

## Der optokinetische Kurzreiznystagmus

G. KOMMERELL und H. THIELE

Universitäts-Augenklinik Freiburg i. Br. (Direktor: Prof. Dr. G. Mackensen)

Eingegangen am 22. September 1969

### *Nystagmus Following Short Optokinetic Stimulation*

*Summary.* Eye movements following very short optokinetic stimulation were investigated electronystagmographically. By means of a shutter a moving stripe pattern was shown to 3 human subjects for 0.2 s or less. Thus the optokinetic stimulation felt within the latency period of the optokinetic nystagmus, and the movement of the stripes over the retina was not influenced by eye movements. In this way the feedback of the eye movement control system was interrupted, allowing the central transfer functions to be studied. Evaluation of the results of our 644 trials showed that, after a short optokinetic stimulation, the nystagmus always begins with a slow phase in the direction of the moving stripe pattern. This slow phase is often followed by 1—4 saccadic movements in the opposite direction. After optokinetic stimulation of 0.2 and 0.1 s a nystagmus regularly appeared. The shortest stimulus to be followed by a nystagmus was 0.02 s. The slowest speed of stripe movement causing a nystagmus was  $5^{\circ} \text{ s}^{-1}$ . The displacement of the image over the retina was calculated as an angle by multiplying the speed of pattern movement by the duration of the stimulus. In order to arouse a nystagmus the pattern over the retina had to be moved through at least  $0.4\text{--}2^{\circ}$ . This threshold stimulus was found at any velocity between  $5$  and  $70^{\circ} \text{ s}^{-1}$ . Thus a slower speed of the retinal image had to be compensated by longer exposure. This did not apply at very high speeds because the pattern then appeared blurred. This upper threshold was clearly seen in two of our three subjects. In general we found a nystagmus only when the subject had seen the stripes moving. This points to the importance of the cerebral cortex in the eye movement control system. The stripes were seen to move at a minimum displacement of the pattern over the retina of  $0.5^{\circ}$ . The threshold of movement perception was thus only a little lower than the threshold of eye movements.

*Zusammenfassung.* In der vorliegenden Arbeit werden die nach sehr kurzen optokinetischen Reizen auftretenden Augenbewegungen elektronystagmographisch untersucht. Sie werden als „optokinetischer Kurzreiznystagmus“ (oKNy) bezeichnet.

Ein bewegtes Streifenmuster wird mit Hilfe eines Photoverschlusses 0,2 s lang oder kürzer dargeboten, so daß eine optokinetische Reizung innerhalb der Latenzzeit des optokinetischen Nystagmus am noch ruhigstehenden Auge erfolgt. Im Gegensatz zu längerer optokinetischer Reizung wird in dieser Versuchssituation die Wanderung des Netzhautbildes nicht durch Augenbewegungen beeinflußt, sondern entspricht genau der Bewegung des Streifenmusters. Durch diesen Kunstgriff ist der Regelkreis der Augenbewegungen praktisch aufgeschnitten, so daß der zentralnervöse Regel gut untersucht werden kann.

Die Auswertung unserer 644 Einzelversuche an 3 Versuchspersonen ergab folgendes:

Der oKNy beginnt stets mit einer langsamen Deviation in Richtung des Streifenmusters. Häufig folgen dieser Deviation 1—4 Rucke in Gegenrichtung. Nach Reizzeiten von 0,2 und 0,1 s fanden wir oKNy mit großer Regelmäßigkeit. Die *kürzeste Reizzeit*, nach der ein oKNy beobachtet wurde, betrug 0,02 s. Die *minimale Reizmuster-geschwindigkeit*, bei der gerade noch oKNy auftrat, lag bei  $5^\circ \text{ s}^{-1}$ . Das Ausmaß der *Bildverschiebung über die Netzhaut* bei einer bestimmten Reizzeit läßt sich durch Multiplikation mit der Reizmuster-geschwindigkeit in Winkelgraden berechnen. Eine Verschiebung des Streifenmusters um mindestens 0,4 bis  $2^\circ$  war erforderlich, um oKNy auszulösen. Dies galt für Expositionszeiten zwischen 0,02 und 0,25 s sowie bei Reizmuster-geschwindigkeiten zwischen 5 und  $70^\circ \text{ s}^{-1}$ . Eine Verringerung der Geschwindigkeit des Bildes auf der Netzhaut mußte also durch entsprechend längere Darbietung ausgeglichen werden. Diese Beziehung gilt offenbar nicht bei sehr hohen Streifengeschwindigkeiten, da dann der Reiz zu „verwischt“ wahrgenommen wird. Diese obere Reizschwelle war bei 2 Vpn deutlich zu erkennen. — oKNy erfolgte im allgemeinen nur dann, wenn die Versuchsperson eine Bewegung des Streifenmusters wahrgenommen hatte. Dies weist auf die Bedeutung der Hirnrinde für die optische Auslösung von Augenbewegungen hin. Die Schwelle für *Bewegungswahrnehmung* lag bei einer Verschiebung des Netzhautbildes von etwa  $0,5^\circ$ , also nur wenig niedriger als die Schwelle für oKNy.

Ohm berichtete (1927), daß nach Ende eines optokinetischen Reizes rhythmische Augenbewegungen fort dauern können, wenn im Gesichtsfeld der Versuchsperson (Vp) keine Konturen mehr dargeboten werden. Diese Augenbewegungen werden als optokinetischer Nachnystagmus bezeichnet. Mackensen, Kommerell und Silbereisen untersuchten 1961 die Abhängigkeit des optokinetischen Nachnystagmus von der optokinetischen Reizzeit. Sie fanden, daß auch nach sehr kurzen optokinetischen Reizen, die auf die Latenzzeit des optokinetischen Nystagmus beschränkt blieben, Augenzittern auftreten kann.

Genaue quantitative Untersuchungen dieses Befundes waren bisher unterblieben, da die optokinetische Reizzeit durch Ein- und Ausschalten einer das Streifenmuster beleuchtenden Glühbirne wegen des langen Nachglimmens der Wendel nicht genau festzulegen war. Diese Schwierigkeit konnten wir vermeiden, indem wir vor einem Auge der Vp einen Photoverschluß anbrachten. Mit Hilfe dieser Versuchsanordnung werden in der vorliegenden Arbeit die nach sehr kurzen optokinetischen Reizen auftretenden Augenbewegungen analysiert.

