(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität in Prag.)

Über binokulare Vereinigung der eigenen Pupillen.

Von

Privatdozent Dr. **R. H. Kahn.**

(Mit 8 Textfiguren.)

Die binokulare Vereinigung der eigenen Pupillen lässt eine Reihe bemerkenswerter Erscheinungen beobachten, welche geeignet sind, eine Anzahl physiologisch-optischer Tatsachen in anschaulicher Weise vorzuführen.

Die Vorrichtungen, welche man zunächst zu diesem Zwecke benötigt, sind ungemein einfach. Es genügt ein längliches Stück eines guten Spiegelglases (etwa 100×15 mm), welches in der Mitte mit einem Stabe versehen horizontal und frontal nahe vor die beiden Augen gehalten wird, so dass man die Spiegelbilder der eigenen Augen betrachten kann. Am besten stellt man den Spiegel am Stabe in ein Stativ gefasst vor sich auf den Tisch, so dass er sich in Augenhöhe befindet, und betrachtet die beiden Augen mit parallelen Gesichtslinien, indem man Licht über den oberen Spiegelrand auf die Augen fallen lässt.

Nun sieht man gleichsam ein Cyklopenauge, welches man betrachten kann, indem man bei parallelen Gesichtslinien akkommodiert. Der Nasenrücken erscheint als gekreuzte Doppelbilder. Das Auge besitzt eine Lidspalte, welche rechts und links je einen inneren Augenwinkel aufweist. Denn da die beiden äusseren Augenwinkel viel weiter hinter der Ebene der Pupillen gelegen sind als die inneren, tritt an den Winkeln des binokular gesehenen Auges trotz des verschiedenen Inhaltes der Gesichtsfeldstellen kein erheblicher Wettstreit ein. Diese Erscheinung wird noch durch den Umstand begünstigt, dass die Karunkula lakrym. ein auffallendes Objekt darstellt, welches sich bei der Betrachtung der Aufmerksamkeit in hohem Maasse aufdrängt.

Etwas stärker streiten schon die Wimpern der beiden Lider sowie die bei weitgeöffneten Lidspalten auf der Sklera sichtbaren grösseren Gefässe.

Trotz ihrer sehr verschiedenen Zeichnung bieten die beiden Irisflächen binokular vereinigt ein recht einheitliches Bild. Die Iris des Cyklopenas ist von seidenartigem Glanze, ihre Details streiten viel weniger in der Form als in der Schärfe, mit welcher sie in kurzen aufeinanderfolgenden Zeiten erscheinen.

Die beiden Pupillen liegen — beiderseits gleiche Pupillenweite vorausgesetzt — vollkommen übereinander, indem sich ihre Ränder decken. Dabei treten kleine Unregelmässigkeiten in der Begrenzung derselben deutlich hervor. Eine kleine Ausbuchtung, welche meine rechte Pupille im unteren äusseren Quadranten aufweist, ist im Cyklopenauge mit voller Deutlichkeit zu sehen, ohne dass man erkennen könnte, dass es sich nur um ein monokular gesehenes Bild handelt.

Beleuchtet man die beiden Augen, indem man das Gesicht dem Fenster zuwendet, dessen Licht über den oberen Spiegelrand einfällt, dann ist ein Teil der sonst dunklen Pupille vom Bilde des hellen Fensters erfüllt. Der scheinbare Ort dieses Hornhautreflexbildes liegt sehr deutlich vor der Pupillarebene.

Das Verhalten der Spiegelbilder der Augen bei binokularer Vereinigung beider ist von besonderem Interesse. Um dieses zu beobachten, stelle man den Versuch im dunklen Zimmer an, indem man den Spiegel möglichst nahe vor die Augen hält, und über den oberen Spiegelrand das Licht einer künstlichen Lichtquelle (am besten einer Glühlampe von etwa 50 Kerzen) einfallen lässt, welche in geringer Entfernung (etwa 35 cm) an einem dünnen Kabel aufgehängt ist.

