

(Aus der Universitäts-Augenklinik in Greifswald.
Direktor: Prof. Dr. *K. Velhagen*.)

Augenbewegungen als Ursache fehlerhaften Steuerns von Flugzeugen, Kraftfahrzeugen und Fahrrädern¹.

Von
Gerhard Martin.

Mit 8 Textabbildungen.

Der Einfluß der Augenmuskelbewegungen auf die tonische und motorische Innervation des Körpers ist noch wenig untersucht worden. Vielleicht, weil die Reaktionen des Körpers auf Blickwendungen sehr gering sind und ihnen deshalb bisher im Leben keine praktische Bedeutung zukam. Heute, im Zeitalter der modernen Verkehrsmittel, wo wie am Steuerrad des Autos oder im Führersitz des Flugzeuges, kleinste Körperbewegungen eine vieltausendfach verstärkte Wirkung auslösen, verdienen selbst die feinen und feinsten Körperreaktionen eine aufmerksame Beachtung.

Einige Zufallsbefunde zu dieser Frage ergaben die Untersuchungen der Beeinflußbarkeit der Augenmuskeln von seiten des Körpers. Sie werden einleitend zusammengestellt.

Den Ausgangspunkt soll die Betrachtung des Auges als eines Vermittlers des dreidimensionalen Raumes bilden. Das Auge als Wahrnehmer des optischen Raumes ist, zufolge seiner feineren nervösen Konstruktion gegenüber dem Ohr als Wahrnehmer des akustischen und gegenüber dem Tastsinn als Wahrnehmer des haptischen Raumes, der wichtigste Träger unserer Raumempfindung. Ein Blinder findet sich viel schwerer im Raum zurecht als ein Tauber, dessen Tastsinn gestört ist. Das Überwiegen des optischen Raumes ist so stark, daß der Mittelpunkt des Sehraumes unserer subjektiven Empfindung als Ausgangspunkt der räumlichen Lokalisation dient. Die drei Arten von Raumempfindung werden in unserem Bewußtsein in Übereinstimmung gebracht und unterliegen ständiger gegenseitiger Kontrolle. Eine wechselseitige Beeinflussung dieser drei Sinnesorgane dürfte deshalb zu erwarten sein. Ebenso werden Beziehungen zum Labyrinth, dem Wahrnehmungsorgan für Lageveränderungen im Raum, bestehen. Und schließlich soll der Einfluß des Auges auf die Muskulatur, als das den Körper im Raum bewegende Organ, Gegenstand eingehender Untersuchungen sein.

Die den Augapfel bewegenden Muskeln können als drei Paar Antagonisten aufgefaßt werden. Die Frage, ob die reziproke Innervation, wie wir sie an den anderen antagonistischen Muskeln und Muskelgruppen

¹ D 9.

beispielsweise des Armes oder Beines finden, auch für die Augenmuskeln zutrifft, ist durch die Untersuchungen *Sherringtons* geklärt. *Sherrington* löste die Ansatzstelle des *M. obliquus inf.* vom Augapfel. Beim Zerren des Muskels gegen seinen Ursprung am Boden der Orbita wurden Bewegungen des Augapfels ausgelöst, die nach der dem Muskel korrespondierenden Seite gerichtet waren. Nach Durchschneidung des am Muskelursprung eintretenden Nerven erloschen alle Reaktionen. Bei tetanischer Reizung des zentralen Nervenstumpfes traten die gleichen Zuckungen auf wie bei Zerrung des Muskels vorher. Mit diesen und ähnlichen Versuchen hat *Sherrington* bewiesen, daß auch in den Augenmuskeln sensible zentripetale Nerven liegen. Ihre Impulse dienen vor allem der Koordination antagonistischer Bewegungen. Zu gleichen Ergebnissen kamen *Topolanski* und *Schnabel*.

Erwähnt sei der Nystagmus nach extremen Blickwendungen zur Seite, über dessen Ursache nichts Sicheres bekannt ist.

Andere Impulse, die den Tonus der Augenmuskeln beeinflussen, sind die optostatischen Innervationen, die der Fixierung des Blickes dienen und besonders von der Fovea centralis ausgehen. Die diffusen Ausschläge der Bulbi Blinder zeigen negativ, der Eisenbahnnystagmus positiv die Stärke dieses Einflusses.

Eine weitere Beeinflußbarkeit der Augenmuskeln veranschaulicht das *Bellsche* Phänomen. Bei Lidschluß drehen sich die Augen nach oben und außen, und zwar um so mehr, je fester der Lidschluß ist. Umgekehrt ist der Lidschluß bei gehobener Blickrichtung leichter auszuführen als bei gesenkter, was für einen Einfluß der Blickheber auf den Lidschließer spricht. Daß es sich hier nicht nur um eine synergische Innervation handelt, zeigen die Untersuchungen von *Lauber*. Danach senken sich die Bulbi in der Narkose und im Koma wieder nach unten und bleiben nahe der horizontalen Blickrichtung stehen.

Auch zwischen Gehörorgan und Augenmuskeln bestehen Beziehungen. Wie *Urbantschitsch* beschrieben hat, können durch akustische Reize Augenbewegungen ausgelöst werden. Nach *Holmgreen* erweitern sich die Pupillen, wenn man dem Ohr eine tönende Stimmgabel nähert. *Sherrington* beobachtete bei den oben angegebenen Versuchen, daß einige Affen beim Zerren des *M. obliquus inf.* und bei Reizung seines zentralen Nervenstumpfes die Ohren spitzten.