Während bei längerer Darbietung bewegter Konturen die retinale Bildwanderung über den optokinetischen Regelkreis durch Bewegung der Augäpfel beeinflußt wird, erfolgt die Reizung bei sehr kurzer Darbietungszeit am noch *ruhenden Auge*, so daß die Verschiebung des Reizmusters genau der Bildwanderung auf der Netzhaut entspricht.

Es ist fraglich, ob die untersuchten Augenbewegungen, welche zwar einer optokinetischen Reizung, nicht aber einem optokinetischen Nystag-

mus folgen, als „optokinetischer Nachnystagmus“ bezeichnet werden sollen. Um Mißverständnissen vorzubeugen, möchten wir sie als *optokinetischen Kurzreiznystagmus* (oKNy)<sup>1</sup> bezeichnen.

Folgende Fragen über den oKNy werden in dieser Arbeit behandelt:

1. Der Ablauf des oKNy.
2. Die Latenzzeit des oKNy.
3. Die Abhängigkeit des oKNy von der Reizzeit.
4. Die Abhängigkeit des oKNy von der Reizmustergeschwindigkeit.
5. Die Abhängigkeit des oKNy von der Bildverschiebung über die Netzhaut.
6. Seitendifferenz beim Auftreten des oKNy.
7. Bewegungswahrnehmung während kurzer optokinetischer Reizung.

## Methodik

### *a) Optokinetische Reizvorrichtung*

Die Vp sitzt auf einem bequemen Sessel in der Mitte einer Drehtrommel von 191 cm Höhe und 152 cm Durchmesser (Abb. 1). Die Trommel ist innen mit einem schwarz-weißen Streifenmuster ausgekleidet. Die Streifen erscheinen der Vp unter einem Sehwinkel von 6,9°. Die Trommel ist in beide Richtungen drehbar. Die Winkelgeschwindigkeit läßt sich in einem Bereich von 5° s<sup>-1</sup> bis 180° s<sup>-1</sup> stufenlos verändern. Die Registrierung der Winkelgeschwindigkeit erfolgt im 1. Kanal eines Elektronystagmographen der Firma Dr. Tönnies, Freiburg, indem bei jeder vollen Drehung der Trommel eine Zacke geschrieben wird. Die Streifen werden von einer Gleichstromlampe, die sich über dem Kopf der Vp befindet, ziemlich homogen ausgeleuchtet. In Augenhöhe beträgt die Leuchtdichte der weißen Streifen 65 asb, die der schwarzen Streifen 4 asb.

Um dem Auge einen sehr kurzen, zeitlich exakt definierten optokinetischen Reiz anbieten zu können, wird ein Photoverschluß (Typ Synchro-Compur-I-MX der Compur-Werke München) in die rechte Öffnung einer lichtdichten Gummischutzbrille eingeschraubt. Die linke Brillenöffnung wird abgedeckt. Die optokinetische Reizung erfolgt also am rechten Auge. (Bei orientierenden Versuchen mit Reizung des linken Auges wurden ähnliche Befunde gewonnen.)

Die Prüfung am Goldmann-Projektions-Perimeter ergab, daß bei geöffnetem Photoverschluß ein Gesichtsfeld von 60° Durchmesser übersehen wird.

Es können Reizzeiten bis zu einer Grenze von 0,0025 s eingestellt werden. Die Dauer der Exposition wird mit Hilfe eines Synchronblitzkontaktes registriert. Der Kontakt schließt, während der Verschluß zu etwa 85% geöffnet ist, einen Stromkreis, der über einen Widerstand mit dem 2. Kanal des Elektronystagmographen verbunden ist. Die Vp exponiert über einen pneumatischen Auslöser selbst.

### *b) Aufzeichnung der Augenbewegungen*

Die Augenbewegungen wurden mit Hilfe der Elektronystagmographie registriert. Die Ableitung der bei den Augenbewegungen auftretenden Potentialschwankungen

---

<sup>1</sup> Wir folgen dabei einem Vorschlag von G. A. Brecher (Oklahoma), der im Herbst 1968 an einer Diskussion unserer Untersuchungsergebnisse teilgenommen hat.

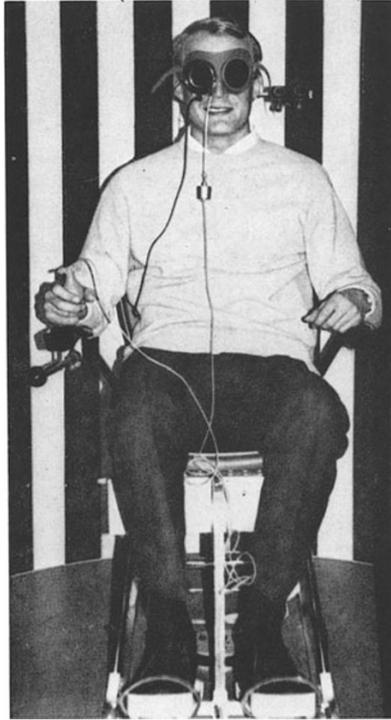


Abb.1. Anordnung zur Auslösung eines optokinetischen Kurzreinznystagmus (oKNy). Die Vp sitzt in einer optokinetischen Drehtrommel (hier geöffnet). Der Photoverschluß in der dicht abschließenden Brille wird pneumatisch von der Vp selbst ausgelöst

erfolgte mit Silber-Silberchlorid-Elektroden, die unmittelbar am temporalen Lidwinkel beider Augen angeklebt waren. Nach einer Wechselstromverstärkung mit einer Zeitkonstante von 0,3 s entsprechend einer unteren Grenzfrequenz  $f_u = 0,5$  Hz ( $-3$  dB) und einer oberen Grenzfrequenz  $f_o = 50$  Hz ( $-6$  dB) wurden die Potentialänderungen in Kanal 4 des Elektronystagmographen aufgezeichnet. Bei Vp G. K. wurden sämtliche, bei den anderen Vpn einige Versuche außerdem über einen Gleichstromverstärker mit einer oberen Grenzfrequenz  $f_o = 35$  Hz ( $-6$  dB) im 3. Kanal registriert. Es wurde so gepolt, daß Augenbewegungen nach rechts durch eine Auslenkung des Kurvenzuges nach oben zu erkennen sind. Der Papiervorschub betrug  $10 \text{ mm s}^{-1}$ .

