860), ADAMÜCK und WOINOW (1871) wurde festgestellt, daß sich bei der Pupillenverengerung im Zusammenhang mit der Akkommodation gleichzeitig das Pupillenzentrum nasalwärts verschiebt, während beim Lichtreflex nur eine konzentrische Verengerung ohne nasale Verschiebung eintritt. Diese Pupillenverschiebung kann aber weder durch die Formänderung der akkommodierenden Linse, noch durch nervöse Impulse vom Nah-einstellungszentrum her erklärt werden, vielmehr haben wir es hier mit entwicklungsgeschichtlich bedingten, anatomisch fixierten Differenzen in der Ausbildung des Irisdiaphragmas und Ciliarkörpers, bzw. einer Asymmetrie im Bau des Augapfels auf seiner nasalen und temporalen Seite zu tun, die bekanntlich nicht selten von solcher Größenordnung ist, daß sich auch dauernd eine mehr oder weniger deutliche Verlagerung der Pupillen nasalwärts zu erkennen gibt. Normalerweise machen sich diese Differenzen aber kaum bemerkbar; dagegen wird sich im Falle einer akkommodativen Entspannung der radiären Irisfasern mit Verkleinerung der Irisbasis der Unterschied zwischen

nasal und temporal so weit vergrößern können, daß gleichzeitig mit der Verengerung auch eine Verschiebung des Pupillenzentrums eintritt.

Es hängt dieses zwangsläufig mit einer regelmäßigen Asymmetrie des Auges zusammen, auf die BRÜCKE schon im Jahre 1847 hingewiesen hat. Es liegen nämlich die Frontalebenen, die durch den Bulbusäquator, die Ora serrata, den Linsenäquator und den Ansatz der Regenbogenhaut geführt werden, nicht parallel, sondern sie nähern sich nasalwärts und weichen temporalwärts auseinander. Die stärkste Abweichung vom Parallelismus zeigt die frontale Ora serrata-Ebene, da der Ciliarkörper außen und unten breiter ist als innen und oben (LAUBER, 1936). Auch der Ciliarmuskel ist temporal und temporal unten länger als nasal und nasal oben. Und in der Tat konnten genaue Beobachtungen, die im Hinblick auf die Entspannungsmiosis angestellt worden sind, erweisen, daß die Verschiebung der Pupille häufig nicht nur in nasaler Richtung, sondern gleichzeitig etwas nach oben erfolgt. Der Lichtreflex kann dagegen nur eine konzentrische Verengerung durch Zusammenziehung des Sphincters ohne Verschiebung der Pupille bewirken.

Die Auffassung der akkommodativen Pupillenverengerung als absolut unselbständige Reaktion, als mechanisch bedingte Entspannungsmiosis aber muß nun auch in Einklang gebracht werden können mit zahlreichen Phänomenen aus dem Gebiete der Pathologie der Pupillenbewegungen. Ihre Richtigkeit ist vor allem der absoluten Pupillenstarre gegenüber zu beweisen. In allen diesen pathologischen Fällen von absoluter Starre liegt der Grund, weshalb die Pupille bei Nah-einstellung nicht reagiert am lichtreflektorisch gesteuerten Pupillar-mechanismus.

Um das verstehen zu können, müssen wir von der sympathisch-parasympathischen Doppelinnervation des Sphincters als dem eigentlichen Motor für die Pupillenbewegung ausgehen (Poos, 1926, 1927). Erregungsimpulse, die vom Sphincterkern via Parasympathicus den Sphinctermuskel erreichen, erhöhen seinen Tonus. Die in der Erweiterungsbahn verlaufenden zentralen Impulse via Sympathicus tonisieren den Dilatator und heben nicht nur den automatischen Sphincter-tonus auf, sondern versetzen diesen Muskel in den Zustand aktiver Erschlaffung. Hinsichtlich der Verhältnisse, auf die es hierbei ankommt, verhalten sich die Irismuskeln bei der amaurotischen und absoluten Starre unterschiedlich. Die Blindheit hebt nicht die tonisierenden Impulse, die von den Zentralorganen kommen, auf, sondern der Sphincter bleibt in Kontraktionsbereitschaft und reagiert auf jeden Entspannungsreiz mit Verkürzung. Im Falle der absoluten Starre besteht aber eine Sphincterkernlähmung oder Unterbrechung der motorischen Bahn. Es fallen daher nicht nur die zentralen Verengerungs-

impulse aus, sondern durch das einseitige Fortbestehen der Erweiterungsimpulse befindet sich der Sphincter ausschließlich im Zustand der aktiven Erschlaffung und kann daher nicht auf einen Entspannungsreiz reagieren, während hierbei der Dilatator bestrebt ist, den gleichen Spannungszustand, trotz Verschiebung der Ansatzpunkte der Radiärfasern, beizubehalten (Poos, 1926, 1927).

Die durchschnittlich weitesten Pupillen werden bei der internen Ophthalmoplegie angetroffen. Hierbei ist der Ciliarmuskel vollständig gelähmt und in seiner Form entsprechend abgeflacht, ähnlich wie bei der Atropinlähmung. Für die Iris und Pupille bedeutet dieses aber das Gegenteil von Entspannung. Hat der nicht gelähmte Ciliarmuskel wie bei der absoluten Starre seine normale Form, so läßt dieser Zustand auch eine nur durchschnittlich weniger weite Pupille zu wie bei der Ophthalmoplegie.

Da bei dem Prozeß der Entstehung der reflektorischen Starre (ARGYLL-ROBERTSON) schließlich auch die Impulse der Erweiterungsbahn in Fortfall geraten, resultiert wegen des Fehlens der aktiven Erschlaffung des doppelinnervierten Sphincters ein fortschreitendes automatisches Übergewicht des Schließmuskels über den Dilatator und über die elastischen Kräfte des Irisgewebes (zunehmende Miosis, für die die Annahme eines besonderen „Reizherdes“ in Nähe des Sphincterkernes entbehrlich ist). Dieser Sphincter reagiert wegen der Streckung der atrophischen radiären Irisfasern und wegen des Fortfallen der reflektorischen Hemmungen im allgemeinen sogar stärker auf die akkommodative Entspannung als der normale.

