

Die Fixation.

Von
Dr. REDDINGIUS,
im Haag.

Aufser dem Richten der Foveae auf schon peripher wahrgenommene Gegenstände, ist noch das auf diese Gegenstände Gerichtet-Halten der Foveae eine Function unserer Augenmuskeln. Erstere Function kann man Einstellung, die zweite Fixation nennen.

Beim Sehen ist nur willkürlich das Lenken der Aufmerksamkeit; im Uebrigen kommen alle unsere Augenbewegungen als Reflexe zu Stande. Für jede Augenbewegung müssen daher ursächliche sensorische Eindrücke zu finden sein.

Der für die Einstellung nothwendige sensorische Eindruck ist ohne Weiteres klar; es ist die Thatsache, daß ein Bildpunkt, worauf die Aufmerksamkeit sich richtet, auf der Retina nicht central, sondern irgendwo peripher gelegen ist. Die Reizung jedes sensiblen Retinatheilchens besitzt ein motorisches Aequivalent, das von der Lage dieses Theilchens bestimmt wird in diesem Sinne: je weiter das Theilchen von der Fovea entfernt ist, desto größer ist sein motorisches Aequivalent.

Wenn nun durch die Einstellung Fovea und Bildpunkt zusammenfallen, worin kann dann der sensorische Eindruck bestehen, welcher die für die Fixation benöthigten Muskelcontractionen zu Stande bringt? In diesem Augenblicke sind dergleichen sensorische Eindrücke nicht denkbar. Daß es erwünscht ist, das schon Erreichte zu erhalten, kann ja kein sensorischer Eindruck sein. Nur durch Verlust der richtigen Einstellung wird die Erhaltung von sensorischen Eindrücken von Neuem möglich gemacht. Die sensorischen Eindrücke, welche die Fixation zu Stande bringen, müssen die Wirkung von Verschiebungen des Bildpunktes auf der Retina sein.

So bin ich zum Schluß gekommen, daß wirkliche Fixation nicht besteht, und daß dasjenige, was wir darunter verstehen, ein jedesmaliger Verlust der für das centrale Sehen zu erstreben-

den Lage sein muß, der von immer neuen Einstellungen gefolgt wird. Weil wir objectiv diese Einstellungsbewegungen nicht wahrnehmen können, müssen sie sehr klein sein; vielleicht wäre es möglich, mit einem außerordentlich gut am Kopfe des zu Untersuchenden fixirten Corneamikroskops diese Bewegungen zu constatiren.

Der Reihe nach werde ich hier betrachten die Fixation:

bei Abwesenheit der Convergenz- und Divergenz-Innervation,

beim binocularen Sehen mit Orthophorie,

beim normalen monocularen Sehen,

beim binocularen Sehen mit Esophorie und Exophorie,

beim binocularen Sehen mit Hyperphorie.

Erstere Fixationsart kann vorkommen bei Personen, die durch alten Strabismus die Convergenz- und Divergenz-Innervation ganz verloren haben; ihre Fixation ist natürlich immer monocular.

Eine excentrische Lage des Bildpunktes wird bei ihnen Einstellungsreizung der Organe für das Sehen nach rechts, nach links, nach oben und nach unten zur Folge haben. Durch die auf diese Reizungen folgenden Muskelcontractionen wird die Fovea nach dem Bildpunkte bewegt, und wenn dieser erreicht ist, hört die Einstellungsreizung auf. Das Auge ist ein Organ, das beim Fehlen von Innervationsreizen nach der Ruhestellung zurückstrebt; so geht die richtige Einstellung wieder verloren, und es entsteht der sensorische Eindruck für eine andere kleine Einstellungsreizung.

Je mehr peripher der zu fixirende Gegenstand im Blickfelde gelegen ist, desto stärker wird die Elasticitätskraft der das Auge umgebenden Gebilde sein, welche das Auge wieder in seine Ruhestellung zurückdrängen, desto stärker wird auch der einfache oder combinirte Innervationsimpuls sein müssen, der zuerst die Einstellung und darauf die Fixation wieder herstellen soll. Bei stark peripherer Lage des Bildpunktes im Blickfelde wirkt die Elasticitätskraft am stärksten, und sie kann daher jedesmal das Auge einen größeren Weg zurücklegen lassen, ehe die Fixationsinnervation die Fovea wieder zu dem Bildpunkte zurückkehren läßt.

Bei Untersuchung der Blickfeldgröße habe ich oft gesehen,

daß auch bei normalen Menschen die Länge des vom Auge unter dem Einfluß der antagonistischen Muskel- und Elasticitätswirkungen zurückgelegten Weges in der Peripherie so groß ist, daß objectiv nystagmusartige Bewegungen zu constatiren sind.