### c) Versuchspersonen

Die Vpn mußten in der Lage sein, im Dunkeln unter der Versuchsbrille die Augen ruhig zu halten. Orientierende Untersuchungen wurden an 12 Personen durchgeführt. Von diesen wurden 6 Personen wegen dauernder spontaner Blickbewegungen und zwei wegen eines Spontannystagmus ausgeschieden. Bei einer der verbliebenen 4 Vpn trat unter den geschilderten Reizbedingungen bei 16 Versuchen nur einmal ein fraglicher oKNy auf. Es blieben also 3 geeignete Vpn übrig. Die

Vpn G. K. und G. S. sind gesund und besitzen normales Sehvermögen. Vp H. S. schielt seit der Kindheit einwärts. Er fixiert alternierend mit dem linken und dem rechten Auge. Der Schielwinkel beträgt  $11^\circ$  Konvergenz. Beide Augen erreichen die Sehschärfe 1,2. Es besteht eine anomale Schrichtungsgemeinschaft. Latenter Nystagmus ist nicht nachweisbar. Alle 3 Vpn wurden einer elektronystagmographischen Standarduntersuchung unterzogen. Sowohl auf längere optokinetische als auch auf vestibuläre Reize ergaben sich normale horizontale und vertikale Nystagmusabläufe.

#### *d) Versuchsablauf*

Die Vp befindet sich mit aufgesetzter Brille in der Trommel, die Expositionszeit ist eingestellt. Der Versuchsleiter stellt die gewünschte Richtung und Drehgeschwindigkeit der Trommel ein. Die Vp wird aufgefordert, ruhig geradeaus zu schauen, die Registrierung wird eingeschaltet. Einige Sekunden lang werden die in der Dunkelheit etwa spontan auftretenden Augenbewegungen aufgezeichnet. Dann erhält die Vp den Auftrag, den Verschuß auszulösen. Nach der Exposition wird mindestens 10 s lang registriert.

Bei unseren Versuchen hatten wir zwei Möglichkeiten, den optokinetischen Reiz zu variieren. Es konnte einmal die Winkelgeschwindigkeit des Streifenmusters geändert werden, zum anderen die Reizzeit.

Es wurden Versuchsserien durchgeführt. Die Reizzeiten betragen: 0,2; 0,1; 0,04; 0,02 und 0,01 s. Bei jeder dieser Reizzeiten wurde die Drehgeschwindigkeit von  $150^\circ \text{ s}^{-1}$  in Stufen von  $20^\circ \text{ s}^{-1}$  bis auf  $10^\circ \text{ s}^{-1}$  vermindert. Bei Reizzeiten von 0,2 s und 0,1 s wurde zusätzlich eine Streifengeschwindigkeit von  $5^\circ \text{ s}^{-1}$  dargeboten.

Nach jedem Versuch wurde eine Pause von mindestens 2 min eingelegt. Eine Versuchsserie dauerte im allgemeinen 1 Std.

Am Beginn und am Ende jeder Serie wurden Blickbewegungen zwischen zwei Punkten von  $15^\circ$  Abstand registriert, um die Amplitude des oKNy abschätzen zu können.

Die Versuche fanden an verschiedenen Tagen statt. Es wurde sowohl vormittags als auch nachmittags untersucht. Die Untersuchungen wurden abgebrochen, wenn die Vp ermüdete.

Die Vp wurde nach jedem Versuch gefragt, ob und in welche Richtung sie eine Bewegung des Reizmusters beobachtet habe. Zur Kontrolle dieser Angaben wurden auch Expositionen bei ruhig stehender Trommel durchgeführt.

#### *e) Auswertung der Kurven*

Als Reizeffekt wurden nur solche Kurvenausschläge angesehen, die innerhalb von 3 s nach Reizende auftraten, und deren Form sich eindeutig von den mehrere Sekunden vor und nach der Reizung aufgezeichneten Kurvenzügen abhob.

### **Ergebnisse**

#### *1. Ablauf des oKNy*

Bei unseren 644 Versuchen traten in 302 Fällen Augenbewegungen auf, die wir als Folge der optokinetischen Reizung angesehen haben. Die erste Augenbewegung nach Reizende war stets eine langsame Deviation in die Drehrichtung des Reizmusters. Bei 228 Versuchen schlossen sich dieser Deviation 1—4 Rucke in Gegenrichtung an (Abb. 2—4). Nur

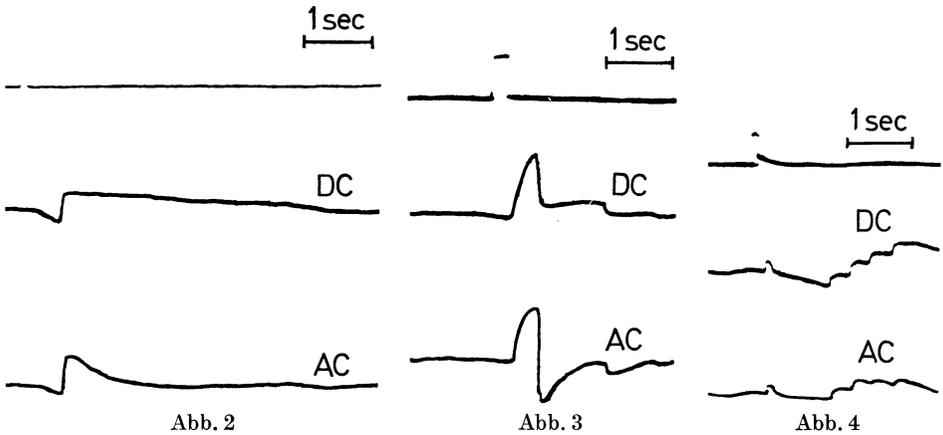


Abb. 2. oKNy der Vp H. S., nachdem das mit  $90^\circ \text{ s}^{-1}$  nach links bewegte Streifenmuster 0,1 s lang dargeboten war. Kurz nach Reizende setzt eine Deviation in Richtung des Streifenmusters, also nach links, ein, der ein entgegengerichteter Ruck folgt. Dann kehren die Augen langsam wieder in die Ruhelage zurück.  
In der obersten Kurve Reizmarkierung