Nach Applikation bestimmter Dosen von Sympathicusreizmitteln, z. B. Adrenalin und Cocain, besteht außer spastischer Mydriasis und Lichtstarre auch Starre bei der Naheinstellung, *obwohl die Akkommodation noch getätigigt werden kann*. Es handelt sich also um eine besondere Form der absoluten Pupillenstarre, wobei die Tonisierung des Dilatators mit einer starken, den Tonus vollständig aufhebenden aktiven Erschlaffung des Sphincters kombiniert ist. In diesem Zustand kann aber der Sphincter auf den durch die Ciliarmuskelkontraktion auftretenden Entspannungsreiz nicht reagieren. Hier liegen die gleichen Verhältnisse vor, wie sie oben bei der absoluten Pupillenstarre analysiert sind.

In einer nachfolgenden ausführlichen Arbeit über die Pathologie der hierher gehörigen Pupillenbewegungen soll dargetan werden, daß die in dieser Abhandlung vorgetragene Betrachtungsweise der Nah-einstellungsreaktion als eine nicht nerval bedingte, der Zonulastellung parallel laufende automatische Muskelbewegung nicht nur in Einklang zu bringen ist mit sämtlichen klinischen Erscheinungen im System

der Pupillenstarren, sondern daß diese letzteren hierdurch eine befriedigendere Erklärung erfahren. Die vorliegende Abhandlung beschäftigt sich nur mit den physiologischen Zusammenhängen.

Bezüglich der Naheinstellungsreaktion kommen wir zunächst zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Das Bestehen einer gesonderten zentralnervösen Bahn für die akkommodative Pupillenverengerung im Zusammenhang mit einem Naheinstellungszentrum ist unwahrscheinlich, da dieses mit einer Reihe hierher gehöriger Erscheinungen aus der Physiologie und Pathologie der Pupillenbewegungen nicht in Einklang zu bringen ist.

2. Es wird ausführlich ein nicht nerval bedingter, rein mechanischer Vorgang der Akkommodationsmiosis begründet, wobei sich durch die Ciliarmuskelkontraktion die Circumferenz der Irisbasis um einen rechnerisch bestimmbaren Betrag verkleinert und die Irisfasern, vorwiegend der hinteren Platte, radiär entspannt werden. Die Verkleinerung des Radius des Sphincterringes ist hierbei eine Resultante der Verkleinerung des Durchmessers des Ciliarmuskelringes.

3. Diese mit Entspannungsmiosis zu bezeichnende Reaktion steht in Analogie zu den Vorgängen bei der Linsenakkommodation nach der v. HELMHOLTZSCHEN Theorie. Dem anatomisch-funktionellen Zusammenhang zwischen Ciliarmuskel und Irismuskel entspricht ihre Gemeinschaftsleistung der „vollkommenen Akkommodation“ für die Nähe oder „dreidimensionalen Nahakkommodation“, d. h. durch die zusätzliche Pupillenakkommodation neben der Bildsehschärfe auch eine entsprechende Bildtiefenschärfe bei der Betrachtung naher Gegenstände herbeizuführen, wobei es bezüglich der von zentralwärts kommenden Impulse nur auf die Innervation des Ciliarmuskels ankommt.

4. Durch die nicht nerval bedingte akkommodative Pupillenverengerung im Sinne der Entspannungsmiosis werden alle besonderen Erscheinungen erklärbar, durch die sich diese Verengerungsbewegung von der lichtreflektorisch bedingten unterscheidet, und zwar sind dieses besonders die zeitlichen Verhältnisse des Bewegungsablaufes, das Fehlen des reizlosen Intervalls, die Unterschiede der Latenzzeit, die gleichzeitig nasal gerichtete Verschiebung des Pupillenzentrums, die Überlegenheit des akkommodativen Impulses über den lichtreflektorischen Impuls, ferner die Tatsache, daß die Pupille sich erst beginnt zu verengern, nachdem Konvergenz- und Akkommodationsbewegung schon weit vorgeschritten sind.

5. Die bisher übliche Bezeichnung der akkommodativen Pupillenbewegung als Mitbewegung oder Mitreaktion besteht zu Recht. Sie erhält aber ihren richtigen Sinn erst durch die unmittelbare, mechanische Beziehung zum Akkommodationsvorgang. Ebenso wie der Ciliarmuskel durch die Zonulaerschlaffung die Formveränderung der

Linse auf Grund ihrer elastischen Kräfte ermöglicht, veranlaßt der selbe Muskelakt durch Entspannung der hinteren Radiärfasern der Iris eine Verkleinerung des Sphincterringes auf Grund seiner automatisch-muskulären Kräfte, aber erst bei Nahdistanzen, die 30 cm und weniger betragen.

Was ist nun auf Grund der in dieser Abhandlung zur Diskussion gestellten, grundsätzlich neuartigen physiologischen Zusammenhänge zu dem unentschieden gebliebenen Streit um die Einordnung und Zuordnung der Nahblickverengerung der Pupille zu sagen? Zunächst ist die Schlußfolgerung zu ziehen, daß diese Pupillenreaktion in einem hypothetischen, supranuclearen „Naheinstellungszentrum“ nicht vertreten ist und von einem solchen nicht direkt gesteuert wird. Freilich tritt nur im Zusammenhang mit einem zentralen Impuls zum Nahsehen eine die Linsenakkommodation vervollkommende Verengerung auf, denn diese ist unter physiologischen Bedingungen des Nahsehens aus mechanischen Gründen unausbleiblich.

Vom Blickpunkt der Kontinuität der Entwicklungsphysiologie erweist sich die mechanische Beeinflussung der Pupillenweite als ein „Nebenprodukt“, „Accidens“ oder „Resultante“ der Ciliarmuskeltätigkeit. Aus diesem Grunde konnte diese Pupillenreaktion gar nicht unter den direktsteuernden Einfluß einer zentralnervösen Einrichtung gelangen (s. oben).