Wenn man beim Fixiren eines stillstehenden Gegenstandes das Auge mit dem Finger etwas nach rechts dreht, dann bemerkt man, daß — durch das Fehlen des bei der Drehung gewöhnlichen psychischen Aequivalentes der Augenmuskelcontraction — der Gegenstand sich scheinbar nach links bewegt. Wenn nun beim Fixiren in der Peripherie des Blickfeldes die Elasticitätskraft — deren Wirkung ebenso wenig ein psychisches Aequivalent besitzt — das Auge in die Richtung der Ruhestellung bewegt, ist es möglich, daß auch dabei Scheinbewegung zu bemerken ist. Wirklich ist das bei mir der Fall, wenn ich einige Zeit mit einem Auge in der Obergrenze des Blickfeldes anhaltend fixire: der oberste Theil des Gesichtsfeldes scheint sich dann nach oben zu bewegen.

Ich stelle mir also die Fixation, insoweit sie von den Innervationen abhängig ist, welche den Blick in den zwei Dimensionen von Breite und Höhe bewegen, derart vor, daß sie aus einer pendelnden Bewegung der Fovea zum Bildpunkte hin und wieder zurück besteht.

Den Centralapparat, durch welchen wir im Stande sind, direct stereoskopisch in einer uns ganz unbekannten Umgebung zu sehen, durch welchen wir beim bekannten DOVE'schen Versuch in der Dunkelkammer im Stande sind wahrzunehmen, ob ein einziger elektrischer Funken, der irgendwo zur Seite eines fixirten Lichtpunktes überspringt, näher oder weiter entfernt war als der fixirte Lichtpunkt, durch welchen wir im bekannten HERING'schen Versuch ohne Fehler die Lage der fallenden Kugeln in Bezug auf ein fixirtes Stäbchen angeben können, kann man das Organ des binocularen Sehens nennen.

Dieses Organ muß ein Complex von anderen einfacheren Organen sein, und als solche meine ich deren vier annehmen zu müssen. Nur zwei sind hier vorläufig von Interesse, die sensu-motorischen Organe für die Convergenz und für die Divergenz. Diese beiden Organe der dritten Dimension sind bei Personen, welche binocular sehen, die Hauptelemente für die Fixation, obgleich die soeben genannten Innervationen der zwei anderen

Dimensionen auch dazu beitragen, und beim Fixiren in der Peripherie des Blickfeldes noch die wichtigste Rolle spielen.

Die allererste Entstehung des binocularen Sehens denke ich mir folgendermaassen. Bei irgend einer höheren Thiergattung sind mit der Zeit die beiden Augen, welche bei älteren Gattungen zu beiden Seiten des Kopfes standen, so weit nach vorn verschoben, daß Theile der Gesichtsfelder von beiden Augen aufeinanderfielen. Damit wurden die in dem gemeinschaftlichen Theile sich befindenden Gegenstände in ungleichnamigen Doppelbildern gesehen. Von dieser neuen Gattung sensorischer Eindrücke ist von der Natur Gebrauch gemacht worden, eine neue Innervation ist entstanden, welche auf diese Eindrücke reagierte. Ebenso wie die Wirkung der bereits anwesenden Innervationen in den zwei Dimensionen von Breite und Höhe in der Vernichtung der bestehenden sensorischen Eindrücke bestand, so ward die Wirkung der neuen Innervation die Vernichtung der ungleichnamigen Doppelbilder. Die neue Innervation wurde die Convergenzinnervation. In je größerem Abstände von einander die ungleichnamigen Doppelbilder stehen, desto stärker wird der Innervationsreiz, desto stärker wird ihr psychisches Aequivalent. Das psychische Aequivalent muß die Wahrnehmung des Näherseins sein, und das zeigt sich uns zum Beispiel beim HERING'schen Versuche.

Als zuerst die Convergenzinnervation wirkte, und Einstellung für die Nähe erhalten war, genügte es, daß die Aufmerksamkeit des Thieres sich plötzlich auf einen weiterabliegenden Gegenstand richtete, um die Entstehung einer zweiten Gattung sensorischer Eindrücke zu verursachen. Auch diese Eindrücke, gleichnamige Doppelbilder, riefen eine neue Innervation hervor, die Divergenzinnervation, und ein psychisches Aequivalent, die Wahrnehmung des Weiterentferntseins, welche auch wieder mit dem HERING'schen Apparate zu constatiren ist.

Es ist also sicher, daß bei uns Convergenz- und Divergenzinnervationen als Einstellungsinervationen bestehen. Bestehen sie nun auch als Fixationsinnervationen?

Weil, nach einer Einstellungsbewegung durch Convergenzinnervation, die Elasticitätskraft die Augen augenblicklich wieder nach der Ruhestellung zurückbewegt, ist das Bestehen einer Fixationsinnervation der Convergenz sicher.

Sieht man stark nach rechts und nach unten nach einem

auf einige Meter entfernten Gegenstand und schießt das eine Auge ab, so bemerkt man, wenn man das Auge wieder öffnet; Doppelbilder. Weil dieselben Gleichnamige sind, und doch unmittelbar Fixation folgt, ist bewiesen, daß auch eine Fixationsinnervation der Divergenz besteht in den Fällen, wo durch Muskelwirkung der Organe für nach rechts oder nach links und nach unten Sehen eine functionelle convergente Ruhestellung besteht. Denn man kann nicht annehmen, daß das Dasein von gleichnamigen Doppelbildern eine Abnahme eines bestehenden Convergenzinnervationsreizes verursacht; wenn auch beim monocularen Sehen vielleicht ein Convergenzinnervationsreiz bestand, so hatte diese eine Ursache, die beim Oeffnen des anderen Auges, durch eine Anwesenheit von gleichnamigen Doppelbildern nicht verloren ging.

