

## Über binokulare Prüfverfahren, das binokulare Sehen, seine nicht krankhaften Anomalien und ihren optischen Ausgleich

Mitteilungen aus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Fachschule für Optik und Fototechnik, Berlin — Direktor Dr. W. Thiele  
Von Hans-Joachim Haese

Fortsetzung aus Heft 5:1959

### 6. Hypothesen über die Impulskopplung in den okularen Einstellmechanismen.

Das bisherige Wissen um die netzliche Versorgung und Verflechtung der okularen Einstellmechanismen ist noch zu lückenhaft, um — auch mit Hilfe der neuen Beobachtungen — durchgehende logische Verbindungen herstellen zu können. Eingermaßen sicher kann man, den zusammenfassenden Gedankengängen von Schober (2,3) folgend, vermuten, daß in allen okularen Einstellungen sowohl das zentrale als auch das vegetative Nervensystem mitwirkt, und zwar teils direkt und teils indirekt. Die Akkommodation, betätigt durch die glatten Muskelfasern des Ziliarkörpers, wird direkt vegetativ innerviert, und zwar durch das jeweilige Verhältnis der Impulse vom Sympathikus und vom Parasympathikus her. Vom starker zentral versorgten Vergenzapparat her, dessen Muskeln bekanntlich quergestreift sind, müssen in dieses unwillkürliche Zusammenspiel willkürlich beeinflussbare zentrale Impulse eingreifen, die aber immer nur auf dem Umweg über die vegetativen Bahnen wirken können. Wird nämlich mit Atropin der Parasympathikus ausgeschaltet, so kann eine Anspannung der Akkommodation weder unwillkürlich noch willkürlich ausgelöst werden, aber es tritt Mikropsie ein, wenn man unter Atropin bewußt, wenn auch vergeblich, nahe gelegene Objekte scharf zu sehen versucht, oder wenn man ohne Mitnahme der Akkommodation konvergiert. Diese Tatsachen könnte man als Beweise dafür werten, daß der zentrale Impuls zur Akkommodation zwar noch zustandekommt, aber sozusagen im blockierten Parasympathikus stecken bleibt. Man darf darüber hinaus sicher annehmen, daß es auch zur Auslösung unwillkürlicher — also vegetativer — akkommodativer Veränderungen zunächst immer eines zentralen Impulses bedarf, der das vorliegende vegetative Potential beeinflußt.

Umgekehrt ist das Vergenzsystem sicher weitgehend zentral innerviert und willkürlich auch noch bei Parasympathikusblockade einstellbar, folgt andererseits aber unwillkürlich im gewissen Grad allen Einstellungsveränderungen im Akkommodationsystem. Das läßt vermuten, daß in die motorisch-zentralen Impulse im Vergenzsystem vegetative Impulse vom Akkommodationsystem her steuernd eingreifen oder sich ihnen überlagern können — wenn man nicht gar auch in den quergestreiften Muskeln des Vergenzsystems ein vegetatives Grundpotential annehmen will.

### 7. Versuch einer physiologischen Deutung der Hell-Dunkelreaktion im Vergenzsystem

Die Hell-Dunkelreaktion im Vergenzsystem wies uns — allerdings nicht bei allen Menschen — zwei verschiedene Einstellungen nach, für welche die Bezeichnung Ruhelage oder Ruhelage zutrifft, wenn wir hierunter solche Einstellungen verstehen, in denen keine fusionalen Einstellreize wirksam sind. In gleicher Weise müssen wir im Akkommodationsystem diejenige Einstellung als Ruhelage bezeichnen, in der keine Akkommodationsreize wirksam sind. Es dürfte berechtigt sein, der Fusion im Vergenzsystem und ihrem Verhältnis zur Ruhelage eine ganz ähnliche Rolle zuzuerkennen wie der Akkommodation im Akk.-System, ohne daß wir diese Parallele hier näher erläutern müßten.

Bewirkt werden unsere beiden Ruheinstellungen durch unterschiedliche Strahlungsintensitäten auf den Netzhäuten. Die Umschaltung aus der Hellruhelage in die Dunkelruhelage geschieht ohne quantitative Unterschiede sowohl bei sehr niedrigen, aber für beide Augen gleichen Intensitäten, als auch bei absolut beträchtlich höheren, aber binokular ungleichen Intensitäten (im Maddoxverfahren).