Wenn man aber partout eine „Verknüpfung“ des Vorganges der Pupillenakkommodation mit den übrigen innervationsabhängigen Muskeltätigkeiten haben will, so muß aus Gründen der Logik gesagt werden, daß es dabei nur auf die Betrachtungsweise ankommt. Die nichtteleologische, kausale Betrachtung verknüpft die Verengerungsbewegung als Accidens oder Resultante zwangsläufig und ausschließlich mit der Ciliarmuskeltätigkeit (effektive Entspannungsmiosis). Bei finaler, teleologischer Betrachtung muß die Verengerung als Teilvorgang der Akkommodation aufgefaßt werden, als Teilvorgang, der die Linsenakkommodation zum Zweck der vollkommenen, d. h. dreidimensionalen Nahakkommodation ergänzt (effektive Pupillenakkommodation). Bei intentionaler Betrachtung, d. h. im Rahmen der willensmäßigen Handlungen, erscheint die Pupillenverengerung dagegen abhängig von der Tätigkeit der äußeren Augenmuskeln (effektive Konvergenzreaktion).

Bei einer solchen Auffassung der hier vorwaltenden Verhältnisse wird klar, daß die früheren Versuche einer theoretischen und klinisch-experimentellen Beweisführung zu umstrittenen Ergebnissen führen mußten; ferner sind wir nicht gezwungen, als Ausweg für Fragestellungen, die mit Recht schließlich für unlösbar gehalten wurden, ein supranucleares Naheinstellungszentrum zu schaffen, von welchem aus

die Naheinstellungsreaktion der Pupille als selbständiger Vorgang unmittelbar dirigiert würde.

Lidschlußreaktion.

Auf die Frage, warum die Pupille sich auch bei Lidschluß verengert, konnte bisher keine Antwort gegeben werden. Man hat auch diese Frage kaum gestellt, und die Pupillenverengerung als solche nur registriert. Das Orbicularisphänomen wurde schon 1854 von A. v. GRAEFE ausführlich beschrieben. Es tritt sowohl bei dem willkürlichen wie bei dem intendierten aber verhinderten, als auch bei reflektorischem Lidschluß auf.

BEHR (l.c.) sagt zu dieser Reaktion: „Im Gegensatz zu der Naheinstellungsreaktion, die, wie wir gesehen haben, als eine selbständige Pupillenbewegung aufzufassen ist, haben wir in der Lidschlußreaktion eine typische Mitbewegung mit der Innervation des gleichseitigen Augenfacialis vor uns.“ Und weiter unten: „Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Lidschlußreaktion eine selbständige Pupillenbewegung darstellt, die rein durch nervöse Einflüsse ausgelöst wird.“ Die Annahme von SCHANZ, daß die Pupillenverengerung durch eine direkte mechanische Einwirkung des O. bicularis auf den Bulbus zustande komme, ist recht unwahrscheinlich, da das Phänomen auch bei verhindertem Lidschluß auftritt. v. SARBO denkt an eine verkappte Konvergenzreaktion. In der Mehrzahl der Fälle gehen die Bulbi aber in Divergenzstellung nach oben. Die meisten Autoren nehmen mit WESTPHAL und PILTZ eine direkte Faserverbindung zwischen Facialiskern und Sphincterkern, also eine gesonderte Bahn für die Lidschlußreaktion an.

In Zusammenhängen, die weiter unten bei der Schlafreaktion der Pupille erörtert werden, hatte ich die Vermutung, daß ähnlich wie bei der Naheinstellungsreaktion auch beim Lidschluß der Tätigkeit der äußeren Augenmuskeln nicht nur eine Pupillenverengerung, sondern auch eine Ciliarmuskelbewegung assoziiert sei. Lange hielt ich es für unmöglich, hierfür den Nachweis zu erbringen. Später gelang es mir beim Studium typischer Fälle mit Akkommodation, Einblick in diese Zusammenhänge zu gewinnen. Die typischen Fälle von *Pupillotonie* mit einseitiger, weiter und vollständig reflexstarrer Pupille gehen mit Akkommodation einher, und man hat durchaus den Eindruck, daß die langsame Pupillenbewegung mit der entsprechenden, verlangsamen Ciliarmuskelbewegung parallel verläuft und sich auch in jedem Punkte der Akkommodation abstoppen läßt. Es handelt sich in diesen typischen Fällen um eine einseitige Lichtreflexstarre der Pupille mit Akkommodation.

Mit dieser hat uns die Natur eine Art Zeitlupe an die Hand gegeben, mit welcher wir bei der Lidschlußreaktion die sonst schnell ablaufenden intraokularen Muskelreaktionen gut studieren können. Die Untersuchungen bei zwei jugendlichen Fällen mit typischer einseitiger Pupillotonie oder besser typischer einseitiger Lichtreflexstarre der Pupille mit Akkommodation ergaben folgendes: die mittelweiten

rechten Pupillen waren vollkommen lichtstarr, bei mittlerer und heller Tagesbelichtung weiter und bei herabgesetzter Beleuchtung enger als die linken. Bei Naheinstellung erfolgte eine sehr langsame Pupillenverengerung, die schließlich gleich der normalen Seite war und bei Desakkommodation eine noch etwas langsamere Wiedererweiterung. Ebenso verlangsamt verliefen die Akkommodationsbewegungen. Die Bewegungszeiten für Pupille und Akkommodation betrugen etwa 5—7 Sek.

Bei Prüfung der Lidschlußreaktion in der üblichen Weise war rechts eine prompte Reaktion der Pupillen sichtbar. Es verlief jedoch die Verengerungsreaktion hierbei in gleicher Weise verlangsamt wie bei der Konvergenz.

Nach nicht krampfartigem, aber wohl intendiertem Lidschluß von einigen Sekunden war in beiden Fällen die „tonische“ Pupille eng, mit einem Maximum, das dem bei anhaltender Naheinstellung entsprach. *Die Enge behielten die Pupillen auch bei, wenn nach der Lidöffnung in die Nähe gesehen wurde und erweiterten sich erst wieder langsam beim Blick in die Ferne.*

Aus dem Fernpunkt kommend, brauchten die Augen zur akkommodativen Einstellung auf feinste Druckschrift im Nahpunkt durchschnittlich 5 Sek., der Übergang vom Nahpunkt auf den Fernpunkt dauerte 5—7 Sek. *Nach nicht krampfartigem, aber wohl intendiertem Lidschluß waren die Augen auf den Nahpunkt eingestellt*, d. h. anstatt der 5 Sek. verstrich nach Lidschluß keine messbare Zeit, bis feinste Druckschrift gelesen werden konnte. Bestand Desakkommodation im Augenblick des Kommandos zum Lidschluß, so wurde nach Lidöffnung erst nach Ablauf von 5—7 Sek. die kleinste Fernsehprobe ohne Zerstreuungskreise erkannt.