Was ist nun aber die binoculare Fixation in gewöhnlicher Blickrichtung in mehr oder weniger convergenten Stellungen? Die Einstellungsimpulse der Convergenz hören auf, sobald die Foveae die Bildpunkte erreicht haben. Es fragt sich nun, ob durch die Kraft dieser Bewegung die Bildpunkte auch ein wenig überschritten werden, in welchem Fall natürlich ein antagonischer Divergenzimpuls ausgelöst werden würde.

Zur Beantwortung dieser Frage muß ich auf die relative Accommodations- und Fusionsbreite anticipirend hinweisen. Nach einer Theorie, die ich in einer Monographie (*Das sensumotorische Sehwerkzeug*, Engelmann, Leipzig 1898) publicirt habe, bestehen bei monocularer Fixation immer gleichgroße Convergenz- und Divergenzimpulse (homogene Innervation), und besteht diese Gleichheit bei binocularer Fixation nur in dem Falle, wo Orthophorie da ist; besteht Esophorie, so ist bei binocularer Fixation der Divergenzimpuls erhöht; ist Exophorie da, dann ist er vermindert. In jener Monographie habe ich gezeigt, daß dieses Princip bei den so mannigfaltigen Phänomenen der relativen Accommodations- und Fusionsbreite überall durchzuführen ist. Jene Erklärung, aus welcher sich ergeben würde, daß bei normaler binocularer Fixation ebensowohl Divergenz- als Convergenzreiz da sein würde, stelle ich der DONDERS'schen gegenüber. Daß das Bedürfnis einer solchen Erklärung schon von Anderen gefühlt worden ist, folgere ich aus der Thatsache, daß NAGEL für das Sehen mit concaven Gläsern als Erklärung gab, daß der durch die vergrößerte Accommodationserregung be-

wirkte zu grofse Convergenzimpuls beim monocularen Sehen Strabismus convergens latens verursacht, und dafs das binoculare Sehen nur durch eine Contraction der Recti externi ermöglicht wird. Man wird leicht einsehen, dafs für eine Erklärung der negativen relativen Accommodation angenommen werden mufs, dafs auch beim normalen Fixiren schon Divergenzreiz da ist, und dafs, durch Verminderung jenes Reizes, das binoculare Sehen durch convexe Gläser ermöglicht wird.

Wenn angenommen ist, dafs bei normaler Fixation immer Divergenzreiz da ist, mufs sich die Frage stellen: welche sind die sensorischen Eindrücke, die sie verursachen? Die Antwort ist jetzt klar. Die binoculare Fixation mufs eine Pendelbewegung sein, wobei die Bildpunkte nicht an den temporalen Enden der fortwährend von den Foveae durchlaufenen Wege liegen, sondern irgendwo zwischen dem temporalen und nasalen Ende dieses Weges. Abwechselnd entstehende ungleichnamige und gleichnamige Doppelbilder haben dann antagonistische Convergenz- und Divergenz-Fixationsreize zur Folge, welche natürlich sehr schnell auf einander folgen müssen.

Mit diesen sehr frequenten Innervationsimpulsen sind ebenso frequente psychische Aequivalente gegeben, und weil aus diesen Aequivalenten unsere absolute Abstandsbestimmung und daraus wieder unsere absolute Gröfsenbestimmung von Gegenständen hervorgeht, leuchtet es ein, welche Bedeutung diese frequente Zufuhr von Orientierungsmaterial für uns hat.

Kann nun vielleicht auch die Fixation, insofern sie nur von den Organen für das Sehen nach rechts, nach links, nach oben und nach unten abhängt, in eben solcher Weise zu Stande kommen? Unmöglich scheint mir dasselbe nicht; die Vorstellung, dafs die Fixation dort eine Bewegung der Fovea zum Bildpunkte sei, ohne dafs der Bildpunkt bei dieser Bewegung genügend überschritten wird, um eine antagonistische Innervation zu verursachen, habe ich nur gewählt, weil sie mir die einfachste schien, und soviel ich weifs keine Thatfachen bekannt sind, welche die complicirtere Vorstellung nöthig machen.

Weil die anatomische Ruhestellung der Augen einigermaassen divergent ist, und beim Fixiren immer mehr oder weniger convergente Stellungen nöthig sind, kann man vermuthen, dafs von den zwei antagonistischen Fixationsinnervationen die der Convergenz die mächtigste sein wird, weil sie immer der Elasticitäts-

kraft der Gewebe, welche das Auge in seine Ruhestellung zurück zu bringen strebt, Widerstand zu leisten hat; während die Divergenzinnervation durch diese Elastizitätskraft unterstützt wird. Außerdem kann, wie v. D. BRUGH bemerkt hat (*Sitz. Nederl. Ophth. Gesellsch.*, Mai 1899), wenn ein ziemlich grosser Convergenzgrad der Augen besteht, die Wirkung eines Divergenz reizes durch die Verlängerung der Musculi externi vermehrt sein, während durch die dabei bestehende Verkürzung der Musculi interni, die Wirkung eines Convergenzreizes vermindert sein muß. Auch das würde Ursache sein zu vermuthen, daß unter gleichen Umständen die Kraft der Convergenz grösser sein wird als die der Divergenz.