In diesem Falle sieht man bei monokularer Betrachtung in jeder der beiden Pupillen die Spiegelbilder der Hornhaut und der hinteren Linsenfläche in der gegenseitigen Lage, Entfernung und beiläufigen Grösse, wie es Fig. 1 darstellt. Die beiden Hornhautbilder sind symmetrisch um die vertikalen Meridiane gruppiert, in dem sie um den gleichen Betrag nach der nasalen Seite verschoben erscheinen. Sie liegen also im oberen und nasalen Teile des inneren, oberen Quadranten, bei der geschilderten Anordnung berühren sie etwa den Pupillarrand.

Die beiden kleinen Linsenbildchen liegen auf dem dunklen Grunde der Pupillen im unteren äusseren Quadranten knapp neben dem vertikalen Meridiane bei der geschilderten Anordnung etwa an der Grenze des ersten und zweiten unteren Viertels des vertikalen Pupillendurchmessers.

Vereinigt man nun die beiden Pupillen mit parallelen Gesichtslinien, so dass ihre Ränder genau aufeinanderliegen, so sieht man die Spiegelbilder in Doppelbildern in der Pupille der Cyklopedes, und zwar sind die Doppelbilder des Hornhautreflexes gekreuzt, die des Linsenbildchens gleichseitig. Indessen ist dieser Zustand nur

Fig. 1.

mit grosser Mühe und für nur kurze Zeit zu erhalten, denn es macht sich sogleich ein starker Fusionszwang bezüglich der Linsenbildchen geltend.

Indem nun die Augen eine leichte Divergenzstellung einnehmen, verschmelzen die beiden Linsenbildchen zu einem einheitlichen Bilde. Sofort erscheint in der Vorstellung der Ort dieses binokular gesehenen Bildes bestimmt. Man verlegt dasselbe ziemlich weit hinter die Pupillarebene in das Innere des Auges. Dabei deckt es sich genau mit dem vertikalen Meridiane (Fig. 2).

Die Ursache dafür, dass das Bild hinter der Pupillarebene gelegen erscheint, liegt in der binokularen Parallaxe, welche die beiden Bildchen im rechten und linken Auge gegen die Pupille haben.

Betrachtet man nun das Linsenbildchen und beachtet dabei das Verhalten des Hornhautreflexes, so erkennt man sofort, dass dieser in gekreuzten Doppelbildern erscheint. Indessen tritt auch hier, sowie die Aufmerksamkeit darauf gerichtet wird, Fusionszwang ein, die Augen machen eine Bewegung zur Konvergenz, und das binokular gesehene einfache Bild hat sofort einen in der Vorstellung bestimmten

Ort. Es liegt vor der Pupillarebene im vertikalen Meridiane am oberen Pupillarrande.

Man kann nun abwechselnd das Hornhaut- und hintere Linsenbild sowie den Pupillarrand betrachten, wobei sich die Vorstellung von der gegenseitigen Entfernung der drei Orte immer mehr verschärft. Das Hornhautbild liegt weit vorn etwa in der Hornhaut selbst, das Linsenbild in der Tiefe des Auges, und zwar erscheint die Entfernung des ersteren von der Pupillarebene grösser als die des letzteren. Dabei werden die jeweiligen Doppelbilder exkludiert, so dass ein ganz einheitlicher Eindruck entsteht.

Fig. 2.

Die Grösse der Spiegelbilder, ihre gegenseitige Entfernung und ihre Lage in der Pupille können nun durch Annäherung oder Entfernung der Lichtquelle von den Augen variiert werden. Ist die Lichtquelle näher herangerückt, dann wächst die Grösse der Bilder und ihre Entfernung voneinander nimmt zu. Dabei rückt der Hornhautreflex eines jeden Auges nach oben und nach der nasalen Seite, während das hintere Linsenbildchen nach unten und temporalwärts sich bewegt. (Fig. 3.)

Es vergrössert sich also der Abstand der beiden Bilder vom vertikalen Meridiane einerseits nach der nasalen, andererseits nach der temporalen Seite, während das Hornhautbild steigt, das Linsenbild aber sinkt. Fig. 3 zeigt die Lage der Bilder in den Pupillen der beiden im Spiegel gesehenen Augen bei Annäherung der Lichtquelle auf etwa 17 cm. Man erkennt die Änderung der Stellung der Bilder im Vergleiche mit Fig. 1.