Diese Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, daß die Lidschlußreaktion der Pupille an eine Ciliarmuskelkontraktion gebunden ist, eine akkommodative Pupillenverengerung darstellt und der Akkommodationsmiosis des Sehaktes gleichzusetzen ist.

Es liegt kein Grund vor, anzunehmen, daß wir ein solches Verhalten der intraokularen Muskeln bei Lidschluß nur bei der Pupillotonie bzw. Akkommodotonie antreffen, denn auch bei der Akkommodotonie wird die Akkommodation in der gleichen Weise zustande kommen wie im normalen Auge und auch die Beziehungen zwischen Ciliarkörperbewegung und Pupillenbewegung werden die gleichen sein, nur verlaufen diese Bewegungen langsam. Dieser Befund ist für die Pupillenlehre von weittragender Bedeutung insofern, als er uns zunächst zwingt, unsere bisherigen Vorstellungen über die Lidschlußreaktion und ihre hypothetische zentrale Bahn zu revidieren.

Schlafreaktion (Schlafstellungsreaktion).

Bei allgemeiner Ermüdung kommt es reflektorisch, schließlich gegen unseren Willen, zum aktiven Lidschluß durch Orbiculariskontraktion. Gleichzeitig gehen die Bulbi in der Mehrzahl der Fälle in Schlafstellung, divergent nach oben außen (BELLsches Phänomen). Diese Muskeltätigkeiten sind ähnlich wie bei der Naheinstellungsreaktion und Lidschlußreaktion begleitet von einer ziemlich starken Pupillenverengerung von gleichem Charakter wie bei den obengenannten Reaktionen, d. h., sie verläuft den Lichtwirkungen gegensinnig, und ähnlich wie auf dem Maximum der Naheinstellungsreaktion ist auch die enge Pupille im Schlaf nicht lichtstarr, sondern zeigt wie jene nur eine entsprechend kleine Amplitude ihrer Hell-Dunkelreaktion. Die Pupille verharrt in ihrem miotischen Zustand, solange der Schlaf andauert.

Man hat nie daran gedacht, die enge Pupille im Schlaf dem übrigen Muskelreflexsystem in ähnlicher Weise zuzuordnen, wie das von jeher geschah bei der Naheinstellungs- und Lidschlußreaktion des wachen Auges. Man hat von Schlafmiosis gesprochen und sich diese als nicht im Zusammenhang mit den übrigen schlafbedingten reflektorischen Muskeltätigkeiten vorgestellt. Vielmehr glaubte man, in der Pupillenverengerung den Ausdruck einer schlafbedingten „Parasympathicotonie“ zu erkennen, und noch heute wird in allen Lehrbüchern als Beleg für einen solchen „vegetativen Tonus“ die Pulsverlangsamung und die Nachtmiosis herangezogen. — WIELAND und SCHÖN (1932) erklären die Schlafmiosis mit Erregung des Sphincterkernes durch die Blutkohlensäure, entsprechend einer meßbaren alveolaren CO₂-Spannungszunahme während des Schlafes. Hiergegen lassen sich schwerwiegende Einwände machen, z. B. die Tatsache, daß die CO₂-Spannungszunahme nur in den ersten Schlafstunden nachweisbar ist, die Miosis aber solange andauert wie der Schlaf. Beide fallen also zeitlich nicht zusammen (Poos, 1936).

Wenn es die Natur so eingerichtet hat, daß in Koordination mit anderen reflektorischen Muskeltätigkeiten im Schlafzustand auch der Ciliarmuskel eine andere Spannungslage einnimmt, mit der automatisch die Pupillenverengerung verknüpft ist, dann werden auch gewisse Notwendigkeiten dafür bestehen. Um dem Problem gedanklich näherzukommen, versuchen wir uns zunächst einmal ein Bild davon zu machen, wie sich die Muskeln des schon fertig gebildeten Auges in der Fetalzeit, also während des Fetalschlafes, vermutungsweise verhalten: Bei geschlossener Lidspalte ist der Orbicularis angespannt, zum mindesten gegen die Ruhespannung des Levators. Man darf vermuten, daß die Bulbi sich bewegen, und zwar vorzugsweise nach oben außen, damit bei dem fehlenden Lidschlag die Hornhaut in unmittelbare Beziehung zu den Tränendrüsen treten kann,

ähnlich wie beim postnatalen Schlaf. Man kann aber auch eine andere Genese des BELLschen Phänomens annehmen, das spielt hier keine entscheidende Rolle. Die Zonula müßte aber entspannt oder nicht besonders angespannt sein, da sonst eine normale Linsenentwicklung, die die Kugelform mit ihren entsprechenden Elastizitätspotenzen anstrebt, gar nicht denkbar ist. Das würde bedeuten, daß sich der Ciliarmuskel in einer ähnlichen Spannungslage befindet wie bei der Nahakkommodation. Die anfänglich weite Pupille wird bekanntlich später immer enger. Wir können uns weiter vorstellen, daß die Koordination aller dieser mit der Entwicklung entstandenen und wahrscheinlich deshalb auch assoziierten Muskeltätigkeiten als ein rein vegetatives, *fetales Reflexsystem* auch postnatal über das ganze Leben als *vegetatives Schlafrreflexsystem* erhalten bleibt und zu unterscheiden ist von dem vorwiegend retinogenen, *sensorischen Wachreflexsystem*.

Auf Grund solcher Überlegungen kam ich zu der Vermutung, daß auch im Schlaf den reflektorischen Muskeltätigkeiten eine Ciliarmuskelbewegung und damit auch die Pupillenbewegung zuzuordnen sei, und zwar in Analogie mit den festgestellten Vorgängen bei der Lidschlußreaktion.