Es ist wichtig sich einige Rechenschaft von dem Verhältniß zwischen den beiden Kräften zu geben. Möglich wird es, wenn man die Theorie von DONDERS — daß nämlich das normale Band zwischen Accommodations- und Convergenzinnervation in einem Augenblick (beim monocularen Sehen) absolut fest, und im Folgenden (bei relativer Accommodation und Fusion) bis zu gewissen Grenzen verschwunden sein sollte — verwirft, und dagegen dieses Band als absolut betrachtet. Eben dies „bis zu gewissen Grenzen“ kann ich mir nicht denken; wohl würde ich, wenn Thatsachen, was nicht der Fall ist, dasselbe nöthig machen, es wagen ein Band anzunehmen, das nur beim monocularen, nicht aber beim binocularen Sehen bestehen würde.

Nimmt man jedoch mit mir an, daß in normalen Fällen das Band zwischen Convergenz- und Accommodationsinnervationen unzertrennlich ist, dann besitzt man in einem sich gleichbleibenden Accommodationszustand ein Mittel, wodurch man vom Gleichbleiben des Convergenzimpulses versichert ist. Allein ich meine annehmen zu müssen, daß schon in einem Alter von 33 Jahren durch die physiologische Linsensklerose die letzte noch bequem bemerkbare Aenderung im Accommodationszustande bei nicht maximalem Convergenzimpuls schon erreicht ist.

Nach Correction meiner, weniger als 1 D. betragenden Myopie, und während ich auf 5 m Entfernung mit gleichbleibendem Minimum von Accommodationseinspannung sehe, kann ich noch mit einem abducirenden Prisma von 8° , aber auch mit einem adducirenden Prisma von 20° , scharf fixiren. Daraus geht hervor, daß beim Fixiren mit einem Minimum von Convergenzreiz meine beim Fixiren zu verwendende Divergenz die Gesichtslinien über $(8^\circ + 20^\circ) : 2 = 14^\circ$ aus einander bringen kann.

Beim Fixiren sowohl auf 33 als auf 25 cm Entfernung (ohne sphärische Gläser) finde ich jedoch als stärkstes abducirendes Prisma ungefähr 22° , und als stärkstes adducirendes Prisma 36° . Bei jenen Graden von Convergenz- und Accomodationsreiz (2,5 und 3,5 D.) kann daher meine Divergenz die Gesichtslinien über $(22^\circ + 36^\circ) : 2 = 29^\circ$ aus einander bringen.

Diese beträchtliche Differenz, auf deren Bestehen ich durch eine Bemerkung von v. D. BRUGH aufmerksam geworden bin, muß dem Umstande zugeschrieben werden, daß eine convergente Stellung der Augen die Wirkung der Divergenzinnervation erleichtert, und die der Convergenz erschwert.

Auf 5 m Entfernung mit Adductionsprisma von 20° , mit Minimum von Accommodations- und Convergenzreize, sehend, war auch ein Minimum von Divergenzreiz zugegen. Dasselbe Divergenzminimum darf ich auch voraussetzen, wenn ich mit Maximum von Accommodation, soviel wie möglich convergirend, fixire. Es gelingt mir mit Gläsern von $+3$ D (mein Accommodationsvermögen beträgt 6 D) und einem Prisma adducens von 36° noch auf eine Distanz von 123 mm von den Drehpunkten meiner Augen (welche 64 mm von einander liegen) scharf zu fixiren. Nur ist das indirecte binoculare Sehen (in der Peripherie) dabei durch Raddrehung der Augen unmöglich geworden. Der dabei erhaltene Convergenzgrad stimmt dann ungefähr mit dem überein, welchen ein Prisma adducens 96° allein geben würde. Daraus geht hervor, daß meine Convergenz die Augen über einen Winkel von ungefähr $(96^\circ - 20^\circ) : 2 = 38^\circ$ zu einander bringen kann. Bei jüngeren Menschen ist das Convergenzvermögen im Allgemeinen noch größer.

In Hinsicht auf eine mögliche Bemerkung: daß oben genannte Versuche wenig Werth hätten, weil man durch etwas Uebung in beträchtlichem Grade abweichende Bestimmungen erhalten kann, weise ich darauf hin, daß diese Uebung in Anpassungen besteht, wofür das Divergenzorgan sehr geeignet ist. Diese Uebung oder Anpassung, welche sich in der Acquirirung von Esophorie oder Exophorie offenbart, muß bei obenstehenden Bestimmungen soviel als möglich umgangen werden. Dieses habe ich gethan, indem ich die Versuche, welche Esophorie geben, immer mit denen, welche Exophorie geben, abwechseln liefs, und außerdem die Bestimmungen schnell machte.