Am Menschen bewirkt extreme Seitenwendung der Bulbi eine Kontraktion des *M. transversus auris*. Nach *Brickner* kann das Ausbleiben dieser Kontraktion auf einer Seite für die Diagnose einer Facialislähmung verwendet werden.

Über Einflüsse des Tastsinnes auf die Augenbewegungen ist wenig bekannt. Über das hier vor allem interessierende Gegenteil, die Beeinflussung des Tastens durch die Augenmuskeln, brachten die Untersuchungen des Schielens und der Augenmuskellähmungen wertvolle

Ergebnisse. Bedarf es zur Fixierung eines Gegenstandes der Innervation eines paretisch gewordenen Muskels, so muß zur Herstellung der gewünschten Blickrichtung der paretische Muskel durch stärkere Impulse gereizt werden als ein normaler Muskel. Subjektiv entsteht dadurch die Empfindung einer größeren Blickwendung und der Gegenstand wird falsch lokalisiert. Beim Zugreifen unter Ausschluß der optischen Kontrolle wird dann nach der Seite des gelähmten Muskels vorbeigegriffen, was sich mit den Apparaten von *Landolt* und *Bielschowsky*

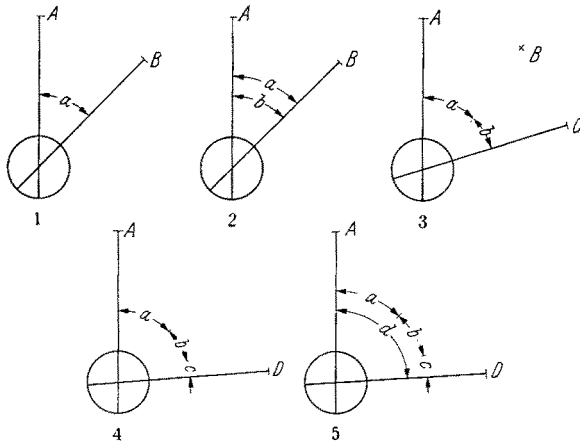


Abb. 1. Erklärung im Text.

genau prüfen läßt. Der Tastfehler steht in Proportion zu der Stärke des dem paretischen Muskel zufließenden Impulses.

Dem entsprechen die Beobachtungen von *Kiß* an Gesunden, daß bei intensiver Blickbewegung nach einer Seite gleichseitiges Vorbeizeigen erfolgt. Der extrem seitlich gedrehte Augapfel kann sich nicht weiter drehen. Die nachfolgenden Impulse sind für die Bulbusdrehung erfolglos, bewirken aber eine falsche Lokalisation des Gegenstandes. Diese Verhältnisse lassen sich gut an dem Schema von *Cords* veranschaulichen.

1. Normale Blickwendung AB durch den Impuls a.
2. und 3. Bei paretischem Muskel bedarf es zur Blickwendung AB der beiden Impulse $a + b$, was normal einer Blickwendung AC entspricht. Daher falsche Lokalisation von B in Richtung C: Vorbeigreifen rechts.
4. Einfache extreme Seitenwendung AD durch die Impulse $a + b + c$.
5. Bei angestrenzter extremer Seitenwendung durch die Impulse $a + b + c + d$ kann der Impuls d nicht mehr wirken, da der Bulbus schon extrem gedreht ist. Er bewirkt aber eine falsche Lokalisation über D hinaus: Vorbeigreifen rechts.

Der Einfluß des vestibulären Organs auf die Augenmuskeln war und ist Gegenstand zahlloser Untersuchungen. Die eindrucksvollste

Erscheinung der gegenseitigen Beziehungen ist der Rucknystagmus. Die Auslösungsarten sind außerordentlich mannigfaltig: Dreh-, Kompressions-, galvanische und calorische Reize, Zerstörung eines Labyrinthes, Druck auf den Tragus, Cerumenpfropf im Gehörgang usw. Nach *Bartels* soll durch jedes Labyrinth jeder Augenmuskel in seinem Spannungszustand erregt und gehemmt werden. Im besonderen hat er festgestellt, daß jedes Labyrinth die Neigung hat, beide Augen nach der Gegenseite zu wenden und radzudrehen. Die Augen werden dadurch verhindert, eine Kopfbewegung in gleicher Weise mitzumachen.

Daß durch jede Labyrinthirregung gesetzmäßige Veränderungen in der tonischen Innervation der gesamten Körpermuskulatur hervorgerufen werden (*Magnus*), sei erwähnt, weil es für die spätere Versuchsanordnung von Bedeutung ist.

Über die ophthalmodynamischen Reflexe und ihren Einfluß auf die Körpermuskulatur hat *G. Brinck* Untersuchungen angestellt. Er fand beim Stehenden nach angestrenzter seitlicher Blickwendung von 2 bis 3 Min. Dauer eine Körperdrehung nach der gleichen Seite. Die Auslösbarkeit dieses Körperreflexes war abhängig von der Haltung des Kopfes. Sie war am stärksten, wenn der Kopf bei der Blickwendung maximal nach hinten geneigt wurde und fehlte bei normaler Kopfhaltung. Wurde der Rumpf festgehalten, bewegten sich die ausgestreckten Arme mit der Blickrichtung, hierbei wurde ein Einfluß der Kopfhaltung nicht mit Sicherheit beobachtet. Der gleichseitige Arm zeigte die größere Ablenkung. Bei vielen Personen trat nur eine Ausbreitung der Arme ein.