Es erwies sich aber als schwierig, den direkten Nachweis hierfür bei Menschen in gesundem, tiefem Schlaf zu erbringen. Die Stellung der Augen, ihre engen Pupillen, die Fluchtbewegung im Beginn des Erwachens, das selbst bei Anwendung von Schlafmitteln fast immer eintritt, läßt eine diesbezügliche messende Untersuchung mit dem Refraktionsspiegel nur in Ausnahmefällen zu, während eine Narkose, je nach ihrer Tiefe, und der Reaktion der Patienten, einen unberechenbaren und wechselnden Einfluß auf die verschiedenen Augenmuskeln und Augenmuskelgruppen auszuüben imstande ist. — Bei einem sonst gesunden Kinde mit periodisch auftretenden, tiefen Schlafzuständen ergab die Untersuchung zweimal eine *Brechkraftzunahme der Linse um 4—5 dptr. während des Schlafes*. Ein ähnliches, aber dem Grade nach wechselndes Verhalten ergab die Untersuchung bei einigen Patienten in genügend tiefem Evipanschlaf und bei einem Affen in Äthernarkose.

Aber noch eine Reihe anderer Überlegungen führen uns zu der Annahme, daß die schlafbedingte Pupillenverengerung an eine Ciliarmuskelbewegung geknüpft ist. Zunächst handelt es sich um die Erscheinung der sog. „Dämmerungs- oder Nachtmyopie“. Es gehört zu den Erfahrungen vieler Fernglasbenutzer, daß sie, um auch bei stark herabgesetzten Umfeldleuchtdichten deutlich zu sehen, Einstellungen des Okulars vornehmen, welche Korrektionsgläsern entsprechen, die um etwa 2 dptr. stärker negativ sind, als den Ametropiewerten entspricht. Die Spannung der Zonula läßt nach, das Auge ist nicht mehr auf seinen Fernpunkt eingestellt wie beim Tagessehen. A. KÜHL

(*zit. bei KATZ, 1947*) bezeichnet diesen Zustand mit Akkommodationsruhe. „Bei abnehmender Umfeldleuchtdichte und damit abnehmender Sehschärfe vermindert sich der Anreiz zur Akkommodation immer mehr.“ „Die Akkommodationsruhe ist, entgegen der bisher geltenden Ansicht, gekennzeichnet durch die um rund 2 dptr. vermindernde Fernpunktrefraktion des helladaptierten Auges.“ Atropin bewirkt die Einstellung der Augen auf ihren Fernpunkt und nicht die Akkommodationsruhe. Es würde sich bei der letzteren um eine Entspannung der Zonula bei fehlendem Akkommodationsreiz, also vor allem auch während des Schlafes, handeln, wobei die Linse auch ihrerseits die „Ruhelage“ einnehmen könnte. — H. SCHOBER (1947) hält die bisherigen Theorien zur Erklärung des Ausmaßes der „Nachtmyopie“ bis zu 4 dptr für unbefriedigend, und zwar sowohl bezüglich der sphärischen Aberration des weit geöffneten Auges als hinsichtlich der Kombination von Farbfehler und PURKINJESchem Phänomen, sowie der Linsenruhelage. Nach SCHOBER u. a. bildet die Akkommodation die hauptsächlichste, wenn auch nicht einzige Ursache der „Nachtmyopie“.

Es läßt sich weder aus dem Akkommodationsmechanismus selbst, wie wir ihn uns vorstellen, noch aus der Zweckmäßigkeit, die das ganze Sinnesorgan betrifft, ein vernünftiger Grund ableiten, weshalb während des Schlafes das Auge auf seinen Fernpunkt eingestellt sein müßte, d. h. die Zonula angespannt bleiben und die Linse unter Überwindung ihrer elastischen Kräfte im Zustand maximaler Abflachung verharren müßte. Dagegen ist die gegenteilige Vorstellung die natürlichere, und sie wäre auch der postnatalen Linsenentwicklung mit Erhaltung größtmöglicher Elastizität adäquat. Der Ciliarmuskel braucht hierbei keine besondere Arbeit zu leisten. Die glatte Muskulatur ist in der Lage, in jedem Zustand ihrer Verkürzung oder Verlängerung die gleiche Spannung aufrecht zu erhalten, ohne zu ermüden. Dieses gilt ebenso für den Ciliarmuskel als z. B. auch für die Pupille, den Pylorus oder für die Gefäßmuskulatur.

Es wird deshalb auch das Verhalten des Ciliarmuskels während des Schlafes kaum dem Zustande einer „Akkommodationsruhe“ bei der „Nachtmyopie“ entsprechen, sondern die Ciliarmuskelbewegung wird sehr wahrscheinlich in reflektorischem Zusammenhang mit den übrigen Muskeltätigkeiten darüber hinausgehen.

Diese Annahme läßt sich mit folgender Überlegung begründen: Sehen wir bei der Prüfung der Lidschlußreaktion, wie mit der Orbiculariskontraktion die Bulbi sich nach oben und außen bewegen und die Pupille sich verengt, so drängt sich der Gedanke auf, daß wir es hierbei mit der Einschaltung des ganzen vegetativen Schlafrreflexsystems zu tun haben. Der Einwand von FRANCECHETTI (kurzes Handbuch der Ophthalmologie), daß die Vorgänge bei der Lidschlußreaktion nicht identisch sein könnten mit den Vorgängen bei der

Schlafreaktion, weil für den Schlaf doch nur eine geringfügige Orbicularisanspannung ausreiche, während zur Auslösung derselben Bewegungen von Bulbi und Pupille als Lidschlußreaktion eine forcierte Orbicularisanspannung notwendig sei, ist nicht genügend überzeugend. Es ist schon länger bekannt, daß die Lidschlußreaktion auch bei normalem Lidschluß zustande kommt (s. bei BEHR l. c.). Besonders deutlich ist dieses gelegentlich nachweisbar bei gewissen Formen von Pupillenstarre, so besonders bei der reflektorischen Starre. Auch die oben mitgeteilten Untersuchungsergebnisse bei der Akkommodotonie erweisen einen solchen Zusammenhang. Stört man aber das normale Eintreten des Reflexes durch zwangswise Aufhalten der Lidspalte, so werden meistens, besonders bei der ersten für den Patienten ungewohnten Prüfung, stärkere Impulse notwendig sein. Die oben mitgeteilten Untersuchungsergebnisse bei der Akkommodotonie machen es aber in sehr hohem Maße wahrscheinlich, daß der gewöhnliche Lidschluß wie zum Schlaf genügt, um das ganze Reflexsystem in Gang zu setzen: Orbiculariskontraktion, BELLsches Phänomen, Ciliarmuskellkontraktion mit zugeordneter Miosis.