Weil in obenstehender Untersuchung die Convergenzkraft

(38°) in für sie ungünstigen convergenten Stellungen gemessen ist, und die Divergenzkraft bei der ersten Bestimmung (14°) nur theilweise in für sie ungünstigen divergenten Stellungen, meine ich folgern zu müssen, daß unter gleichen Umständen ein Convergenzreiz wohl 3mal mächtiger wirken wird als ein gleicher Divergenzreiz. Und weiter, daß bei den beim gewöhnlichen Sehen bestehenden Umständen, in welchen eine mehr oder weniger convergente Stellung der Gesichtslinien besteht, wodurch die Divergenzwirkung vermehrt wird, doch noch immer die Kraft eines Convergenzreizes größer sein wird als die Kraft eines gleich großen Divergenzreizes.

Wenn die Entfernungen von einigen Bildpunkten zur Fovea gleich groß sind, so können wir, obgleich dieselben eben durch ihre Lage verschiedene, einfache oder combinirte Innervationsimpulse zur Folge haben werden, die sensorischen Eindrücke gleich groß, und auch die Innervationsimpulse gleich groß nennen, ohne damit zu rechnen, daß die Kräfte, welche diese Impulse, auf verschiedene Muskeln oder Muskelgruppen wirkend, dem Auge mittheilen werden, sehr gut ungleich sein können.

Um als sensorischer Eindruck gelten zu können, muß natürlich die Entfernung der Doppelbilder zu den Foveae einen bestimmten Minimalwerth besitzen. Man hat keinen Grund anzunehmen, daß diese kleinste Distanz bei gleichnamigen und bei ungleichnamigen Doppelbildern verschiedene Werthe haben. Darum gilt die Annahme, daß möglichst geringe Innervationsimpulse gleich groß sind. Wenn nun auch noch die dadurch innervirten Muskeln dem Auge eine gleich kräftige Bewegung gäben, und weiter das Auge ganz frei beweglich wäre, dann würden bei Fixation die Bildpunkte in der Mitte der von den Foveae unaufhörlich hin und her durchlaufenen Wege liegen.

Aber in Wirklichkeit ist das Auge nicht frei beweglich, es besitzt eine anatomische Ruhestellung, gegen welche es stets durch die Elasticitätskraft der Gewebe (besonders der Muskelgewebe) zurückgetrieben wird. Und außerdem wird noch derselbe Innervationsreiz dem Auge verschiedene Kräfte mittheilen können, je nachdem verschiedene Grade von schon bestehender Dehnung des Muskels, auf welchen er wirkt, da sind. Sowohl die Elasticitätskraft der Gewebe als der für den Effect der

Innervationsreize günstige Dehnungsgrad der Musculi externi verursachen, daß bei convergenter Augenstellung der Effect des Divergenzreizes vermehrt wird.

In Hinsicht auf die Lage des Bildpunktes in dem von der Fovea beim Fixiren stets durchlaufenen Bogen, ist zu bemerken, daß eben durch die oben bewiesene unter gleichen Verhältnissen bestehende Ungleichheit der Kräfte von Convergenz- und Divergenzinnervationen, die Möglichkeit entsteht, daß, bei Fixation in je länger je mehr convergenten Stellungen, der durch die Dehnung der Musculi externi stets wachsende Effect eines Divergenzreizes eben dem ursprünglich größeren Effect eines gleichen Convergenzreizes das Gleichgewicht hält. Bei Fixation könnten deshalb die Bildpunkte stets in der Mitte der von den Foveae durchlaufenen Bogen liegen, und damit die Convergenz- und Divergenzimpulse einander gleich sein.

Daß bei der Fixation ein ungefähr Gleichsein der antagonistischen Innervationsimpulse gewünscht ist, scheint mir höchstwahrscheinlich, weil sowohl positive als negative relative Accommodation und Fusion möglich sein müssen.

Meines Erachtens ist es klar, daß, wenn Jemand für sein gewöhnliches binoculares Sehen als wichtigsten Theil seiner Fixation die Convergenz- und Divergenzreize gebraucht, er dieselben auch bei seinem häufig nothwendigen monocularen Sehen anwenden wird. Wer allmählich sein binoculares Sehen und damit den Gebrauch seiner Convergenz- und Divergenzinnervationen verloren hat, lernt für die Fixation andere Innervationen zu gebrauchen; aber ich glaube nicht, daß es Jemand, der habituell binocular sieht, so mit einem Schlage gelingen wird.

Dennoch, ungleichnamige und gleichnamige Doppelbilder sind die sensorischen Eindrücke, welche Convergenz- und Divergenzreize hervorrufen können, und beim monocularen Sehen fehlen dieselben. Eine andere Gattung sensorischer Eindrücke der dritten Dimension besteht beim monocularen Sehen, die Zerstreuungskreise. Nach meiner Meinung ist das motorische Aequivalent dieser Zerstreuungskreise ein Impuls, der aus gleich großen Reizen der Accommodation, Pupillen, Convergenz und Divergenz besteht. Der Nutzen einer solchen einfachen Einrichtung wäre dieser, daß

Jemand seine ihm geläufige Fixationsinnervation auch bei seinem häufig nothwendigen monocularen Fixiren anwenden könnte.