Mit einer Nachprüfung dieser Versuche beginnen wir unsere Untersuchungen und können die *Brinckschen* Beobachtungen im wesentlichen bestätigen. Ihrer Erklärung als tonische Reflexe der Körpermuskulatur ausgelöst durch Augenbewegungen, können wir nicht ohne weiteres zustimmen. Um einen einfachen Reflex kann es sich nicht handeln. Dagegen spricht die Latenzzeit von 2—3 Min. In den *Sherringtonschen* Versuchen erfolgte die reflektorische Tonusänderung sofort. Man könnte daran denken, daß es hier einer Summation von Reizen bedarf, um die Reflexe anzubahnen. Aber dann bleibt immer noch unklar, weshalb die Kopfhaltung einen Einfluß auf die Auslösung der Körperreflexe hat, und weshalb für die Auslösung der Armreflexe die Kopfhaltung wiederum belanglos ist.

Wenn man unter Tonus den beständigen Spannungszustand der Muskeln versteht, so müßten die Reflexe beim alleinigen Vorherrschen dieses Tonus, also bei völliger Entspannung der Muskulatur, am deutlichsten wahrnehmbar sein. Auf Grund dieser Überlegung machen wir *folgenden Versuch*: Eine Versuchsperson legt sich über einem Tisch auf den Bauch. Die Höhe der Brustwarzen schneidet dabei mit der Tischkante ab, so daß die Arme frei vor dem Tisch herunterhängen und völlig entspannt werden können. Nun wird der Einfluß der Blickbewegungen

bei den verschiedenen Kopfhaltungen geprüft und festgestellt, daß bei dieser Versuchsanordnung die Armreflexe nicht etwa verstärkt, sondern überhaupt nicht auftreten.

Diese Tatsache legt eine andere Erklärung der *Brinckschen* Beobachtungen nahe: Das Ausstrecken der Arme muß als Bewegung aufgefaßt werden, bei der die Muskeln der Schwerkraft beständig entgegenarbeiten. Auch das Stehen ist eine Bewegung; denn der Körper muß

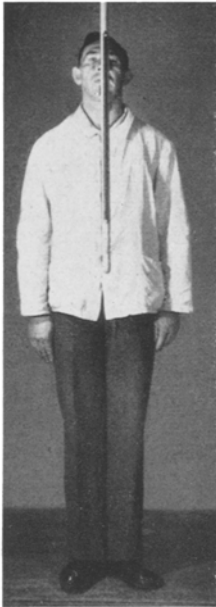


Abb. 2. Beim Schwanken mit dem Oberkörper nach vorn und hinten und Blick geradeaus keine Seitenabweichung.



Abb. 3. 3 Sek. nach der Blickwendung nach rechts deutliches gleichseitiges Abweichen des Körpers.

im Gleichgewicht gehalten werden. Bei normaler Kopfhaltung ist die Körpermasse ausbalanciert und die Muskelarbeit sehr gering. Wird das Gleichgewicht durch die Beugung des Kopfes gestört, so sind ausgiebigere Bewegungen zur Erhaltung des Gleichgewichtes nötig. Die von *Brinck* beobachteten ophthalmodynamischen Reflexe entstehen demnach durch Beeinflussung bewegter Muskeln.

Ist diese Überlegung richtig, so müßten die Reflexe bei Verstärkung der Muskelbewegungen deutlicher nachweisbar sein. Das wird zunächst an der *Brinckschen* Versuchsanordnung geprüft. Die Versuchsperson erhält jetzt die Anweisung, mit dem Oberkörper nach vorn und nach hinten zu schwanken. Bei Blickwendung zur Seite zeigt sich jetzt, daß die Seitenabweichung des Körpers 1. auch bei normaler Kopfhaltung eintritt, 2. daß sie sofort eintritt und 3. daß sie schon nach 2—3 Sek. das Maximum erreicht.

Sind diese Körperreflexe mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit auszulösen, so zeigt die Untersuchung der Armreflexe ein wesentlich unklarerer Bild. Schon *Brinck* beschreibt, daß bei vielen Personen statt einer Armabweichung in der Blickrichtung eine Ausbreitung der Arme eintrat. Wir beobachteten bei der von ihm angegebenen Versuchsanordnung außerdem Abweichungen eines oder beider Arme entgegengesetzt der Blickrichtung und auch beharrliches Ausbleiben einer Abweichung überhaupt. Die Untersuchung der Armreflexe bei diadochokinetischer Pronation und Supination der Unterarme und bei gleichmäßiger Auf- und Abbewegung beider Arme erbrachte keine weitere Klärung dieser Verhältnisse. Die Seitenabweichungen traten aber auch hier sofort und bei normaler Kopfhaltung ein. Einen Überblick über die Häufigkeit der verschiedenen Reaktionen zeigt die Tabelle I.