Die binokulare Vereinigung der Pupillen bei dieser geringeren Entfernung der Lichtquelle von den Augen ergibt nun eine wesentlich andere scheinbare Lage der Spiegelbilder, als in Fig. 2 dargestellt wurde.

Zunächst sind beide Bilder viel grösser. Das Hornhautbild steht über dem Pupillarrande, das Linsenbild in der Pupille über dem

Fig. 3.

Fig. 4.

unteren Rande derselben. Beide Bilder stehen aber auch hier wieder im vertikalen Meridiane, also senkrecht übereinander. (Fig. 4.)

Das Verhalten der Bilder zum Pupillarrande wird ausserdem durch den Umstand beeinflusst, dass bei naher Lichtquelle die Pupillen enger sind als bei weiter.

Infolge der geänderten binokularen Parallaxe erscheint nun bei binokularer Vereinigung der Ort der Bilder in der Tiefenrichtung gegen früher wesentlich geändert. Das Hornhautbild scheint weit vor der Pupillarebene zu liegen, das Linsenbild weit hinter derselben. Dabei macht man die im Anfang überraschende Bemerkung, dass

das Linsenbild trotz der scheinbar grösseren Entfernung grösser geworden ist.

Nun lässt es sich leicht veranstalten, dass die Lichtquelle etwa innerhalb der oben angegebenen Entfernungen in sagittaler Richtung pendelt. Die gleichzeitige binokulare Vereinigung der Pupillen bietet nun ein sehr bemerkenswertes Schauspiel.

Die Pupille des Cyclopedes wird abwechselnd weiter und enger. Die Spiegelbilder bewegen sich dabei in der vertikalen und in der Tiefendimension. Dabei wandern sie zwischen den in den Fig. 1—4 angedeuteten Stellungen hin und her, indem sie zugleich ihre Grösse verändern.

Der Hornhautreflex scheint in der vorderen Kammer zu schwingen. Kommt die Lichtquelle näher, so wird er grösser und entfernt sich von der Pupillarebene, indem er nach vorne zu rückt. Zugleich bewegt er sich nach oben. Diese Schwingungen erfolgen genau im vertikalen Meridiane.

Das Linsenbildchen bewegt sich in entgegengesetztem Sinne. Es wandert bei Annäherung der pendelnden Lichtquelle noch tiefer in das Innere des Auges hinein, indem es zugleich grösser wird und nach unten sinkt. Während also das Hornhautbild sich von hinten unten nach vorne oben bewegt, schwingt das Linsenbild von vorne oben nach hinten unten. Dabei erfolgen die Bewegungen in der Ebene des vertikalen Meridians, und die Bilder sind bei der grössten gegenseitigen Entfernung am grössten.

Das ganze Schauspiel erinnert an Ewald's¹⁾ Versuch der binokularen Vereinigung pendelnder Kugeln. Dort handelt es sich um die Vereinigung zweier in gleichen Phasen gegen- und voneinander pendelnder an Fäden aufgehängter Kugeln. Man betrachtet dieselben aus einiger Entfernung (ca. 5 m), indem man die Augenachsen sich in einem Punkte kreuzen lässt, welcher so nahe liegt, dass die beiden mittleren Doppelbilder der Kugeln sich decken. Dann pendelt, während in Wahrheit die beiden Kugeln sich voneinander entfernen, die binokular gesehene mittlere Kugel gegen den Beschauer und umgekehrt.

Diese Erscheinung beruht nicht auf der durch die wahren Bewegungen der Kugeln sich fortwährend ändernden stereoskopischen

1) J. R. Ewald und O. Gross, Über Stereoskopie und Pseudoskopie. Pflüger's Arch. Bd. 115 S. 528. 1906.

Parallaxe gegenüber den von Ewald und Gross hinter den Kugeln angebrachten Kreisen, sondern im wesentlichen, wie ich ¹⁾ auseinandersetzte, auf dem sich fortwährend ändernden Grade der Konvergenz der Gesichtslinien zum Zwecke der dauernden binokularen Verschmelzung.