Wenn von monocularer zur binocularen Fixation übergegangen wird, verändert sich bei einem normalen Menschen die Accommodationsanstrengung natürlich nicht. Ist nun, so wie ich es annehme, die Accommodationsinnervation unzertrennbar mit der Convergenzinnervation verbunden, so geht daraus hervor, daß bei diesem Uebergang zum binocularen Sehen auch der Convergenzimpuls sich nicht ändert, und daß — weil bei monocularer Sehen die Convergenz- und Divergenzreize immer gleich sind, und beim gewöhnlichen binocularen Sehen auch Gleichheit dieser Reize angenommen werden kann — auch der beim monocularen Sehen gebrauchte Divergenzimpuls derselbe bleibt.

Daraus würde wieder hervorgehen, daß beim Uebergang vom monocularen zum normalen binocularen Sehen, und umgekehrt, die Augenstellung ganz dieselbe bliebe, daß mit anderen Worten Orthophorie bestehe. Bekanntlich ist das Bestehen von Orthophorie beim Sehen in allen nicht zu kleinen Distanzen normal.

Besteht Gleichheit der Convergenz- und Divergenzreize, so nenne ich die Fixationsinnervation homogen. Wenn daher Orthophorie besteht, ist nach mir auch die binoculare Fixationsinnervation homogen, und nehme ich gleiche Ausschläge der Foveae zu beiden Seiten der Bildpunkte an.

Weil jedoch gleiche Ausschläge zwar wünschenswerth aber nicht unbedingt nothwendig sind, sind auch binoculare Fixationen, bei welchen der Bildpunkt nicht mehr in der Mitte, sondern mehr nasalwärts, und andere, bei welchen er mehr temporalwärts liegt, denkbar. Nach meiner Meinung bestehen diese Innervationsgattungen auch in der That.

Liegt der Bildpunkt an der nasalen Seite der Mitte des fortwährend von der Fovea durchlaufenen Weges, dann wird die Distanz der gleichnamigen Doppelbilder stets größer sein als die Distanz der ungleichnamigen, woraus hervorgeht, daß bei jener Fixation die Divergenzreize stets stärker sein werden, als die Convergenzreize. Jenes kann nothwendig werden, wenn die

Divergenz weniger als sonst der Fall ist von den Elasticitätskräften und von dem Dehnungsgrad der Musculi recti externi unterstützt, und dagegen die Convergenz von diesen Kräften weniger als sonst behindert ist.

Das ist der Fall, wenn der Convergenzwinkel kleiner ist als normal bei der bestehenden Gröfse der Convergenz- und Accommodationsimpulse vorkommt; das ist es was wir wahrnehmen beim binocularen Sehen durch concave Gläser und durch abducirende Prismen. Weil bei jener Fixation der Divergenzreiz gröfser als der Convergenzreiz sein muß, habe ich sie Sehen mit gesteigerter Divergenz genannt.

Ganz analog ist meine Erklärung des binocularen Sehens durch convexe Gläser und durch adducirende Prismen, wobei die Bildpunkte stets an der temporalen Seite der Mitte des von der Fovea durchlaufenen Weges liegen. Jene Fixationsart ist Sehen mit verminderter Divergenz zu nennen.

Die Leser meiner obengenannten Monographie bitte ich, anstatt der daselbst in § 54 gegebenen Erklärung des Sehens mit gesteigerter und mit verminderter Divergenz, die obenstehende Erklärung zu lesen.

Weil beim Uebergehen zum monocularen Sehen die Gröfse des Divergenzreizes wieder ganz der Convergenzreizgröfse gleich wird, besteht beim Sehen durch concave Gläser Esophorie, beim Sehen durch convexe Gläser Exophorie.

Die Möglichkeit der Fixation mit gesteigerter und mit verminderter Divergenz ist durchaus kein zufälliges Ergebnifs, das nur entsteht, wenn ein normaler Mensch mit sphärischen Gläsern oder Prismen Versuche anstellt. Fast ununterbrochen wird von dieser Fähigkeit Gebrauch gemacht. Nicht nur besteht im erwachsenen Alter beim Nahesehen fast immer etwas Exophorie, sondern auch bei seitwärts oder nach oben oder unten gelenktem Blicke erscheinen leichte Esophorien oder Exophorien. Ohne die Möglichkeit einer Veränderung des Divergenzreizes würde dabei scharfes binoculares Sehen nicht möglich sein. Daher kann man die Divergenzinnervation bezeichnen als die Innervation, welche die Augenstellung beim binocularen Sehen in seinen verschiedenen Beschaffenheiten regulirt.

Aber die Divergenzinnervation hat auferdem eine Eigenschaft, die ihre Brauchbarkeit als solche noch erhöht. In der

erwähnten Monographie habe ich darauf hingewiesen, daß diese Innervation eine Anpassungsfähigkeit besitzen muß, welche sich darin äußert, daß, wenn sie z. B. eine Viertelstunde gewirkt hat, einige Minuten braucht, um wieder ganz zu verschwinden. Eben daselbst habe ich gezeigt, daß solche Anpassungen auch in den Innervationen von Arm- und Beinmuskeln erreichbar sind.