Entspricht dieses System aber dem Schlafreflexsystem, woran kaum zu zweifeln ist, so dürfen wir auch annehmen, daß während des Schlafes der Ciliarmuskel über die „Akkommodationsruhe“ hinaus reflektorisch kontrahiert ist. Das heißt aber, daß ebenso wie die Lidschlußmiosis auch die Schlafmiosis eine Pupillenverengerung darstellt, die an eine entsprechende Ciliarmuskelbewegung geknüpft ist. Bezuglich dieser Verknüpfung besteht auch kein Unterschied gegenüber der Naheinstellungsreaktion.

Aus den Kapiteln 2 und 3 ziehen wir die nachstehenden Schlußfolgerungen:

1. Bei der typischen „Pupillotonie“, die eine Lichtreflexstarre der Pupille mit Akkommodotonie ist, sind die Augen während des Lidschlusses für die Nähe eingestellt. Die begleitende Pupillenverengerung, die also auch im Wachzustand eintritt, ist eine Mitbewegung der reflektorischen Ciliarmuskelbewegung im Sinne der Entspannungsmiosis.

2. Bei dem rein vegetativen Reflexsystem der Augen, wobei Schlafreflexsystem und Lidschlußreflexsystem identisch sind, handelt es sich immer um die gleiche, wahrscheinlich schon aus der Fetalzeit stammende Koordination von Muskeltätigkeiten, nämlich: Orbiculariskontraktion, BELLsches Phänomen und Ciliarmuskellkontraktion mit entsprechender miotischer Pupillenbewegung.

3. Naheinstellungsreaktion, Schlafstellungsreaktion und Lidschlußreaktion der Pupille sind ihrem Wesen nach dasselbe, nämlich eine von der Ciliarmuskelbewegung abhängige Entspannungsmiosis, wobei

es bezüglich der von zentralwärts kommenden Impulse nur auf die Innervation des Ciliarmuskels ankommt.

4. Weder für die Naheinstellungsreaktion, die Schlafstellungsreaktion, noch für die Lidschlußreaktion der Pupille sind gesonderte Innervationsimpulse notwendig. Deshalb sind auch alle drei nicht lichtreflektorisch bedingten Verengerungsbewegungen der Pupille weder in einem Hirnzentrum noch in einer zentralen Bahn, für die ohnehin nur ein zentrifugaler Schenkel in Frage käme, vertreten; auch kommt speziell für die Schlafstellungsreaktion eine aparte Stimmungslage des vegetativen Nervensystems im Sinne eines „Tonus“ nicht in Betracht.

Operationsreaktion.

Jeder Augenoperateur kennt die nach Kammerwasserabfluß regelmäßig eintretende oft starke Verengerung der Pupille, die besonders bei den Staroperationen dem weiteren operativen Vorgehen recht hinderlich sein kann. Eine befriedigende Erklärung des Mechanismus dieser Pupillenverengerung liegt noch nicht vor. Auf keinen Fall kann diese Pupillenbewegung durch Innervationsimpulse zustande kommen, denn die Verengerung bei Kammerwasserabfluß bleibt auch nach vorheriger Einträufelung von Atropin oder Scopolamin nicht aus. Selbst die Durchschneidung der Ciliarerven verhindert, wie HENSEN und VÖLKERS 1868 nachgewiesen haben, die Kontraktionsbewegung nicht. Seit den Untersuchungen von MANZ (1873), TSCHERNING (1895) u. a. wissen wir, daß auch im Leichenauge, solange der Bulbus noch über Spannung verfügt, und die glatten Muskeln noch Kontraktionsfähigkeit besitzen, bei plötzlichem Abfluß des Kammerwassers eine Verengerung der Pupille eintritt. TSCHERNING nimmt an, daß hierfür nur mechanische Zusammenhänge in Frage kommen, die man aber nicht genügend erkennen könne. Nach Einführung einer Kanüle in die Vorderkammer kann man durch Ansaugung oder Einspritzung von Flüssigkeit die Pupille beliebig verengern oder erweitern, und zwar von 1—2 mm Durchmesser einerseits bis zu fast völliger Unsichtbarkeit des Irissaumes andererseits. TSCHERNING hat auf Grund solcher Beobachtungen auch angenommen, daß die akkommodative Pupillenverengerung eine rein mechanisch bedingte Erscheinung sei. Er vermutete, daß die Linse beim Abfließen des Kammerwassers stark nach vorn gezogen werde und infolge des dadurch bedingten Zonulazuges sich im Zustand maximaler Akkommodation befindet, und er hat deshalb auch die bei Abfluß des Kammerwassers eintretende Pupillenverengerung als eine akkommodative angesehen.

Für jeden mechanischen Erklärungsversuch darf man die Wiedererweiterung der Pupille unter den „rückläufigen“ Bedingungen nicht unerklärt lassen. Je nach dem Druck, unter dem die Reinkjection der

Flüssigkeit erfolgt, kann die Pupillenweite bis zur maximalen Mydriasis wieder hergestellt werden. Es kann aber weder beim lebenden noch beim toten Auge eine Pupillenerweiterung durch Flüssigkeitsinjektion in den Glaskörper erzeugt werden, auch dann nicht, wenn die Injektion unter sehr hohem Druck, bis zur Steinharde des Bulbus erfolgt. Verengerung und Erweiterung gehen nur parallel mit Druckminderung in der Vorderkammer durch Kammerwasserabfluß und mit Drucksteigerung durch Vermehrung des Kammerinhaltes.