Denn je mehr die Kugeln während des Pendelns auseinandergehen, desto stärkerer Konvergenz bedarf es, um sie zu vereinigen, und um so mehr rückt der Konvergenzpunkt an den Betrachter heran. Und gerade für den Fall der haploskopischen Betrachtung zweier identischer Objekte spielt bekanntlich die Konvergenzstellung der Gesichtslinien eine hervorragende Rolle für die Vorstellung von der räumlichen Entfernung des binokular gesehenen Bildes (Tapetenbilder²⁾ usw.). Dabei kommt wohl in den meisten Fällen das Vorhandensein sonstiger Anhaltspunkte (eigener Körper, andere im Gesichtsfelde vorhandene Objekte) unterstützend in Betracht.

Unsere Erscheinung der in der Tiefendimension pendelnden Reflexbilder im Cyklopenauge hat mit dem Phänomen der pendelnden Kugeln einige Verwandtschaft. Auch in unserem Falle ist die Ursache für das Pendeln in der Tiefendimension darin zu suchen, dass bei den Bewegungen der Lichtquelle die Bilder in den beiden Augen gegen- und voneinander schwingen. Dies tun sie in entgegengesetzten Phasen. Denn bei Annäherung der Lichtquelle pendeln die beiden Hornhautreflexe gegeneinander, die Linsenbildchen voneinander weg. Nur beobachtet man hier die pendelnden Bilder nicht mit falscher (gekreuzte Gesichtslinien), sondern mit richtiger Konvergenz, d. h. je näher die beiden Hornhautbildchen einander stehen, desto stärker muss konvergiert werden und umgekehrt. Dasselbe gilt für die Linsenbildchen.

Nun kommt aber in unserem Falle noch ein Umstand hinzu, welcher das Auftreten der Vorstellung von der jeweiligen Entfernung der Bildchen mit beherrscht. Das ist die wechselnde stereoskopische Parallaxe, welche in diesem Falle sicher ihre Rolle spielt. Die Bildchen liegen nämlich in der Pupille bei verschiedener Entfernung der Lampe sehr verschieden (Fig. 1 und 3). Die Wertigkeit dieses

1) R. H. Kahn, Binokulare Vereinigung pendelnder Kugeln. *Lotos* Bd. 56 H. 4. 1908.

2) H. v. Helmholtz, *Handb. d. physiol. Optik*, I. Aufl., S. 652, 2. Aufl., S. 798. — R. H. Kahn, Über Tapetenbilder. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* (Physiol. Abt.) 1907 S. 56.

Umstandes lässt sich in unserem Falle nicht wie bei den pendelnden Kugeln bestimmen, indem die Pupille nicht ebenso entfernt werden kann, wie die Kreise im Ewald'schen Versuche. Vermutlich spielen hier beide Umstände, Parallaxe und wechselnder Konvergenzzustand, ihre Rolle bei den Erscheinungen bezüglich der Vorstellung der Entfernung der Bildchen in der Tiefe.

Bemerkenswert ist endlich noch die Grösse der Bilder. Während der Hornhautreflex, indem er dem Betrachter entgegenschwingt, grösser wird, entspricht er der geläufigen Vorstellung von der Vergrösserung gesehener Objekte bei ihrer Annäherung. Das Linsenbildchen aber wird bei scheinbarer Annäherung kleiner. Diese Erscheinung, welche hier anfänglich sehr überrascht, erinnert wiederum an das gleiche Verhalten bei den pendelnden Kugeln, ist aber hier ganz anders zu erklären als dort. Hier handelt es sich um die Verkleinerung des Hohlspiegelbildes bei Entfernung der Lichtquelle, dort um eine Täuschung auf psychischer Grundlage.

Wir gehen nun dazu über, noch eine andere Erscheinung vorzuführen, welche bei der Vereinigung der eigenen Pupillen gemacht werden kann. Es lässt sich nämlich die Vereinigung auch so ausführen, dass man nicht mit parallelen Gesichtslinien, sondern bei erheblicher Konvergenzstellung der Augen seine Pupillen vereinigt.