Diese Anpassung der Divergenzinnervation ist folgende. Wenn es nöthig ist eine sehr verminderte Wirkung des Divergenzreizes zu erhalten, dann entsteht central eine Art Parese der Divergenzinnervation, so daß ein sensorischer Eindruck von bestimmter GröÙe (eine bestimmte Distanz der gleichnamigen Doppelbilder) einen kleineren motorischen Effect hat als früher.

Ist jedoch eine gröÙere Wirkung als gewöhnlich nöthig, dann entsteht dagegen eine erhöhte Irritabilität.

Sowohl die Parese als die erhöhte Irritabilität bleiben noch einige Zeit bestehen, nachdem ihre nützliche Anwendung aufgehört hat, und desto länger, je länger ihre Anwendung gedauert hat. Wenn deshalb ein normaler Mensch einige Zeit durch starke adducirende Prismen binocular gesehen hat, wird er nachher Esophorie besitzen, weil der beim monocularen Sehen an den Convergenzimpuls gebundene gleich groÙe Divergenzimpuls, welcher früher Orthophorie verursachte, jetzt, durch die acquirirte Parese der Divergenzinnervation, einen geringeren Effect haben wird. KOSTER hat sogar bei längerem Tragen der Prismen einen manifesten Strabismus convergens erhalten, der einige Stunden bestehen blieb.

Ganz analog ist meine Erklärung der Exophorie, welche einige Zeit bestehen bleibt, nachdem starke abducirende Prismen beim binocularen Sehen gebraucht worden sind.

Im Anfang dieses Artikels habe ich gesagt, daß ich das binoculare Sehen als die Wirkung eines Complexes nicht von zwei, sondern von vier Organen auffasse. Außer den Organen für Convergenz und Divergenz supponire ich noch zwei andere.

Binoculare Fixation besteht darin, daß die Gesichtslinien sich in einem Punkte schneiden. Dafür ist es nöthig, daß durch beide Gesichtslinien eine Ebene gelegt werden kann. Kann man sich vorstellen, daß die Augen, die Orbitalfettgewebe, das Gesichtsskelett, so symmetrisch gebaut sind und gebaut bleiben, daß in der anatomischen Ruhestellung die Gesichtslinien gerade

in einer Ebene liegen? Und wenn das auch der Fall wäre, kann man sich dann außerdem noch vorstellen, daß unsere Augen, die Anheftung unserer Augenmuskeln, die Augenmuskeln selbst, so fehlerlos symmetrisch gebaut wären, daß unter der habituellen Muskelwirkung der bis jetzt erwähnten Innervationen das Liegen beider Gesichtslinien in einer Ebene möglich bleibt?

Dann und wann sieht man Menschen, welche beim monoculareren Sehen in einzelnen Blickrichtungen eine Abweichung des anderen Auges nach oben oder nach unten zeigen, und doch die Augenstellung corrigiren können, so daß sie in denselben Blickrichtungen binocular sehen.

Physiologisch ist das Vermögen, beim binoculareren Sehen ein schwaches in verticaler Richtung brechendes vor ein Auge gehaltenes Prisma zu überwinden. Dabei kann man constatiren, daß das Auge hinter dem Prisma sich etwas erhebt oder senkt, ohne daß sich das andere mitbewegt. Den Leser, der hier sogleich an eine unpaarige Innervation denkt, erinnere ich, daß etwas dergleichen im horizontalen Meridiane stattfindet, ohne daß noch an eine unpaarige Innervation gedacht wird. Wenn man Jemandem das linke Auge mit der Hand bedeckt, ihn nach einem Gegenstand mit dem rechten Auge sehen läßt, und dann vor dieses Auge ein concaves Glas stellt, so sieht man, daß das rechte Auge auf den Gegenstand gerichtet bleibt, das linke Auge hinter der Hand jedoch nasalwärts abweicht. In diesem Falle schließt man auf das Hinzukommen zweier paarigen Innervationen, nämlich einer Convergenzinnervation und einer gleich starken Innervation für das Sehen nach rechts.

Aus Obenstehendem geht hervor, daß Innervationen bestehen müssen, welche die Gesichtslinien in eine Ebene bringen, oder dieselben — beim Vorhalten eines schwachen vertical brechenden Prismas — aus dieser Ebene verschieben.

Die einfachste und auch von HERING angenommene Vorstellung geht dahin, daß eine unpaarige, nur auf ein Auge wirkende Innervation auftritt. Sie käme dadurch zu Stande, daß der Bildpunkt auf einem Auge etwas nach oben oder nach unten von der Fovea fiele und so als sensorischer Eindruck für die unpaarige Innervation wirke. Wenn das richtig wäre, könnte man voraussetzen, daß dieselbe unpaarige Innervation auch beim monoculareren Sehen auftrete. Das ist jedoch keineswegs der Fall. Beim monoculareren Sehen ist derselbe Umstand, das Liegen des

Bildpunktes etwas nach oben oder nach unten von der Fovea, Ursache paariger Bewegung; das andere Auge wird mitbewegt.