Ein Deutungsversuch für diese Vorgänge muß notwendigerweise in hohem Maße spekulativ anmuten und auch sein. Wenn wir ihn trotzdem unternehmen, so nur, weil wir hoffen, dadurch vielleicht einige kleine Anregungen für künftige Arbeiten auf diesem Gebiet geben zu können — wobei wir uns vollkommen darüber klar sind, daß zu einer ladelos fundierten und guten Erwandlung gut abgesicherten Darstellung ein lückentloser Überblick über die neuere sinn- und neurophysiologische Literatur gehören würde, als wir ihn uns aus Zeitmangel bisher verschaffen konnten; unsere Freizeit ist seit langem voll ausgelastet durch die

Ansprüche, die laufend die Versorgung schwieriger binokularer Korrektionsfälle mit Hilfe des bis vor kurzem nur bei uns vorhandenen Polatest-Gerätes stellt.

Offensichtlich scheint uns, daß keine der beiden Vergenz-Ruhelagen einem völlig innervationslosen, sozusagen mechanischen Muskelgleichgewichtszustand gleichkommt, und hiergegen wird sich Widerspruch auch kaum erheben. Bekanntlich tritt im Schlaf eine noch andere Ruhelage der Sehachsen ein, und außerdem konnte die Hirnstromforschung klar nachweisen, daß auch im Ruhezustand und sogar während des Schlafes im Gehirn und in den zentral versorgten Muskelssystemen elektrische Schwingungsvorgänge ablaufen. Darüber hinaus glaubt der Ophthalmologe Ohm im Rahmen seiner umfangreichen Forschungsarbeiten über das Augenzittern der Bergleute nachgewiesen zu haben, daß sich speziell in der Augenmuskulatur der Ruhezustand vom Arbeitszustand nicht durch völlige Innervationstrennung unterscheidet, sondern nur durch die Frequenz und die Amplitude der stets vorhandenen Aktionsströme.

Ob der Übergang aus der einen Ruhelage in die andere sprunghaft an einer ganz bestimmten Intensitätsschwelle bei binokularem Reizgleichgewicht — bzw. mit einer ganz bestimmten Reizdifferenz — bei binokularem Reizgleichgewicht — erfolgt, oder ob gewisse Umstellungsbereiche vorhanden sind, können wir bisher noch nicht zuverlässig sagen. Auf Grund oberflächlicher Beobachtungen (Versuch mit weißem und rotem Maddoxzylinder) vermuten wir, daß ein etwas größerer Umstellungsbereich bei Reizgleichgewicht nachweisbar sein wird, ein relativ sehr kleiner, aber wahrscheinlich adaptationsabhängiger Bereich dagegen bei Reizgleichgewicht. Auf gar keinen Fall verschiebt sich bei Reizgleichgewicht die Sehachsenlage stetig in Zusammenhang mit so großen Leuchtdichteänderungen, wie sie offenbar nach den Versuchen von Palacios, Ottero, Durán und Schober von Einfluß sind auf die Konvergenz- und Akkommodationsbreite und auf die Einstellrefraktion.

Die Vergenz-Ruhelagenänderung hat also mehr den Charakter eines relativ abrupten Umschaltvorganges, nicht den einer allmählichen, dem Ablauf umfangreicher Intensitätsänderungen angepaßten Umstellung.

Es fragt sich, was beim Übergang aus der einen in die andere Vergenzruhelage umgeschaltet werden könnte, und hierfür scheint uns unsere Beobachtung wichtig, daß die Hellruhelage normalerweise sehr stabil ist, während die Dunkelruhelage im Durchschnitt stärker schwankt. Demnach scheint es, ganz allgemein gesehen, als ob im Dunklen weniger stabilisierende Innervationen auf die Augenmuskulatur einwirken als im Hellen, als ob also der Tonus aller Augenmuskeln schwächer werde und infolgedessen die Gleichgewichtslagen innerhalb der einzelnen antagonistischen Muskelpaare labiler würden. Da der Übergang ziemlich abrupt erfolgt, ist anzunehmen, daß an der Umschaltstelle irgendein Innervationsanteil plötzlich und vollkommen ausfällt.

Wir wissen, daß die Augenmuskulatur von mehreren Gehirnzentren her gesteuert wird. Die Impulse für willkürliche Blickbewegungen kommen aus dem (n. Schober 3) in der mittleren Stirnhirnrinde nachgewiesenen Späzzentrum, das seinerseits mitbeeinflusst wird vom Hör- und Gleichgewichtszentrum; hierdurch werden die sofortigen, halbwillkürlichen Blickbewegungen nach nichtoptischen Reizen ermöglicht. Es kommen hinzu ein optisches Blickzentrum für die unwillkürlichen Augenbewegungen nach Lichtreizen, ein akustisches Blickzentrum und wahrscheinlich noch ein Zentrum für die Blick-Feineinstellung. Alle diese Zentren bleiben auch in der Dunkelheit voll arbeitstüchtig, denn keine der im Hellen möglichen willkürlichen und unwillkürlichen Blickbewegungen wird bei Dunkelheit unmöglich. Also werden auch Ruheströme vom Späzzentrum und den Blickzentren aus noch bei Dunkelheit fließen.