Abb. 3. oKNy der Vp H. S., nachdem das mit  $90^\circ \text{ s}^{-1}$  nach rechts bewegte Streifenmuster 0,2 s lang dargeboten war. Unmittelbar nach Reizende erfolgt eine kräftige Deviation in Richtung der Streifenbewegung, also nach rechts. Dann kehren die Augen mit 3 Linksrucken wieder in ihre Ausgangslage zurück

Abb. 4. Einer Deviation nach links folgen 4 Rechtsrucke. — Die kleine Welle kurz nach Reizende entspricht einem Lidschlag. — Vp G. K., Reizzeit 0,04 s, Streifenbewegung mit  $150^\circ \text{ s}^{-1}$  nach links

bei 5 Versuchen beobachteten wir auch Rucke in Richtung der Streifenbewegung (Abb. 5). Möglicherweise hat es sich in diesen Fällen um von der Reizung unabhängige spontane Blickbewegungen gehandelt. Bei 74 Versuchen folgten der initialen Deviation keine Rucke, sondern die Augen kehrten langsam in ihre Ausgangsstellung zurück (Abb. 6).

## 2. Latenzzeit des oKNy

Um die Zeit nach Reizbeginn bis zum Einsetzen des oKNy zu bestimmen, konnten nur die nach Gleichstromverstärkung geschriebenen Kurven ausgewertet werden, da nur hier der langsame Beginn des oKNy deutlich zu erkennen war.

In 165 ausgewerteten Versuchen (103 Versuche bei Vp G. K., 31 Versuche bei Vp G. S. und 31 Versuche bei Vp H. S.) betrug die ermittelte Zeit 81mal 0,2 s, das entspricht knapp 50%.

In 9 Fällen bei einer Reizzeit von 0,2 s begannen die Augenbewegungen bereits nach 0,1 s, also noch während der Reizung. Bei diesen

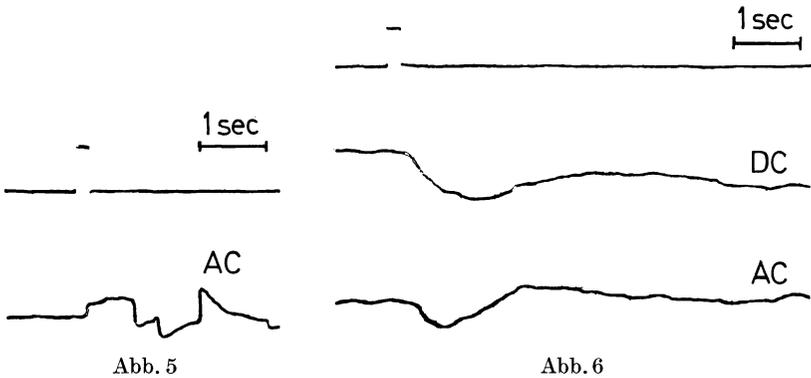


Abb. 5. oKNy, überlagert von 2 Rechtsrucken, die wahrscheinlich als spontane Blickbewegungen aufzufassen sind. — Vp H. S., Reizzeit 0,2 s, Streifenbewegung mit  $50^\circ \text{ s}^{-1}$  nach rechts

Abb. 6. Nach einer linksgerichteten ausgeprägten Deviation, die etwa 1 s dauert, kehren die Augen ohne Ruckbewegung in ihre Ausgangsstellung zurück. — Vp G. S., Reizzeit 0,2 s, Streifenbewegung mit  $50^\circ \text{ s}^{-1}$  nach links

9 Fällen ist der Beginn der registrierten langsamen Deviation also nicht als oKNy im Sinne der Definition, sondern als Augenfolgebewegung aufzufassen.

Aus Abb. 7 geht hervor, daß die Latenzzeiten bis zum Auftreten eines oKNy bei langer (0,2 s) und bei kurzer (0,04 s) Reizzeit eine ähnliche Verteilung aufweisen. Die Latenzzeit ist also nicht von der Reizzeit abhängig.

### 3. Die Abhängigkeit des oKNy von der Reizzeit

Bei Reizzeiten von 0,2 und 0,1 s tritt oKNy bei den 3 Vpn mit großer Regelmäßigkeit auf (Abb. 8—10). Die kürzeste Reizzeit, nach der ein oKNy beobachtet wurde, liegt bei 0,02 s. Die Vp G. K., bei der generell die stärkste Ruckbereitschaft bestand, zeigte bei dieser Reizzeit noch in 5 Versuchen oKNy, die Vpn H. S. und G. S. jeweils nur einmal.

Bei einer Reizzeit von 0,01 s konnten wir keinen oKNy mehr auslösen.

### 4. Abhängigkeit des oKNy von der Reizmustergerwindigkeit

Die minimale Reizmustergerwindigkeit, bei der gerade noch oKNy auftritt, liegt im Bereich von  $5^\circ \text{ s}^{-1}$ . Durch diese langsame Streifenbewegung konnte bei der Vp G. S. nie mehr, bei den Vpn H. S. und G. K. nur noch nach einer Reizzeit von 0,2 s ein oKNy ausgelöst werden. Bei den Vpn H. S. und G. S. (nicht dagegen bei Vp G. K.) führten mittlere Streifengeschwindigkeiten um  $70^\circ \text{ s}^{-1}$  häufiger zu oKNy als hohe

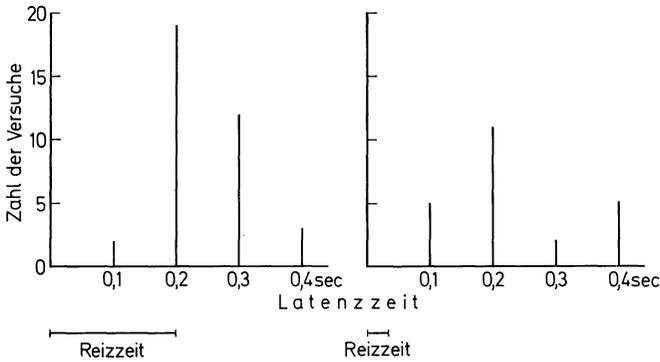


Abb. 7. Latenzzeit des oKNy, links bei einer Reizzeit von 0,2 s, rechts bei einer Reizzeit von 0,04 s. Die beiden Histogramme zeigen eine ähnliche Verteilung. Die Latenzzeit ist also nicht von der Reizzeit abhängig. — 36 Versuche bei Reizzeit 0,2 s, 29 Versuche bei Reizzeit 0,04 s. Vp G. K.