Die plötzliche Druckentlastung durch Volumensverminderung des Vorkammerinhaltes bedeutet eine akute starke Entspannung für den Ciliarmuskelring und gleichzeitig für den ganzen Tensor chorioideae, auf die dieser Muskel reagieren muß. Gleichzeitig treten aber während dieser Muskelkontraktionsbewegung Glaskörper und Linse infolge des Kammerwasserabflusses nach vorn und unterstützen und verstärken die Formänderung, die der Ciliarmuskel bei seiner Kontraktion erfährt. Die hierbei zustande kommende Verkleinerung der Circumferenz der Irisbasis wird durch die Entspannung der Bulbushülle bei Entleerung der Vorderkammer verstärkt. Der Sphincter paßt sich momentan den neuen Spannungsverhältnissen im Irisdiaphragma an und reagiert mit entsprechender unter Umständen sehr energischer Kontraktion. Dieser Vorgang ist aber die akkommodative Entspannungsmiosis ohne Vermittlung durch zentralnervöse Impulse.

Daß die Linse bei Eröffnung der Säugetieraugen die annähernde Kugelform annimmt, war schon den Experimentatoren im vorigen Jahrhundert bekannt (siehe auch bei PÜTTER, Organologie des Auges). Es ist aber sehr unwahrscheinlich, daß der Bewegungsvorgang an der Linse selbst mechanisch die Pupillenweite, vor allem nicht in den in Frage kommenden Umfängen bis zum maximalen Sphincterspasmus, beeinflussen kann. Dieses ist nur möglich durch eine mechanische Einwirkung auf das ganze Irisdiaphragma durch den in Akkommodationsstellung gehenden Ciliarmuskel.

Sehr beweiskräftig für den mechanischen Vorgang der Pupillenverengerung im Sinne der Entspannungsmiosis ist außer der Nervenausschaltung das unterschiedliche Verhalten des Sphincters bei Atropin-Mydriasis und bei sympathisch-spastischer Mydriasis. Atropin und Scopolamin heben die Reaktionsfähigkeit des Muskels auf Reize auf, die ihm auf nervösen Bahnen zufließen. Es besteht aber keine eigentliche Lähmung des Muskels selbst, und dieser vermag sehr wohl auf direkte Reize zu reagieren. Deshalb verkürzt sich der atropinisierte Sphincter bei radiärer Irisentspannung, die im Falle einer Ciliarmuskelkontraktion bei Kammerwasserabfluß sehr ausgiebig ist. — Dagegen tritt, wie zuerst von WESSELY (1900) nachgewiesen wurde, und wie es auch unseren klinischen Erfahrungen entspricht, keine oder nur eine geringfügige Verengerung ein, wenn die Pupille sich im Zustand

einer spastischen Mydriasis nach Adrenalin- oder Cocainanwendung befindet. Hierbei besteht neben der Tonisierung des Dilatators die entsprechende mehr oder weniger vollständige aktive Erschlaffung des doppelinnervierten Sphincters. In diesem Zustand tritt aber bei einer Verkleinerung der Circumferenz der Irisbasis und Entspannung der Iris in radiärer Richtung infolge des spastischen Zustandes des Dilatators keine Entspannung für den Sphincter auf, und selbst wenn eine solche in abgeschwächtem Umfang wirksam werden würde, so könnte der Sphincter im Zustand aktiver Erschlaffung nicht auf diesen Reiz reagieren. Es besteht also eine vollkommene Parallele zum Verhalten der spastisch-mydiatischen Pupille bei der Naheinstellung. Auch hierbei sehen wir keine oder je nach der angewandten Dosis nur eine geringfügige Pupillenverengerung bei der Ciliarmuskelkontraktion.

Ferner wird die Annahme eines nicht nervalen, rein mechanischen Zusammenhangs zwischen Pupillenbewegung und Ciliarmuskelbewegung gestützt durch das Verhalten der Pupille bei Reinjektion des Kammerwassers, und dieses Verhalten wirft insbesondere ein Licht auf die Art und Weise des mechanischen Zusammenhangs. Bei der Reinjektion weichen Linse und Glaskörper wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück, und durch die unter Druck erfolgende Volumenzunahme des Bulbus durch Vermehrung des Vorderkammerinhaltes wird der Linsenmuskel einschließlich Tensor chorioideae wieder gedehnt, was zu einer Abflachung des Ciliarmuskels mit Vergrößerung des Durchmessers des Ciliarmuskelringes führt. Hierdurch wird aber auch die Circumferenz der Irisbasis vergrößert, was zu einer Verschiebung der Ansatzpunkte der radiären Irisfasern in entgegengesetzter Richtung wie bei der Pupillenverengerung führt.

Die experimentelle Pupillenverengerung durch Absaugung des Kammerwassers und die Wiedererweiterung durch Reinjektion stellen also einen *Modellversuch* dar, welcher die Art und Weise des mechanischen Zusammenhangs zwischen Ciliarmuskelkontraktion und Pupillenverengerung demonstriert und die in der vorliegenden Abhandlung mit Entspannungsmiosis bezeichnet und ausführlich auch rechnerisch begründet ist. Diese Akkommodationsmiosis hat aus den oben dargelegten Gründen eine verlängerte Latenzzeit, einen langsameren Ablauf und beginnt erst dann in Erscheinung zu treten, nachdem sich der Ciliarmuskel schon in nennenswertem Umfang kontrahiert hat, wobei sich dann mit fortschreitender Verengerung das Pupillenzentrum nasalwärts verschiebt.

Zusammenfassung.

1. Es werden die Gründe dargelegt, die es als sehr unwahrscheinlich erscheinen lassen, daß die Nahblickverengerung der Pupille eine zentral

bedingte Nerv-Muskelbewegung ist und die Naheinstellungsreaktion direkt von einem hypothetischen, supranuklearen Naheinstellungs-zentrum gesteuert wird. Vielmehr wird zu begründen versucht, daß die Nahblickverengerung unabhängig von zentralen Impulsen direkt und auf mechanischem Wege veranlaßt wird durch die Aktion des Ciliarmuskels, und zwar mit einem Mechanismus, der den Vorgängen bei der Linsenakkommodation nach der v. HELMHOLTZSCHEN Theorie gleichzusetzen ist. Bei seiner Kontraktion entspannt der Ciliarmuskel nicht nur die Zonula, sondern durch Verkleinerung des Durchmessers der Irisbasis auch die radiären Irisfasern, was als unmittelbare Reaktion eine Entspannungsmiosis des Sphincters zur Folge hat. Die Wiedererweiterung erfolgt in Analogie zu der Wiederanspannung der Zonula bei der Desakkommodation.