Gegensinnige Augenbewegungen — Konvergenz und Divergenz — werden offenbar von einem noch nicht eindeutig lokalisierbaren Konvergenzzentrum aus gesteuert. Wie im Abschnitt G 5 b ausgeführt wurde, wird bei Leuchtdichten zwischen 0,01 und 0,001 asb, also bei nicht absoluter Dunkelheit, die Konvergenzbreite gleich Null. Also kann man annehmen, daß das Konver-

genzentrum unterhalb einer bestimmten Leuchtdichte funktionslos wird und auch keine Ruhestrome mehr aussendet — auch, wenn das Sehzentrum noch verarbeitbare Reize bekommt. Die Einschaltchwelle für das Konvergenzzentrum liegt offenbar höher als die Empfindungschwelle des ihm übergeordneten Sehzentrams.

Wir wissen aber, daß die Dunkelruhelage nicht nur bei Reizgleichgewicht und sehr geringer Leuchtdichte eintritt, sondern auch bei relativ hohen Leuchtdichten und Reizungsgleichgewicht. Wenn sich in entsprechend aufgebauten Versuchen herausstellen sollte, daß bei der gleichen Reizdifferenz, die die Dunkelruhelage eintreten läßt, auch die Konvergenzbreite gleich Null wird, wäre die eben aufgestellte Hypothese als richtig anzusehen — im anderen Fall nicht.

Die Tatsache, daß die Hell- und Dunkelruhelage individuell regellos zueinander liegen, und daß sie sich in manchen Fällen auch gar nicht voneinander unterscheiden, steht unserer Hypothese nicht im Wege. Wenn die beiden Ruhelagen nicht differieren, muß die Verteilung bzw. Auswirkung der Ruhestrome des Konvergenzzentrums auf die Einzelglieder der Augenmuskelpaare vollkommen gleichmäßig sein, und daß dies nur zufällig eintreten wird, da es außer symmetrischer Aufteilung der Innervationen auch noch völlig gleiche Reaktionsfähigkeit der einzelnen Muskeln voraussetzt, liegt auf der Hand.

Ob die in der Dunkelruhelage noch vorhandenen Innervationen nur aus zentralen oder auch aus vegetativen Anteilen bestehen, läßt sich nicht ohne weiteres entscheiden. Man hat (z. B. Mütze 1) an quergestreiften Muskeln außer motorischen und sensiblen auch sympathische Nervenfasern mit ihren spezifischen Endapparaten festgestellt, und man nimmt an, die vegetativ-sympathischen Impulse geben den Muskeln einen bestimmten, mehr oder weniger schwankenden Ausgangs-Spannungszustand (plastischer Tonus). Vielleicht weisen die immer wieder beobachteten starken Schwankungen der Dunkel-Ruhelagenwerte auf solche schwankenden vegetativen Innervationen hin, die sich nach Ausschaltung des stabilisierend wirkenden Konvergenzzentrums stärker auswirken als in der Hellruhelage. Man müßte, um darüber Genaueres auszusagen zu können, den Einfluß von Drogen, die den Sympathikus bzw. den Parasympathikus lähmen, auf die Hell- und Dunkelruhelage prüfen.

Die Hell-Dunkelreaktion könnte ihre Ursache aber auch in einer Umstellung des Kräfteverhältnisses nur der beiden vegetativen Anteile, in einer Änderung des vegetativen Gleichgewichtszustandes also, haben, wenn man für möglich hält, daß quergestreifte Muskeln nicht nur vom Sympathikus, sondern auch vom Parasympathikus mitbeeinflusst werden.