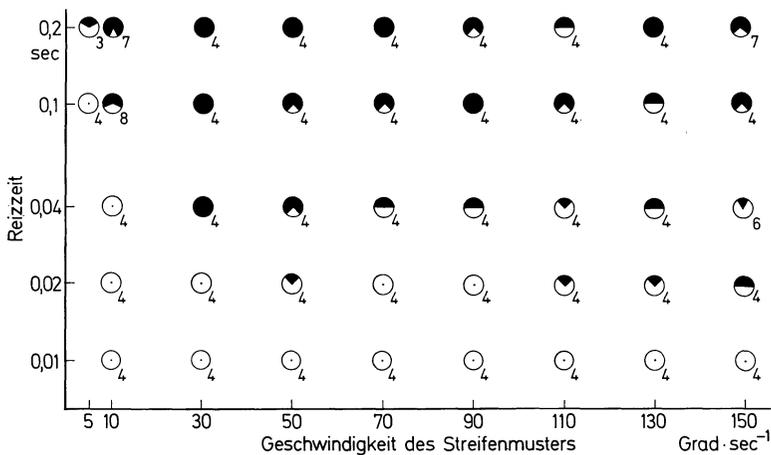


Abb. 8. Zusammenstellung aller bei der Vp G. K. durchgeführten Versuche. Die schwarze Fläche der Scheiben entspricht dem Anteil der Versuche, bei dem oKNy auftrat. Am Ort der Scheiben im Koordinatensystem sind Reizzeit und Streifen-geschwindigkeit zu erkennen. Neben den Scheiben ist die Anzahl der Versuche bei den verschiedenen Reizbedingungen angegeben

um 150° s<sup>-1</sup> (Abb. 8—10). Offenbar werden bei den hohen Drehgeschwindigkeiten die Konturen des Reizmusters auf der Netzhaut zu sehr „verwischt“.

5. Abhängigkeit des oKNy von der Bildverschiebung über die Netzhaut

Die Bildwanderung über die Netzhaut läßt sich bei unserer Versuchsanordnung aus den beiden Faktoren Reizzeit und Reizmuster-geschwindigkeit durch Multiplikation in Winkelgraden berechnen und stellt somit

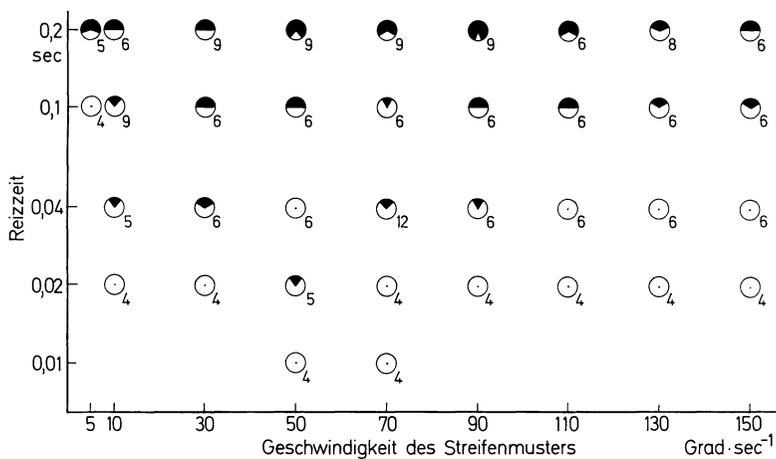


Abb. 9. oKNy der Vp H. S. Erklärung bei Abb. 8

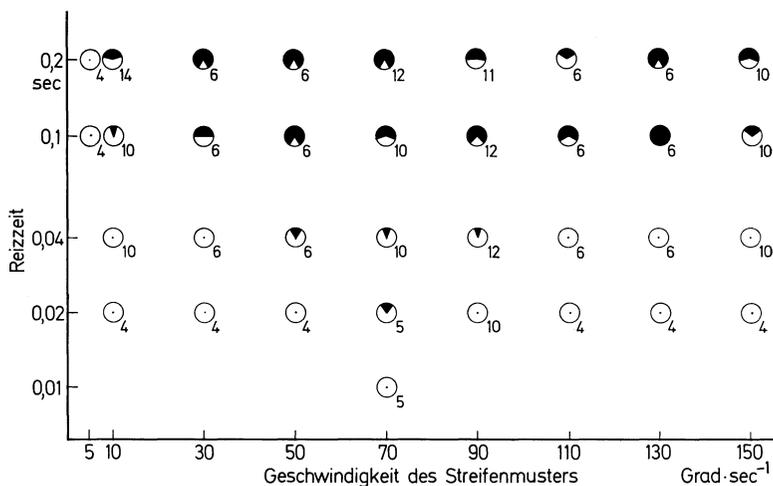


Abb. 10. oKNy der Vp G. S. Erklärung bei Abb. 8

eine gemeinsame Größe der Auslösebedingungen dar. Aus den Abb. 8—10 ergibt sich, daß die minimale Bildverschiebung über die Netzhaut, nach der gerade noch oKNy auftrat, im Bereich von  $1—2^\circ$  liegt. Dies traf bei allen Darbietungszeiten zwischen 0,2 und 0,02 s zu. Bei Vp H. S. ließ sich in einem Fall oKNy sogar noch auslösen, nachdem sich das Streifenmuster nur um  $0,4^\circ$  verschoben hatte. Dies war der Fall bei einer Reizzeit von 0,04 s und einer Streifengeschwindigkeit von  $10^\circ \text{ s}^{-1}$ .

## 6. Seitendifferenz beim Auftreten des oKNy

Bei 2 Vpn fanden wir zunächst, daß die Nystagmusrucke zu einer Seite hin leichter auslösbar waren. Bei Nachuntersuchungen konnte ein Überwiegen des Rechts- oder Linksnystagmus aber nicht sicher bestätigt werden.