Durch die anatomisch-funktionelle Einheit von Ciliarmuskel und Sphincter bei der Akkommodation entsteht die Gemeinschaftsleistung der vollkommenen oder dreidimensionalen Nahakkommodation, d. h. Linsenakkommodation (Bildschärfe) plus Pupillenakkommodation (Bildtiefe). Die rechnerisch gefundenen Maximalwerte für die Größe der notwendigen akkommodativen Verkleinerung des Ciliarmuskels-Irisringes stehen mit den anatomisch-funktionellen Möglichkeiten nicht in Widerspruch.

Der Vorgang einer nicht nerval bedingten akkommodativen Entspannungsmiosis erklärt erst die grundsätzlichen Unterschiede, die zwischen dieser und der lichtreflektorisch bedingten Verengerungsbewegung bestehen; so vor allem die verlängerte Latenzzeit, der langsamere Bewegungsablauf, die gleichzeitige anatomisch bedingte Verschiebung des Pupillenzentrums nasalwärts, das Erhaltenbleiben der Lichtreaktion auf dem Höhepunkt der Akkommodationsmiosis, der Beginn der Verengerung zu einem Zeitpunkt, in dem Konvergenz- und Linsenakkommodation schon weit vorgeschritten sind. Auch eine Reihe klinisch wichtiger Erscheinungen aus der Pathologie der Pupillenbewegungen werden durch die beschriebenen Zusammenhänge und Vorgänge bei der Pupillenakkommodation in befriedigender Weise verständlich als bisher.

2. Es wird ferner begründet, daß die Pupillenverengerung bei der Lidschlußreaktion und Schlafstellungsreaktion ebenfalls keine selbständigen Nerv-Muskelreaktionen sind, sondern in unmittelbarer Weise geknüpft sind an eine während des Lidschlusses und während des Schlaflses eintretende Spannungsänderung des Ciliarmuskels. Der Nachweis hierfür ergab sich vor allem aus dem entsprechenden Verhalten von Ciliarmuskel und Pupille während des Lidschlusses bei reinen Fällen von Akkommodotonie. Bei solchen Zusammenhängen ist aber die Hypothese einer zentralen Verbindung zwischen Facialis- und Sphincterkern überflüssig.

3. Der Vorgang der Pupillenverengerung bei Absaugung des Kammerwassers oder Eröffnung der Vorderkammer, der auch nach Nervendurchschneidung eintritt, wird analysiert und als Modellversuch für die nichtreflektorisch bedingten, unmittelbar und mechanisch von der Ciliarmuskeltätigkeit abhängigen Pupillenverengerungen angesehen.

4. Es gibt nur zwei Modi einer Pupillenverengerungsbewegung: 1. die lichtreflektorisch bedingte und 2. die in Analogie zur v. HELMHOLTZSchen Theorie der Linsenakkommodation vom Ciliarmuskel abhängige Entspannungsmiosis, wobei es hierbei bezüglich der zentralen Impulse nur auf die Innervation des Ciliarmuskels ankommt. Dieser zweite Modus der Pupillenverengerung ist verwirklicht bei allen nicht lichtreflektorischen Verengerungsbewegungen, nämlich bei der Nah-einstellungsreaktion, der Lidschlußreaktion, der Schlafstellungsreaktion und Operationsreaktion. Wir haben dem retinaabhängigen, sensorischen Tages- oder Wachreflexsystem der Augen ein entwicklungsphysiologisch schon aus dem Fetalschlaf herzuleitendes, vegetatives Schlafrreflexsystem der Augen gegenüberzustellen. In beiden ist eine Ciliarmuskelbewegung mit gleichzeitiger Entspannungsmiosis den übrigen reflektorischen Muskeltätigkeiten zugeordnet.

Literatur.

- ADAMÜCK u. WOINOW: Graefes Arch. **17**, 158 (1871). — ARLT jun.: Graefes Arch. **15**, 294 (1869). — BACH: Pupillenlehre. Berlin: S. Karger 1908. — BEHR, C.: Die Lehre von den Pupillenbewegungen. Berlin: Springer 1924. — DONDERS: Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges, 2. Aufl. 1888. — FRANCECHETTI, A.: Kurzes Handbuch für Ophthalmologie, Bd. I. 1930. — GRAEFE, A. v.: Graefes Arch. **1**, 440 (1854). — GULLSTRAND: Handbuch der physiologischen Optik, Bd. I, S. 337. 1909. — HELMHOLTZ, v.: Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. I. 1909. — HENSEN u. VÖLCKERS: Experimentaluntersuchung über den Akkommodationsakt. Kiel 1868. — Arch. Ophthalm. (D.) **19**, 156 (1873). — HESS, C. v.: Anomalien der Refraktion und Akkommodation. In GRAEFE-SÄMISCHS Handbuch, Bd. VIII, Abt. 2. 1903. — HÜCK u. TSCHERNING: Zit. bei BEHR, Die Lehre von den Pupillenbewegungen. Berlin: Springer 1924. — JOSEPH, R.: Amer. J. Physiol. **55**, 279 (1921). — KATZ: Klin. Mbl. Augenhk. **111** (1947). — LAUBER, H.: In v. MÖLLENDORFFS Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen, Bd. III, Teil 2, Auge. 1936. — MANZ: Virchow-Hirsch Jber. **2**, 500 (1873). — MODEROW: Das Verhalten der Pupillen bei der Konvergenz und Akkommodation. Inaug.-Diss. Marburg 1905. — PILTZ: Neur. Zbl. **248** (1899). — POOS, FR.: Klin. Mbl. Augenhk. **77**, 5 (1926); **78**, 227 (1927). — Arch. exper. Path. (D.) **126**, 307 (1927). — Erg. Physiol. **41** (1939). — SARBO, v.: Neur. Zbl. **1914**, 339. — SCHOBER, H.: Graefes Arch. Ophthalm. **148**, 171 (1947). — TSCHERNING: Arch. Physiol. **1895**. — WESSELY, K.: Heidelbg. Ber. **28** (1900); **42** (1920). — WESTPHAL: Neur. Zbl. **161** (1899). — WIELAND u. SCHÖN: Arch. exper. Path. (D.) **100**, 190 (1932).