In den letzten Jahren wurde durch verschiedene Forscher nachgewiesen, daß das Auge neben seiner Rolle als Sinnesorgan eine große und teilweise entscheidende Bedeutung für die Auslösung und Regulierung vieler vom vegetativen Nervensystem gesteuerter innersekretorischer Vorgänge besitzt; hierzu gehören u. a. die Regulation des Wasserhaushaltes, der Blutzusammensetzung und des Blutdruckes, des Kohlehydratstoffwechsels und auch der Keimdrüsenaktivität. Es scheint nachgewiesen zu sein, daß dieser Regulierungsmechanismus vom Auge her nur durch die Intensität, die Dauer und u. U. noch durch die Wellenlänge des auf die Netzhaut gelangenden Lichtes beeinflusst wird. Ausgangspunkt dieser Wirkungen ist ein von Becher 1953 festgestelltes vegetatives Kerngebiet in der Ganglienzellschicht der Netzhäute, von dem aus die Reize über gleichfalls nachgewiesene vegetative Fasern im N. opticus an vegetative Nervenkerne im Zwischenhirn und schließlich an die Hypophyse weitergeleitet werden. Dieses Reiz-

leitungssystem wurde von Becher heliotropes Bewirkungssystem genannt, der in diesem System mitwirkende Teil des Augen-Nerven-Komplexes ist als „energetischer Anteil der Sehbahn“ bezeichnet worden.

Das Licht bewirkt also über das Auge und die von der Netzhaut abgehenden vegetativen Bahnen Verschiebungen der beiden vegetativen Potentiale gegeneinander und somit auch Änderungen des vegetativen Gesamtzustandes. Man kann annehmen, daß hierdurch sehr wesentlich z. B. die Umstellung des Gesamtorganismus auf den Schlaf mitbewirkt wird. Es soll sogar lediglich durch grob anomale Reizeinwirkungen über dieses System zu ausgesprochenen Störungen im vegetativen Gleichgewicht, zu neuro-vegetativen Störungen also, kommen können, und man meint, ein Teil der psychischen Eigenarten von Blinden könne vielleicht auf den Ausfall des lichtreizabhängigen vegetativen Rhythmus zurückzuführen sein. Eine Darstellung eigener Menschen- und Tierversuche zur Klärung dieser Zusammenhänge und eine Zusammenfassung der bisherigen Arbeiten anderer Forscher auf diesem Gebiet gibt Dr. med. F. Hollwich im 23. Heft (1959) der Beilage der Klinischen Monatsblätter für Augenheilkunde, das dem Thema „Auge und Zwischenhirn“ gewidmet ist.

Wenn aber das Auge, nur auf Grund unterschiedlicher Lichtwirkungen, erhebliche Gleichgewichtsänderungen im vegetativen Nervensystem auslösen kann, dann ist es durchaus denkbar, daß sich u. U. wieder Rückwirkungen auf die vom Verhältnis der vegetativen Teilkraft abhängigen Nerven-Muskelsysteme des Sehorgans selbst ergeben können — sozusagen als unbeabsichtigte und manchmal gar nicht „zweckmäßige“ Nebenwirkungen eines an sich für den normalen Ablauf der Körperfunktionen zweckmäßigen und fast unentbehrlichen Vorganges.

Um das Wesen der Hell-Dunkelreaktion im Vergenzsystem, ihre Ursachen und ihre Verknüpfung mit anderen Einstellvorgängen genauer zu klären, wird es nötig sein, mit geeigneten Versuchsanordnungen folgende Dinge an möglichst vielen verschiedenen Personen zu prüfen:

- a) bei Reizgleichgewicht:
    - Lage, Breite und Adaptationsabhängigkeit des Leuchtdichte-Schwellenbereiches,
    - Einfluß der Reizfarbe und der Reizflächengröße auf den Schwellenbereich,
    - Zusammenhang des Ruhelagen-Schwellenbereiches mit dem Konvergenz- und Akkommodationsbreiten-Schwellenbereich und der Akk.-RuheEinstellung,
  - b) bei binokularem Reizungleichgewicht:
    - Lage und Breite des kritischen Leuchtdichte-Differenzbereiches bei verschiedenen Ausgangsleuchtdichten,
    - bei binokular gleichen und ungleichen Reizfarben und Reizflächengrößen,
    - Zusammenhang der Ruhelagenumstellung unter diesen Bedingungen mit der Konvergenz- und Akkommodationsbreite und den monokularen Einstellreflexionen unter den gleichen Bedingungen;
  - c) grundsätzlich:
    - Beeinflussung des Hell-Dunkelverhaltens im Vergenzsystem durch optische Dauerkorrektur von Hell-Heterophorien und durch orthoptisches Training ohne optische Korrektur.
- Da es uns an Mitteln und Zeit für die Schaffung der notwendigen Versuchsvorrichtungen und für die zügige Durchführung der Versuche fehlt, werden wir diese Aufgaben kaum bald lösen können. (wird fortgesetzt)