Tabelle I.

| | Abweichung nach | | | | |
|---------------------|------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|---|
| | links | | links und rechts | rechts | |
| | linker und rechter Arm | nur linker Arm | linker Arm rechter Arm | links rechts | nur rechter Arm linker und rechter Arm |
| Blick nach links . | 7 | 8 | 5 | 3 | 1 |
| Blick nach rechts . | 2 | 2 | 7 | 5 | 4 |

Wenn nach den *Brinckschen* Ergebnissen die Auslösung der ophthalmodynamischen Reflexe einer Zeitspanne von 2—3 Min. und außer dem einer absurden Kopfhaltung bedurfte, so kam ihnen wohl nur wenig oder gar kein praktisches Interesse zu. Ganz anders liegen die Dinge nach der Erkenntnis, daß die motorischen Impulse der Augenmuskeln eine sofortige Änderung gewisser Körper- und Extremitätenbewegungen hervorrufen.

Die Stärke dieses Einflusses auf die Steuerbewegungen der neuzeitlichen Verkehrsmittel soll im folgenden genauer untersucht werden. Wir bedienen uns dazu eines Prüfstandes, der nach Angaben von Herrn Prof. *Velhagen* durch die Firma Polikeit in Halle a. S. erbaut wurde. Die Mittel dazu stellte in dankenswerter Weise der Reichsforschungsrat zur Verfügung. Die wesentlichen Bestandteile des Prüfstandes bei der I. und II. Versuchsreihe sind:

1. Ein Sitz.
 2. Eine Vorrichtung zur Fixation des Kopfes (verstellbares Bißstück).
 3. Ein Steuerknüppel
 4. Ein Seitenruder
 5. Ein Registrierapparat.
 6. Eine Übersichtstafel, auf der die Bewegungen an Zeigerausschlägen beobachtet werden können.
- } dem Leitwerk eines Flugzeuges entsprechend.

Bei der III. Versuchsreihe ist statt Steuerknüppel und Seitenruder eine Lenkstange eingebaut, in ihrer Beweglichkeit dem Lenken eines Autos oder eines Fahrrades entsprechend.

Der Einbau des Registrierapparates und der Lenkstange erfolgte nach meinen Angaben durch Herrn Mechanikermeister Schulze vom physikalischen Institut der Universität Greifswald.

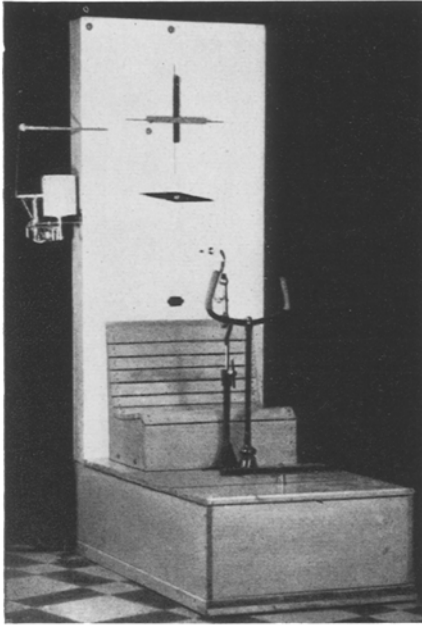


Abb. 4.

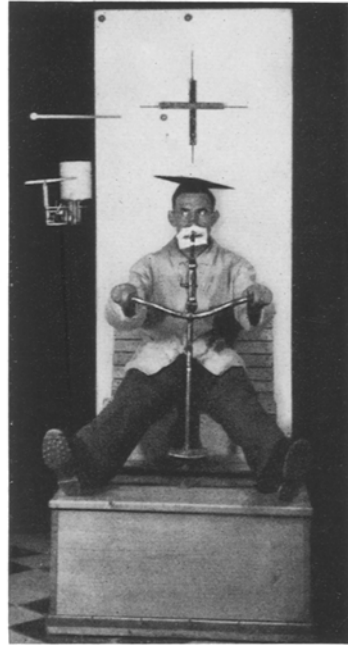


Abb. 5.

Abb. 4. Prüfstand nach Prof. *Velhagen*, wie er zur Untersuchung der Flugzeugsteuerbewegungen verwendet wurde. Die großen Zeiger, der Versuchsperson nicht sichtbar, zeigen dem Versuchsleiter Anschläge des Höhen-, Seiten und Querruders an. An der Seite findet sich eine Trommel, auf die mittels Hebelübertragung die Ausschläge aufgezeichnet wurden.
Abb. 5. Derselbe Prüfstand bei der Untersuchung von Steuerbewegungen, die dem Lenken eines Fahrrades oder Autos entsprechen.

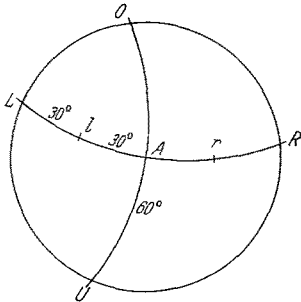


Abb. 6. Erklärung im Text.

Ferner werden zu den Versuchen benötigt eine Leuchtbrille nach *Frenzel* und sieben kleine Lesetafeln. Die Anordnung der letzteren vor dem Prüfstand ist aus der Zeichnung ersichtlich.

A liegt in Augenhöhe und vor der Körpermitte. Der Abstand aller Schildchen vom Kopf des Prüflings beträgt je 3 m.