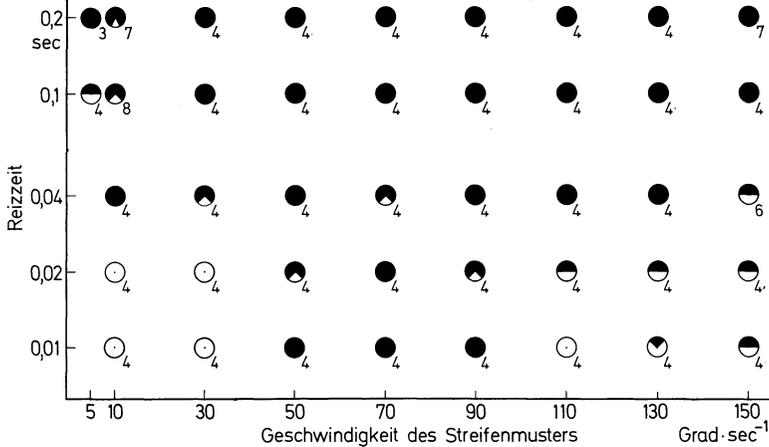


Abb. 11. Die schwarze Fläche der Scheiben entspricht dem Anteil der Versuche, bei dem Bewegung wahrgenommen wurde. Darstellung aller bei der Vp G. K. durchgeführten Versuche wie in Abb. 8

## 7. Bewegungswahrnehmung während kurzer optokinetischer Reizung

Bei unseren Versuchen erfolgte ein oKNy im allgemeinen nur dann, wenn die Vp eine Bewegung des Streifenmusters wahrgenommen hatte. Nur in 5 Fällen beobachteten wir einen deutlichen oKNy, obwohl die Vp anschließend auf Befragen angab, sie habe keine sichere Bewegung des Streifenmusters erkennen können. Dies war bei Vp G. K. insgesamt 4mal, bei Vp H. S. 1mal der Fall.

Umgekehrt kam es häufig vor, daß die Vp zwar eine Bewegung des Streifenmusters wahrgenommen hatte, oKNy jedoch nicht auftrat. Die Schwelle für die Bewegungswahrnehmung lag also im allgemeinen etwas niedriger als für den oKNy. Vergleicht man die Abb. 11—13, auf denen die Häufigkeit der Bewegungswahrnehmung bei den einzelnen Versuchsbedingungen dargestellt ist, mit den Abb. 8—10, aus denen die Häufigkeit des oKNy bei denselben Versuchen hervorgeht, so erkennt man, daß die beiden Schwellen nicht weit auseinander liegen. Bewegung wurde im allgemeinen wahrgenommen, wenn die Bildwanderung auf der Netzhaut  $0,5^\circ$  oder mehr betrug.

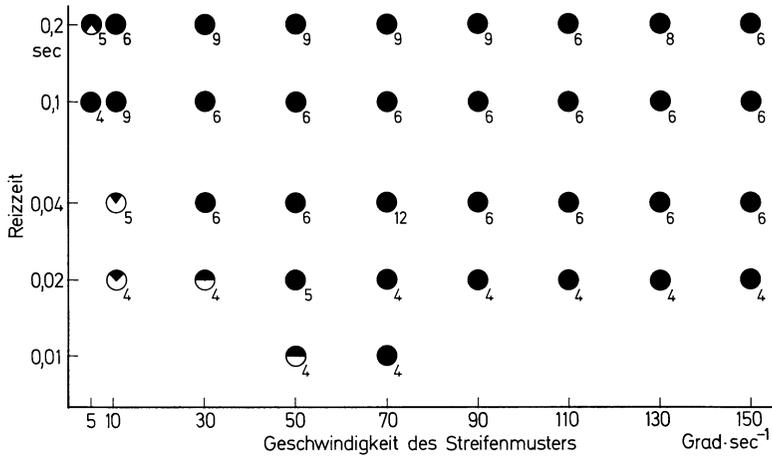


Abb. 12. Bewegungswahrnehmung bei allen Versuchen der Vp H. S. vgl. Abb. 9

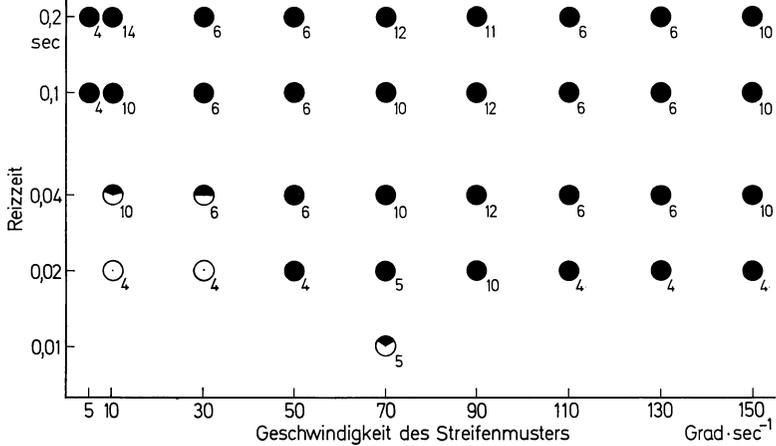


Abb. 13. Bewegungswahrnehmung bei allen Versuchen der Vp G. S. vgl. Abb. 10

Orientierende Versuche zeigten, daß bei kurzen Darbietungszeiten (unter 0,2 s) die Geschwindigkeit der Streifenbewegung den Vpn subjektiv höher erschien als bei Exposition über mehrere Sekunden. Für genauere Geschwindigkeitsschätzungen war unsere Versuchsanordnung nicht geeignet, da der Verschluß als unbewegliche Kontur im äußeren Gesichtsfeld der Vp die Geschwindigkeitsempfindung beeinflusste.

### Besprechung

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß ein bewegtes Streifenmuster auch bei sehr kurzer Darbietungszeit nystagmische Augenbewegungen auslösen kann. Die Exposition des bewegten Streifenmusters endete in unseren Versuchen vor Beginn der Augenbewegungen. Die optokinetische Reizung erfolgte also innerhalb der Latenzzeit des optokinetischen Nystagmus am *ruhenden Auge*, so daß die Winkelgeschwindigkeit des Netzhautbildes der angebotenen Streifenbewegung genau entsprach.