Dazu benötigt man einen kleinen Winkelspiegel. Zwei Spiegelstreifen von etwa 60×15 mm werden an ihren Schmalseiten durch ein Scharnier miteinander verbunden. Indem man nun die Streifen derart gegeneinander neigt, dass sie einen dem Betrachter abgekehrten Winkel von etwa 155 — 160° bilden, stellt man diesen Winkelspiegel im Stativ ebenso wie den ebenen Spiegel in den bisher geschilderten Versuchen symmetrisch vor die eigenen Augen.

Mit geringer Mühe lernt man es, dieselben zu vereinigen. Dann konvergieren die Gesichtslinien symmetrisch auf einen nicht weit vom Betrachter gelegenen Punkt (dessen Entfernung sich übrigens durch Änderung des Spiegelwinkels nach Belieben ändern lässt), während die Akkommodation auf die doppelte Entfernung der Spiegel von den Augen eingestellt ist. Auf diese Weise lässt sich die Trennung der Akkommodation von der Konvergenz sehr verringern oder auch ganz beseitigen.

Um die Spiegelbilder im Cyklopenauge in diesem Falle bequem zu beobachten, empfiehlt es sich, dafür zu sorgen, dass die Pupillen nicht zu eng sind. Man stellt also die Lichtquelle, deren Licht über

den oberen Spiegelrand einfällt, in grösserer Entfernung auf (80—90 cm) und sorgt durch einen weissen Reflektor oder Schirm von etwa 30 cm Durchmesser für genügende Grösse der Spiegelbilder.

Die Stellung der Bilder in der Pupille ist nun eine andere als bei der oben benützten Anordnung (Fig. 5). In beiden Augen steht der Hornhautreflex nahezu im vertikalen Meridiane. Durch passende Höhenstellung der Lichtquelle kann man es leicht erreichen, dass er mit dem oberen Rande den Rand der Pupille berührt. Dann stehen die beiden Linsenbildchen in den unteren inneren Quadranten auf dem dunklen Grunde der Pupille nicht weit vom vertikalen Meridiane entfernt und wieder etwa an der Grenze des ersten und zweiten Viertels derselben von unten.

Fig. 5.

Vereinigt man die beiden Pupillen binokular, so erscheint der Hornhautreflex nahezu in der Pupillarebene im Kammerwinkel, das Linsenbildchen aber ein wenig vor der Ebene der Pupille im vertikalen Meridiane.

Diese Anordnung lässt sich nun dazu benutzen, um die Senkung der Linse bei angestrenzter Akkommodation infolge der Entspannung der Zonula (Hess) subjektiv zu beobachten. Dazu ist es notwendig der ganzen Aufstellung ein festes Gefüge zu geben.

Man setzt also den Winkelspiegel in ein festes Stativ oder am besten auf einen längs einer Schiene verschieblichen Reiter. Vor demselben wird ein Beissbrettchen zur Fixierung des Kopfes angebracht und die Lichtquelle in der oben angegebenen Entfernung aufgestellt. Nun betrachtet man seine Augen, indem man in das Brettchen beissend die Gesichtslinien in horizontaler Ebene hält, im Winkelspiegel und bringt sie zur Vereinigung. Dann sieht man bei angestrenzter Akkommodation das Linsenbildchen nach unten sinken.

Um die Erscheinung klar zu sehen, ist es zunächst nötig, eine Vergleichsmarke anzubringen. Als solche dient am besten ein feines Kornealbild, welches man, dieselbe Lichtquelle benützend, auf der Hornhaut entwirft. Man stellt (Fig. 6) hinter dem Winkelspiegel ein kleines gleichseitiges Prisma (p) so auf, dass es den Augen des Betrachters eine durch Reflexion leuchtende Fläche zuwendet. Das Prisma, dessen Stellung in Fig. 6 bei p angedeutet ist, empfängt Licht von derselben Lichtquelle, die über den oberen Rand des Spiegels (sp) die Augen beleuchtet, welche sich über dem Beissbrettchen (b) befinden. Seine untere leicht geneigte Fläche erscheint dann durch Totalreflexion erleuchtet, wobei die Lichtstärke zweckmässig durch

Fig. 6.