I. Versuchsreihe.

Eine Versuchsperson setzt sich in den Prüfstand und beißt sich am Mundstück fest. Die Hände fassen den Steuerknüppel, die Füße werden auf die Fußsteuerung gesetzt.

| | | An der Übersichtstafel | |
|---|--------------------------|---------------------------|----------------|
| 1 | Min. Blick auf Schild A: | . | kein Ausschlag |
| 4 | „ „ „ „ | L: | „ „ |
| 4 | „ „ „ „ | R: | „ „ |
| 4 | „ „ „ „ | O: | „ „ |
| 4 | „ „ „ „ | U: | „ „ |

Auch bei den Blickwendungen von einem Schild zum anderen erfolgte keine Bewegung. Doch wird dies nochmals geprüft, indem je 3 Blickwendungen L R L und je 3 Blickwendungen O U O und je 3 Blickwendungen O L U R O befohlen werden. Auch dabei wurde keine Bewegung beobachtet. Bei zehnfacher Wiederholung dieses Versuches traten nur zweimal uncharakteristische Wackelbewegungen mit dem Seitenruder auf. Bei 10 weiteren Versuchen, wobei auf Grund der Angaben von *Brinck* fünfmal der Kopf maximal nach hinten und fünfmal 90 Grad nach vorn geneigt wurde, ergab sich nur eine einzige Wackelbewegung mit dem Seitenruder.

Dieses Ergebnis bestätigt die Auffassung, daß die motorischen Impulse der Augenmuskeln an unbewegten Körpermuskeln keine Reflexe auslösen.

II. Versuchsreihe.

Anordnung A. Die Versuchsperson nimmt auf dem Prüfstand Platz, beißt sich fest, faßt den Steuerknüppel und erhält die Anweisung, den *Steuerknüppel in ständigem Wechsel anzuziehen und wegzudrücken*. Die Registriervorrichtung zeichnet jeweils $3\frac{1}{2}$ Min. lang alle Bewegungen auf einem Streifen Papier auf.

- a) Blick $3\frac{1}{2}$ Min. geradeaus auf Schild A.
- b) Blick 15 Sek. geradeaus auf Schild A, dann Blickwendung nach O und Beibehaltung dieser Blickrichtung für $3\frac{1}{4}$ Min.
- c) Blick 15 Sek. auf A, dann Blickwendung nach O, Beibehaltung dieser Blickrichtung für 15 Sek., dann Blickwendung nach U, Beibehaltung dieser Blickrichtung für 15 Sek., dann wieder Blickwechsel nach O usw.
- d) Blickwechsel wie unter c), aber die Augenbewegungen in einer Pause der Armbewegungen ausführen lassen.
- e—h) Entsprechend den vier vorangehenden Abwandlungen der Versuchsanordnung, aber unter Verwendung der *Frenzelschen* Leuchtbrille. Die Blickwendungen werden dabei einfach extrem nach oben bzw. nach unten ausgeführt, was leicht zu kontrollieren ist. Der Zweck der Leuchtbrille ist, Konvergenz und optostatische Reflexe als eventuelle Fehlerquellen auszuschalten.

i) k) Entsprechend den Anordnungen b) und c), mit dem Unterschied, daß der Kopf einmal maximal nach hinten, einmal 90 Grad nach vorn gebeugt wird.

In diesen 10 Variationen wurden in insgesamt 75 Versuchen an 25 Personen die Reaktionen von 325 Blickwendungen geprüft. Die Anordnungen a) und e) dienen zur Gewöhnung der Versuchsperson an die Bewegung und zur Kontrolle des Versuchsablaufes. Die nach diesen Anordnungen ausgeführten Bewegungen waren sehr gleichmäßig, bisweilen wurde der Knüppel mehr angezogen, bisweilen wieder etwas gedrückt. Unterschiede in den Ergebnissen der anderen Versuchsarten, insbesondere ein Einfluß der Kopfhaltung, konnten nicht festgestellt werden. Soweit eine Beeinflussung der Steuerbewegung durch Blickwendungen beobachtet wurde, erfolgte die Reaktion unmittelbar nach der Blickwendung. Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2.

| | Der Knüppel wird | | | | |
|--------------------------|------------------|--------|--------------------|-----------|----------|
| | gedrückt | | gleichmäßig bewegt | angezogen | |
| | deutlich | gering | | gering | deutlich |
| Blick nach unten | 33 | 32 | 60 | 19 | 7 |
| Blick nach oben | 19 | 20 | 87 | 26 | 22 |

Diese Unterschiede in der Steuerbewegung bei Blick nach oben und Blick nach unten sind verhältnismäßig gering. Sie besagen aber doch, daß beim Blick nach unten die Neigung besteht, den Knüppel zu drücken, während umgekehrt beim Blick nach oben keine sichere Reaktion festgestellt wurde.

Anordnung B. Versuchsanordnung wie unter A, nur wird jetzt der Steuerknüppel von rechts nach links bewegt, die Blickrichtung zwischen L und R gewechselt. Es wird wieder in allen 10 Variationen geprüft. Die Ergebnisse von 75 Versuchen an 25 Personen mit 233 Blickwendungen sind aus der nachstehenden Tabelle 3 ersichtlich. Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen Variationen haben sich insofern ergeben, als die Anordnungen d) und h) die deutlichsten Ergebnisse brachten. Dabei ist zu betonen, daß, entsprechend den Versuchen der I. Versuchsreihe eine Seitenverschiebung des Steuerknüppels in der Bewegungspause nicht erfolgte.