Bei der Erforschung des zentralnervösen optokinetischen Reglers bietet die von uns angewandte Untersuchungstechnik den Vorteil, daß die Eingangsgröße an der Netzhaut genau bekannt ist.

Ein ähnliches Prinzip wird auch bei Erforschung der Eigenschaften technischer Regler angewandt, wenn die „Impulsantwort“ studiert oder der Regelkreis „aufgeschnitten“ wird.

Bei Darbietung bewegter Konturen über *längere Zeit* ist dagegen die Geschwindigkeit der retinalen Bildwanderung nur durch Subtraktion der Augapfelgeschwindigkeit in der langsamen Nystagmusphase von der Reizmustergeschwindigkeit zu ermitteln. Da die Augapfelgeschwindigkeit sich laufend ändert und nicht sehr genau gemessen werden kann, ist es dann außerordentlich schwierig, den optokinetischen Regler mit einer definierten Eingangsgröße zu untersuchen.

Ein weiterer Vorteil unserer Anordnung besteht darin, daß die Ergebnisse nicht so stark von Lern- und Resonanzphänomenen geprägt sind, wie bei der herkömmlichen Untersuchung des optokinetischen Nystagmus.

Da die in der vorliegenden Arbeit behandelten Augenbewegungen zwar einer optokinetischen Reizung, nicht aber einem optokinetischen Nystagmus folgen, erschien es nicht zweckmäßig, sie als „optokinetischen Nachnystagmus“ zu bezeichnen. Statt dessen wurde für sie der Begriff „*optokinetischer Kurzreiznystagmus*“ (oKNy) geprägt.

Die Frage, ob der optokinetische Nystagmus mit einer langsamen oder raschen Phase beginne, wird schon lange diskutiert. Aso (1953) und Jung (1953) vertraten die Auffassung, daß der optokinetische Nystagmus im Gegensatz zum vestibulären Nystagmus mit einer raschen, schlagfeldbestimmenden Bewegung beginne, die von Jung als „Spähbewegung zur Erfassung im lateralen Gesichtsfeld auftauchender Sehdinge“ gedeutet wurde. Frenzel (1967) schließt nach Untersuchungen mit seinem Optokinoskop, daß der optokinetische Nystagmus mit einer langsamen Augenbewegung beginne. Uber (1959) fand, daß der optokinetische Nystagmus sowohl mit einer langsamen als auch mit einer raschen Phase beginnen kann. Eine initiale langsame Phase kommt sehr viel häufiger vor (106mal bei 114 ausgewerteten elektronystagmographischen Kurven).

Unsere Untersuchungen sprechen dafür, daß die Primärphase des oKNy stets eine langsame Deviation ist.

Der Primärphase, die immer in Richtung des Streifenmusters abläuft, folgen häufig 1—5 Rucke in Gegenrichtung. Eine langsame Phase ist zwischen den einzelnen Rucken nicht immer deutlich zu erkennen. Der oKNy verläuft nicht sehr konstant. Unterschiede traten von Vp zu Vp auf, jedoch wechselte das Bild auch bei derselben Vp oft trotz äußerlich konstanter Versuchsbedingungen. Als modifizierender Faktor spielt hier wahrscheinlich die Aufmerksamkeit der Vp eine wichtige Rolle. Auf die Bedeutung des Wachzustandes für die Auslösung des optokinetischen Nachnystagmus haben auch schon Mackensen, Kommerell und Silbereisen (1961) sowie Krieger und Bender (1957), die mit Affen experimentierten, hingewiesen.

Auf eine *genaue* Ausmessung der Amplitude und damit auch der Geschwindigkeit der Augenbewegungen haben wir bewußt verzichtet, da durch die häufig wechselnde retinale Beleuchtungsstärke mit einer laufenden Änderung des Ruhepotentials, welches die Grundlage für die Elektronystagmographie darstellt, zu rechnen war (Arden u. Mitarb., Mackensen u. Mitarb., Pasik u. Mitarb.).

Der Vergleich mit vor und nach den Versuchsserien durchgeführten Eichbewegungen ergab, daß die Amplituden der registrierten raschen Phasen des oKNy im Bereich zwischen 2 und 7° liegen. Die Geschwindigkeit der initialen langsamen Phasen des oKNy war sehr variabel und schien nicht in einer deutlichen Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Reizmusters zu stehen. Dieser wichtigen Frage werden wir in einer späteren Arbeit mit einer geeigneteren Meßmethode noch einmal nachgehen.

Das Hauptanliegen dieser Arbeit ist es, die untere Reizschwelle für die Auslösung des oKNy zu ermitteln.

Die Reizbedingungen wurden nach 2 Parametern, Reizzeit und Reizmuster­geschwindigkeit, modifiziert. Als *kürzeste Reizzeit*, bei der eben noch oKNy auftrat, fanden wir bei allen 3 Vpn 0,02 s.

Die *minimale Reizmuster­geschwindigkeit* für die Auslösung eines oKNy liegt bei 5—10° s<sup>-1</sup>.

Das Ausmaß der *Bildverschiebung über die Netzhaut* bei einer bestimmten Reizzeit läßt sich durch Multiplikation mit der Reizmuster­geschwindigkeit in Winkelgraden berechnen und stellt somit eine gemeinsame Größe der Auslösebedingungen dar. Aus den Abb. 8—10 ergibt sich, daß das Bild des Streifenmusters mindestens 0,4—2° über die Netzhaut verschoben werden mußte, um oKNy auslösen zu können. Dies galt für Expositionszeiten zwischen 0,02 und 0,2 s sowie bei Reizmuster­geschwindigkeiten zwischen 5 und 70° s<sup>-1</sup>. Eine Verringerung der Geschwindigkeit des Bildes auf der Netzhaut mußte also durch entsprechend längere

Darbietung ausgeglichen werden. Diese Beziehung gilt offenbar nicht bei sehr hohen Streifengeschwindigkeiten, da dann der Reiz zu „verwischt“ wahrgenommen wird. Diese obere Reizschwelle war besonders deutlich bei den Vpn H. S. und G. S.