ein hinter dem Prisma angebrachtes Stück transparenten Papierses abgeschwächt wird. Das Prisma, welches in vertikaler Richtung durch Zahn und Trieb verschieblich ist, entwirft nun einen sehr kleinen strichförmigen Hornhautreflex, welchen man, indem man die Höheneinstellung benützt, in die Nähe des Linsenbildchens bringen kann. Die Stative des Prismas, Spiegels und Beissbrettchens sind am besten auf einer metallenen Schiene oder einem Metallprisma genau hintereinander angebracht, so dass das Beissbrettchen fest steht, die beiden anderen Apparate aber gegeneinander verschieblich sind.

Nachdem man also durch Verschieben des Prismenstativs dafür gesorgt hat, dass die beiden kleinen Hornhautbilder dieselbe Lage zum vertikalen Meridiane in beiden Augen haben, wie die Linsenbilder, vereinigt man die Pupillen binokular. Dann sieht man auf dem Grunde der Pupille des Cyklopenauges im unteren Teile im

vertikalen Meridiane übereinander die beiden zu beobachtenden Bilder, das strichförmige Hornhautbild und das punktförmige Linsenbild.

Indem man Zahn und Trieb des Prismenstativs benützt, kann man den Abstand der Bilder voneinander sehr gering machen, und hat also Gelegenheit, eine eintretende Änderung der Lage des Linsenbildes in vertikaler Richtung daran genau zu erkennen, dass sich der Abstand der beiden Bilder voneinander ändert.

Bekanntlich hat Hess¹⁾ eine Methode angegeben, um die von ihm entdeckte Senkung der Linse bei angestrenzter Akkommodation subjektiv wahrzunehmen. Die Methode besteht in der Beobachtung der Bewegung einer punktförmigen Linsentrübung, welche als feiner,

Fig. 7.

dunkler Punkt im entoptischen Bilde sichtbar wird. Bei angestrenzter Akkommodation steigt dieser Linsenpunkt in die Höhe, um bei Nachlassen derselben wieder herabzusinken. Leider sehe ich gleich vielen anderen keinen solchen Linsenpunkt im entoptischen Bilde mit genügender Deutlichkeit, um das Phänomen wahrnehmen zu können.

Mit der eben beschriebenen Methode sehe ich die Linsensenkung sehr gut und habe sie auch anderen gut demonstrieren können.

Man stellt also mittels Zahn und Trieb das Prisma so ein, dass das Hornhautbildchen sich unterhalb des Linsenbildchens befindet. Beide mögen etwa um den doppelten Durchmesser des Linsenbildchens voneinander entfernt sein (Fig. 7). Dann nähert man

1) Ausführliche Beschreibung bei C. Hess, Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation usw. in Graefe-Saemisch, Handb. d. Augenheilk., 2. Aufl., S. 218. 1902.

durch Verschieben des Statives den Spiegel langsam den Augen, bis das Linsenbildchen eben anfängt unscharf zu werden, und macht nun noch eine kräftige Akkommodationsanstrengung. Sogleich sinkt das Linsenbildchen herab und sitzt nun dem Hornhautbilde auf (Fig. 8). Lässt man die Akkommodation nach, so steigt es wieder, und man kann nun den Versuch beliebig oft wiederholen. Dabei ändert sich sonst nichts an dem ganzen Bilde der Pupille, als dass bei verschiedenen Personen scheinbar in verschiedenem Maasse die Pupille sich ein wenig bei angestrenzter Akkommodation verengert.

Fig. 8.

Das Herabsinken des Linsenbildes kann im Sinne von Hess nur so aufgefasst werden, dass die Linse bei angestrenzter Akkommodation nach unten sinkt.

Wie schon oben erwähnt wurde, ist es nötig, durch entsprechende Winkelstellung des Spiegels dafür zu sorgen, dass der Konvergenzgrad der Gesichtslinien der bei starker Annäherung der Spiegel zu leistenden Akkommodation annähernd entspricht. Denn die zu diesem Versuche notwendige Entspannung der Zonula ist wohl kaum zu erreichen, wenn nicht für entsprechende Konvergenz der Gesichtslinien gesorgt ist.