Tabelle 3.

| | Der Knüppel wird gedrückt | | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------------------|------------|----------|
| | nach rechts | | gleichmäßig bewegt | nach links | |
| | deutlich | gering | | gering | deutlich |
| Blick nach links | 3 | 5 | 17 | 14 | 72 |
| Blick nach rechts | 75 | 9 | 18 | 10 | 10 |

Die Unterschiede in der Steuerbewegung bei verschiedener Blickrichtung sind hier ganz eindeutig. *Bei Blick nach rechts wird der bewegte*

Steuerknüppel deutlich nach rechts, bei Blick nach links deutlich nach links gedrückt.

Dieses Ergebnis entspricht im Prinzip der von *Brinck* beobachteten Bewegung der Arme mit der Blickrichtung. Gleichzeitig wird aber unsere Ansicht, daß die ophthalmodynamischen Reflexe auf den bewegten Muskel wirken, bestätigt. Die Kurve der Registriervorrichtung zeigt die Abweichung des Steuerknüppels sofort bei den ersten Bewegungen nach der Blickwendung.

Die Stärke der Abweichung steigerte sich in den ersten 10—15 Sek., dann erfolgten gleichmäßige Bewegungen in der erreichten Seitenabweichung, oder es trat eine geringe rückläufige Bewegung ein. Die Stärke

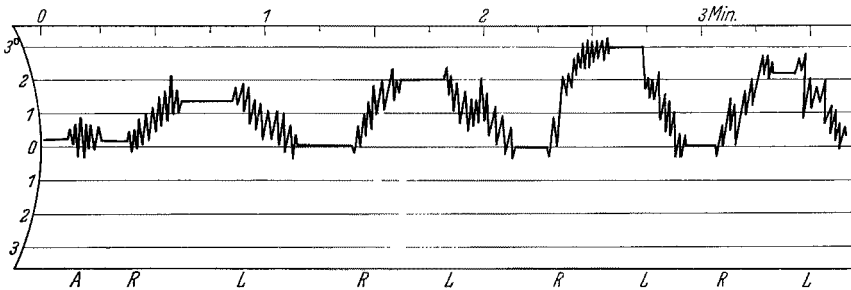


Abb. 7. Seitenausschläge des Steuerknüppels bei Blickwendungen nach rechts (R) und links (L) von 120°. Die Gradeinteilung der Kurve entspricht den Ausschlägen des Steuerknüppels.

der Seitenabweichung des Steuerknüppels zeigte erhebliche individuelle Unterschiede und betrug bisweilen mehr als 5 Grad, so daß sie mit dem Prüfstand gar nicht mehr gemessen werden konnte. Die abgebildete Kurve zeigt deutlich, wie die Abweichung das Vielfache der Steuerbewegung beträgt.

Anordnung C. Versuchsanordnung wie unter B, nur wird jetzt *das Seitenruder bewegt*. Es wird wieder in allen 10 Variationen geprüft. Die Ergebnisse von 50 Versuchen an 20 Personen mit 201 Blickwendungen zeigt die Tabelle 4:

Tabelle 4.

| | Das Seitenruder wird | | | | |
|---------------------------|----------------------|--------|--------------------|--------------------|----------|
| | nach rechts gedreht | | gleichmäßig bewegt | nach links gedreht | |
| | deutlich | gering | | gering | deutlich |
| Blick nach links | 4 | 14 | 66 | 16 | 0 |
| Blick nach rechts | 2 | 20 | 64 | 15 | 1 |

Dieses Ergebnis besagt, daß *ein Einfluß von Blickbewegungen auf das mit den Füßen bewegte Seitenruder durch die hier angewendeten Untersuchungsmethoden nicht nachgewiesen wurde.*

III. Versuchsreihe.

In den Prüfstand ist jetzt eine Fahrradlenkstange eingebaut. Die Versuchsperson beißt sich wieder am Mundstück fest und *dreht die Lenkstange abwechselnd nach rechts und links*. Die Bewegungen werden von der Registriervorrichtung aufgezeichnet. Es wird nur mehr in 3 Variationen geprüft.

a) Blick 15 Sek. auf A, Pause, Blickwendung nach L, Beibehaltung dieser Blickrichtung für 15 Sek., Pause, Blickwendung nach R und Beibehaltung dieser Blickrichtung für 15 Sek., Pause usw. Blickwechsel zwischen R und L.

b) Entsprechender Blickwechsel unter Verwendung der Leuchtbrille nach *Frenzel*.

c) Blickwechsel wie unter a), aber zwischen r und l.