Bei sehr kurzer Reizzeit und langsamer Reizmustergeschwindigkeit ist es vielleicht für die Auslösung eines oKNy von Bedeutung, ob während der Reizung eine Schwarz-Weiß-Grenze des Streifenmusters über die Macula gelaufen ist. Bei einer Drehgeschwindigkeit von  $10^\circ \text{ s}^{-1}$  und einer Reizzeit von 0,04 s beträgt die retinale Bildverschiebung nur  $0,4^\circ$ , so daß bei einer Streifenbreite von  $6,9^\circ$  in der funktionell besonders hochwertigen Netzhautmitte je nach dem Zeitpunkt der Verschlussöffnung sehr unterschiedliche Reize zustande kommen. Dies könnte neben der wechselnden Aufmerksamkeitszuwendung der Vp als Erklärung für die unterschiedliche Ausprägung des oKNy herangezogen werden.

Bei der herkömmlichen Untersuchung des optokinetischen Nystagmus ist es von geringer Bedeutung, ob bewegte Konturen in der Peripherie oder im Zentrum der Netzhaut dargeboten werden (Kornhuber). Da unsere Untersuchungen aber im Bereich der unteren Reizschwelle des optokinetischen Systems durchgeführt wurden, könnte der Netzhautort doch von Bedeutung für die Auslösung des oKNy sein.

oKNy trat im allgemeinen nur auf, wenn die Vp eine Bewegung des Streifenmusters wahrgenommen hatte. Dies weist auf die Bedeutung der Hirnrinde für die optische Auslösung von Augenbewegungen hin. Die Schwelle für Bewegungswahrnehmung lag bei einer Verschiebung des Netzhautbildes von etwa  $0,5^\circ$ , also nur wenig niedriger als die Schwelle für oKNy.

Eine konstant eingestellte Geschwindigkeit des Streifenmusters schätzten die Vpn nach einer Beobachtungszeit von nur 0,2 s höher ein als während einer Darbietung über mehrere Sekunden. Dies beruht offenbar darauf, daß bei sehr kurzer Exposition, solange der Augapfel noch ruhig steht, die Geschwindigkeitswahrnehmung allein durch die Bildverschiebung über die Netzhaut hervorgerufen wird, während bei längerer Exposition die Bildverschiebung über die Netzhaut durch den optokinetischen Nystagmus herabgesetzt wird und die Geschwindigkeitswahrnehmung vor allem durch Beurteilung der Augapfelgeschwindigkeit in der langsamen Nystagmusphase erfolgt. — Unsere Befunde bestätigen Untersuchungen von Körner und Dichgans, bei denen sie feststellten, daß sich ein Streifenmuster schneller zu bewegen scheint, wenn der optokinetische Nystagmus durch Abwendung der Aufmerksamkeit gehemmt und dadurch die retinale Bildwanderung verstärkt wird.

Die von uns beobachteten Augenbewegungen sind mit der alten Theorie, die den optokinetischen Nystagmus als eine Aneinanderreihung von Folge- und Einstellbewegungen deutete, unvereinbar. Vielmehr muß angenommen werden, daß der Nystagmus als eine Bewegungsschablone

im Zentralnervensystem vorgebildet ist, die sowohl durch optokinetische als auch labyrinthäre Reize angestoßen werden kann (vgl. Mackensen, 1959, und Adams).

### Literatur

- Adams, A.: Zur Frage der optokinetischen Erregungsnachdauer. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal.* **161**, 334—340 (1959).
- Arden, G. B., Kelrey, J. H.: Changes produced by light in the standing potential of the human eye. *J. Physiol. (Lond.)* **161**, 189—204 (1962).
- Aso, J.: Analytic observations on the labyrinthine nystagmus by electronystagmography. The relation of the rotational nystagmus with the vision. *Niigata Univ. School of Med. Acta Med. Biol.* **1**, 295 (1953).
- Braak, J. W. G., ter: Untersuchungen über optokinetischen Nystagmus. *Arch. néerl. Physiol.* **21**, 309—376 (1936).
- Frenzel, H.: Die Geschwindigkeit der Primärphase des optokinetischen Nystagmus. *Acta oto-laryng. (Stockh.)* **63**, 222—228 (1967).
- Jung, R.: Nystagmographie. Zur Physiologie und Pathologie des optisch-vestibulären Systems beim Menschen. In: *Handbuch der inneren Medizin*, begr. v. L. Mohr und R. Staehelin, herausgeg. v. G. v. Bergmann, W. Frey u. H. Schwiegek, 4. Aufl., Bd. V/1, S. 1325. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1953.
- Körner, F., Dichgans, J.: Bewegungswahrnehmung, optokinetischer Nystagmus und retinale Bildwanderung. *Albrecht v. Graefes Arch. klin. exp. Ophthal.* **174**, 34—48 (1967).
- Kornhuber, H.: Physiologie und Klinik des zentralvestibulären Systems. In: *Kurzgefaßtes Handbuch der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*, herausgeg. v. J. Berendes, R. Link und F. Zöllner, Bd. III, Teil 3, S. 2227, Stuttgart: Thieme 1966.
- Krieger, H. P., Bender, M. B.: Optokinetic afternystagmus in the monkey. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **8**, 97—106 (1956).
- Mackensen, G.: Zur Theorie des optokinetischen Nystagmus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **132**, 769—780 (1958).
- Kommerell, G., Silbereisen, D.: Untersuchungen zur Physiologie des optokinetischen Nachnystagmus. II. Mitt. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal.* **163**, 170—187 (1961).
- Stehle, R., Wright, U.: Änderungen des Ruhepotentials bei Netzhaut- und Aderhauterkrankungen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **154**, 422—430 (1969).
- Ohm, J.: Zur Augenzitterkunde. 7. Mitt. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthal.* **118**, 103—117 (1927).
- Pasik, P., Pasik, T., Bender, M. B.: Recovery of the electrooculogram after total ablation of the retina in monkey. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.* **19**, 291—297 (1965).
- Thiele, H.: Der optokinetische Kurzreiznystagmus. Diss. Freiburg i. Br., 1969.
- Über, J.: Das Verhalten des optokinetischen Nystagmus bei langer Reizdauer. Diss. Tübingen (1959).

Oberarzt Dr. G. Kommerell  
 Universitäts-Augenklinik  
 7800 Freiburg i. Br., Killianstraße