SIMON schreibt (*diese Zeitschrift* Bd. XII, S. 113): „Die Untersuchung mit höhenablenkenden Prismen ergibt noch eine wichtige Thatsache. Wie oben erwähnt, sind die Senker meines rechten Auges einerseits, die Heber des linken andererseits im Stande, ein Prisma von 6° zu überwinden. Da, wie auch HERING zugiebt, diese stärkere Hebung resp. Senkung nur durch eine rein einseitige Innervation zu erklären ist, also insoweit scheinbar eine Unabhängigkeit des einen Auges vom anderen besteht, konnte als wahrscheinlich vorausgesetzt werden, daß bei gleichzeitigem Vorhalten von Prismen vor beide Augen, auf dem rechten mit der Basis oben, auf dem linken unten, jedes Auge ebenfalls noch 6° Prisma überwinden würde. Es zeigt sich aber, daß beide Prismen zusammen nur eine Stärke von 6° haben dürfen.“

Meines Erachtens kann die Thatsache, daß der Versuch mit vertical brechenden Prismen sich zu dem analogen Versuche mit abducirenden und mit adducirenden horizontal brechenden Prismen ganz gleich verhält, keinen Zweifel übrig lassen. Auch die angewendeten verticalen Innervationen müssen paarig sein. Deshalb muß eine Innervation angenommen werden, welche das rechte Auge nach unten und zugleich das linke nach oben zieht, und eine antagonistische, welche das linke Auge nach unten und zugleich das rechte nach oben bewegt. Wegen ihrer großen Aehnlichkeit mit Convergenz und Divergenz, habe ich die zwei antagonistischen paarigen Innervationen resp. verticale Convergenz und Divergenz genannt.

Neulich war hier ein Fall von verticalem Strabismus comitans als Folge einer Verletzung des Cerebellum. Weil nach einigen Tagen, während sich der Allgemeinzustand besserte, der Strabismus wieder verschwunden war, glaube ich ihn einer vorübergehenden Läsion eines dieser hypothetischen Organe zuschreiben zu können. MAGENDIE konnte ja auch bei Reizung eines bestimmten Punktes im Cerebellum bei Thieren eine verticale Divergenz hervorrufen.

Horizontale Convergenz- und Divergenzinnervationen haben psychische Aequivalente, die Wahrnehmungen von näheran und weiterab. Die analogen verticalen Innervationen können solche nicht besitzen, weil dieselben für uns kein Interesse haben.

Denn keine Zustände oder Veränderungen der Außenwelt würden dadurch zu unserem Bewußtsein kommen, und dafür allein dienen psychische Aequivalente der Augenbewegungen. Die Organe der verticalen Convergenz und Divergenz wirken daher ganz unbewußt. Ihre sensorischen Eindrücke sind Doppelbilder mit Höhendifferenz, und ihre Wirkung beim binocularen Sehen ist das Bringen beider Gesichtslinien in eine Ebene.

In Fällen wo in gewöhnlicher Blickrichtung eine vollkommene Symmetrie zugegen wäre, würden beide Innervationen gleich stark sein. Ist diese Symmetrie jedoch nicht vorhanden, so wird die eine Innervation fortwährend stärkere Reize bekommen als die andere; die Folge wird sein, daß erstere Innervation selbst stärker wird als die andere, wodurch die später benötigten antagonistischen Reize einander wieder gleich sein können.

Daß man wirklich sehr leicht die Kraft dieser verticalen Innervationen bleibend ändern kann, hat sich mir gezeigt, als ich während einiger Zeit ein vertical brechendes Prisma, das noch gerade das Zustandekommen des binocularen Sehens nicht verhinderte, getragen hatte. Nach Ablegen dieses Prismas hatte ich Hyperphorie, welche eine kurze Zeit bestehen blieb. Diese Hyperphorie kann ich mir nur dadurch erklären, daß auch hier eine ähnliche Anpassung besteht, wie ich sie schon der horizontalen Divergenzinnervation zugeschrieben habe.

Weil ein, in dieser Weise (durch Asymmetrie im Gesichtsskelett und andere oben genannte Umstände) bedingter, Kraftunterschied zwischen beiden Innervationen häufig bestehen muß, und doch Hyperphorie so selten vorkommt, glaube ich annehmen zu müssen, daß auch bei monocularer Fixation eines binocular Sehenden die beiden verticalen Fixationsinnervationen beteiligt sind, und gleiche Reize erhalten.

Wenn aber mit einem Auftreten von Strabismus das ganze Organ des binocularen Sehens atrophisch geworden ist, muß eine Hyperphorie der anatomischen Ruhestellung manifest werden, und darin suche ich die Erklärung der Thatsache, daß eine leichte Höhendeviation beim gewöhnlichen Strabismus convergens und divergens so häufig wahrgenommen wird, daß PANAS sie sogar als Regel nennt.

(Eingegangen am 31. Juli 1899.)