In diesen 3 Variationen wurden in 60 Versuchen an 20 Personen 336 Blickwendungen geprüft. Alle drei Variationen ergaben gleichartige Ergebnisse, so daß sie in Tabelle 5 zusammengefaßt werden können:

Tabelle 5.

| | Die Lenkstange wird | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------|--------------------|--------------------|----------|
| | nach rechts gedreht | | gleichmäßig bewegt | nach links gedreht | |
| | deutlich | gering | | gering | deutlich |
| Blick nach links | 93 | 37 | 25 | 6 | 4 |
| Blick nach rechts | 5 | 10 | 17 | 28 | 111 |

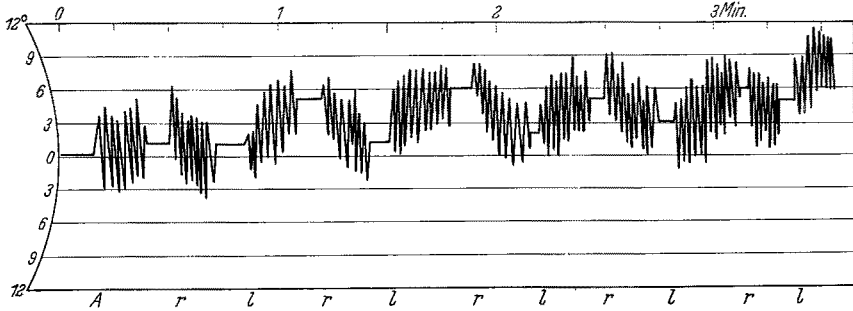


Abb. 8. Steuerbewegungen mit der Lenkstange bei Blickwendungen nach rechts (r) und links (l) von 60°. Die Gradeinteilung entspricht dem Drehwinkel der Lenkstange.

Beim Blick nach links wird die Lenkstange bzw. das Steerrad deutlich nach rechts, beim Blick nach rechts deutlich nach links gedreht. Die Stärke der unbewußten Verdrehung beträgt im Maximum bis zu 5 Grad. Wichtig ist aber vor allem das Ergebnis, daß nicht nur die annähernd extremen Blickwendungen zwischen R und L, sondern auch die um die Hälfte kleineren Blickwendungen zwischen r und l ebenfalls eine deutliche Veränderung der Steuerbewegung hervorrufen. Die abgebildete Kurve zeigt,

wie beträchtlich die durch die Blickwendungen l—r und r—l ausgelösten Reaktionen sein können.

Schon einige Erfahrungstatsachen lassen eine Beeinflussung gewisser Steuerbewegungen durch Blickwendungen vermuten. Jeder Autofahrer weiß, daß bei der Unterhaltung mit dem Beifahrer der Wagen alsbald auf die linke Straßenseite zu liegen kommt. Wenn der Fluglehrer seinem Schüler einen Anflugspunkt weist, so liegt die Maschine viel ruhiger in der Luft als ohne diese Fixation des Blickes.

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, daß tatsächlich ophthalmodynamische Reflexe gewisse Körperbewegungen beeinflussen. Die darauf bezüglichen Beobachtungen *Brincks* werden dahingehend verbessert, daß die Impulse bewegter Augenmuskeln nicht erst nach 2—3 Min. und auf die tonische, sondern unmittelbar und auf die motorische Innervation der Körpermuskeln wirken.

Die Stärke des Einflusses dieser Reflexe auf die Steuerbewegungen des Flugzeuges ist für die einzelnen Bewegungen verschieden. Die Blickwendung nach unten scheint die Betätigung des Höhensteuers in dem Sinne zu beeinflussen, daß der Steuerknüppel stärker gedrückt und weniger angezogen wird als es in der Absicht des Ausführenden liegt. Dieses Ergebnis läßt sich möglicherweise für die Erklärung jener Tatsache heranziehen, daß es der Flugschüler unbedingt vermeiden muß, beim Start nach unten zu blicken, weil er sonst „nicht vom Boden loskommt“. Beim Untersuchen der Blickwendung nach oben konnte das Überwiegen einer bestimmten Reaktion nicht festgestellt werden. Es sei aber erwähnt, daß einige Versuchspersonen beim Blick nach oben regelmäßig den Steuerknüppel anzogen, andere ihn genau so regelmäßig drückten. Andere Versuchsanordnungen mit Blickwendungen von rechts oben nach links unten, von links oben nach rechts unten, von links oben nach links unten und von rechts oben nach rechts unten brachten keine weitere Klärung der Verhältnisse.

Der Einfluß der Blickwendungen nach rechts und links auf die Seitenausschläge des Steuerknüppels, also das Querruder, ist ganz klar und eindeutig: Es erfolgt bei Bewegung in der Blickrichtung eine Verstärkung, bei Bewegung entgegen der Blickrichtung eine Abschwächung des gewollten Steuerausschlages.

Hierzu sei ein interessantes Ergebnis angeführt, das sich bei der Untersuchung dreier Flugzeugführer ergab. Die ersten 2—3 Ausschläge nach der Blickwendung erfolgten nach der allgemein festgestellten Gesetzmäßigkeit, dann wurde jedoch das Steuer kräftig im entgegengesetzten Sinne angezogen, so daß beim Blick nach links stärker nach rechts gedrückt wurde und umgekehrt beim Blick nach rechts ein stärkeres Drücken nach links erfolgte. Nach längerer Versuchsdauer, mit Auftreten von Ermüdungserscheinungen, hörte diese konträre Reaktion auf, und die Abweichungen entsprachen dann auch den allgemeinen

Beobachtungen. Da jetzt im Kriege keine größere Anzahl von Flugzeughführern zu Untersuchungen zur Verfügung stand, konnte dieser Befund nicht nachgeprüft werden.

Auf die Betätigung des fußgesteuerten Seitenruders konnte kein Einfluß der motorischen Impulse der Augenmuskeln festgestellt werden.

Ein um so eindrucksvolleres Ergebnis zeigt die Untersuchung jener Bewegung, die dem Lenken eines Fahrrades bzw. Krafrades oder Autos entspricht. Seitliches Blicken bewirkt hier, daß die Drehung des Lenkrades im Sinne der Blickrichtung deutlich abgeschwächt, die Drehung im entgegengesetzten Sinne deutlich verstärkt wird.

Erfolgen die Seitenbewegungen des Steuerknüppels in einer frontalen, so werden Lenkstange und Steuerrad in einer horizontalen Ebene bewegt. Deshalb ist es durchaus kein Widerspruch, wenn beim Steuerknüppel die Bewegung in Richtung der Blickbewegung verstärkt, beim Steuerrad die Drehung in Richtung der Blickbewegung abgeschwächt wird.

Wenn in den vorliegenden Untersuchungen in der Hauptsache mit kardinalen und extremen Blickwendungen gearbeitet wurde, so geschah es, um einen möglichst eindeutigen Befund über den Einfluß der ophthalmodynamischen Reflexe auf die Steuerbewegungen von Flugzeugen, Kraftfahrzeugen und Fahrrädern zu erhalten. Die Nachprüfung kleinerer Blickwendungen in der III. Versuchsreihe zeigt aber, daß die gefundenen Gesetzmäßigkeiten auch für die Ausmaße der Praxis ihre Gültigkeit behalten.

Zusammenfassung.

Mit einem, dem Führerstand eines Flugzeuges nachgebildeten Prüfstand wurde der Einfluß von Blickwendungen auf die verschiedenen Steuerbewegungen untersucht. Zur Ausschaltung von Labyrinthreflexen wurde dabei der Kopf fixiert.

Wurde der Steuerknüppel in ständigem Wechsel angezogen und weggedrückt, so ergab sich bei Blick nach unten ein stärkeres Drücken des Steuerknüppels. Der Blick nach oben löste keine bestimmte Reaktion aus. Die Seitenausschläge des Steuerknüppels wurden durch Blickwendungen nach rechts und links in dem Sinne beeinflusst, daß der Steuerknüppel ganz eindeutig in der Blickrichtung abwich. Die Stärke der durch die Blickwendung verursachten Seitenabweichung betrug bei manchen Personen mehr als 5 Grad. Für die Betätigung des Seitenruders wurde ein Einfluß von Blickwendungen nicht nachwiesen.

Die Steuerbewegungen mit einer Lenkstange bzw. einem Steuerrad wurden durch Blickwendungen nach rechts und links bis zu 5 Grad in einem der Blickrichtung entgegengesetzten Sinne verlagert.

Diese durch Blickwendungen verursachten unbewußten Änderungen der Steuerbewegungen werden erklärt als Einfluß ophthalmodynamischer Reflexe auf die motorische Innervation der Körpermuskulatur.

Zum Schluß ist es mir ein Bedürfnis, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. *Velhagen*, für die Überlassung dieser Arbeit und für die freundliche Unterstützung bei ihrer Abfassung herzlichst zu danken.

Literatur.

Barany: Arch. Ohrenheilk. **68** (1906). — *Bartels*: Graefes Arch. **76**, 1 (1910); **78**, 129 (1911). — Z. Ohrenheilk. **78**, 129 (1911). — Klin. Mbl. Augenheilk. **50**, 187 (1912). — Graefes Arch. **101**, 299 (1920). — Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 145 (1928). — Auge und Ohr. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie von *Schieck* und *Brückner*, Bd. III. — *Bielschowsky*: Pflügers Arch. **136**, 658 (1910). — Die Motilitätsstörungen der Augen nach dem Stande der neuesten Forschungen. *Graefe-Saemisch*' Handbuch der gesamten Ophthalmologie, Bd. VIII, 1. 1909/1910. — *Brückner*: Arch. of Neur. **19**, 104 (1928). — Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 732. — *Brinck*: Arch. Oftalm. hisp.-amer. **32**, 96 (1936). — Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **96**, 550 (1936). — *Cords*: Die Pathologie der Augenbewegungen. Kurzes Handbuch der Ophthalmologie von *Schieck* und *Brückner*, Bd. III. — *Holmgreen*: Siehe *Bartels*, Literatur nicht zugänglich. — *Kiß*: Siehe *Brinck*, Literatur nicht zugänglich. — *Landolt*: Die Untersuchungsmethoden. *Graefes-Saemisch*' Handbuch der gesamten Ophthalmologie, Bd. IV. 1904. — *Landolt, L. u. Magnus*: Übersichtliche Zusammenstellung der Augenbewegungen im physiologischen und pathologischen Zustande. Breslau 1887. — *Lauber*: Wien. klin. Wdsch. **1913**, H. 88. — *Magnus*: Pflügers Arch. **193**, 396 (1922). — *Offergeld*: Inaug.-Diss. Bonn 1893. — *Pflüger*: Lidphänomen bei Seitenwendung der Augen. 22. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1892**, 202. — *Schnabel*: Wien. klin. Wschr. **1899 I**, 587. — *Sherrington*: Proc. roy. Soc. Lond. **53** (1893); **60** (1897). — J. of Physiol. **17**, 27, 278 (1894). — *Urbantschitsch*: Lehrbuch der Ohrkrankheiten, 5. Aufl. 1910.
