

Schwankungen der Akkommodation des menschlichen Auges bei mon- und binokularer Beobachtung

Helmut Krueger

Institut für Arbeitsphysiologie der Technischen Universität München (Direktor: Prof. Dr. Müller-Limmroth), Barbarastr. 16, D-8000 München 50, Bundesrepublik Deutschland

Fluctuations in the Accommodation of the Human Eye to Mono- and Binocular Fixation

Summary. Using an objective infrared technique, the deviation of the mean of accommodation during mono- and binocular fixation and the degree of fluctuation were measured for four male probands.

1. For two men, the additional impulse of convergence in binocular vision reduced deviation and fluctuation.
2. In every case, fluctuation and deviation increased with increasing theoretical value of accommodation.
3. Increased values of accommodation were linked to greater fluctuations so that loss of image quality could be somewhat compensated for.

Zusammenfassung. Für 4 Probanden wurde mit einer objektiven Infrarottechnik unter mon- und binokularer Fixation die Abweichung der mittleren Akkommodationslage vom Sollwert sowie die Größe der Fluktuationen bestimmt.

1. Bei 2 Personen verminderte der zusätzliche Konvergenzreiz bei binokularem Sehen die Deviation und die Fluktuation.
2. Fluktuation und Deviation wuchsen in jedem Fall mit zunehmendem Akkommodations Sollwert.
3. Größere Werte der Deviation waren mit stärkeren Fluktuationen verbunden, so daß eine damit verbundene Verschlechterung der Bildschärfe teilweise kompensiert werden könnte.

1. Einleitung

Die Brechkraft der Augenmedien unterliegt selbst bei fester Fixationsentfernung Mikrofluktationen. Erste Untersuchungen dieser Akkommodationsschwankungen gehen auf Arnulf u. Mitarb. (1955, 1960) zurück. Sie fanden Werte, die mit zunehmender Ak-

kommodation anstiegen. Das Minimum lag im Bereich der Akkommodationsruhelage, für die Campbell et al. (1959) sogar vernachlässigbare Werte angeben. Der Gipfel des Energiespektrums fällt in den Bereich zwischen 0,0 und 0,5 Hz (Campbell et al., 1959). Für große Pupillenweiten tritt ein Nebengipfel bei 2 Hz hinzu.

Während die Akkommodationsdynamik wesentlich von der schneller verlaufenden Vergenzeinstellung bestimmt wird, kann davon ausgegangen werden, daß die Kopplung im Bereich der statischen Endeinstellung lockerer ist (Krueger, 1968). Weiteren Aufschluß über den gegenseitigen Einfluß von Vergenz und Akkommodation können die Fluktuationen der Akkommodation bei mon- und binokularer Beobachtung geben. Akkommodationsschwankungen müssen die Sehschärfe senken, sobald sie den Bereich der optischen Schärfentiefe überschreiten. Ihre medikamentöse Unterdrückung verbessert die monochromatische Sehschärfe (Millodot, 1967). Damit gewinnt die Kenntnis der Fluktuationen ergophthalmologisches Interesse.

2. Methodik

Die Akkommodation des Auges wurde mit einem kontinuierlich (50 Meßwerte/s) arbeitenden Optometer mit einer Genauigkeit von 0,06 dpt aufgezeichnet. Das Gerät arbeitet mit Infrarotlicht (nähere Angaben siehe bei Krueger, 1973). Sichtbare Testzeichen werden mit einem Kaltlichtspiegel in den Meßstrahlengang eingeblendet. Die Probanden mußten ohne zwischengesetztes optisches System direkt einen hellen Punkt ($10' \phi$) auf einem dunkleren Umfeld ($9,5^\circ \phi$) monokular bzw. binokular fixieren. Der Kontrast betrug $K = 0,78$. 6 Intervalle von 10s zwischen jeweils 2 Lidschlägen wurden ausgewertet. Der Mittelwert ergibt die mittlere Akkommodationseinstellung und die doppelte Standardabweichung ($2 S_x$) den Schwankungsbereich der Akkommodation in dem 95 % aller Werte liegen.

Die rechtsichtigen Probanden im Alter von 24, 29, 32 und 40 Jahren verfügten über ein unauffälliges Binokularsehen. Die nach der subjektiven Methode von Mizukawa et al. (1963) bestimmte Akkommodationsruhelage betrug $-0,5, +0,5, 0,0$ bzw. $-0,25$ dpt.

3. Ergebnisse

3.1 Akkommodationsmittelwert (A_m)

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Probanden zusammengestellt. Die Werte von A_m steigen für alle Probanden linear mit dem Wert des Akkommodationsreizes. Die Abweichung in Richtung zu geringeren Werten reicht von 3 % für Person C bis zu 25 % für Person D (40 Jahre). Während B und D mon- und binokular gleich gut akkommodieren liegen die monokularen Werte von A und C systematisch niedriger als die binokularen.

3.2 Akkommodationsschwankung (A_s)

Die durch die doppelte Standardabweichung gekennzeichnete A_s läßt zwei unterschiedliche Verhaltensweisen erkennen. Den beiden Personen A und C mit unterschiedlicher A_s für

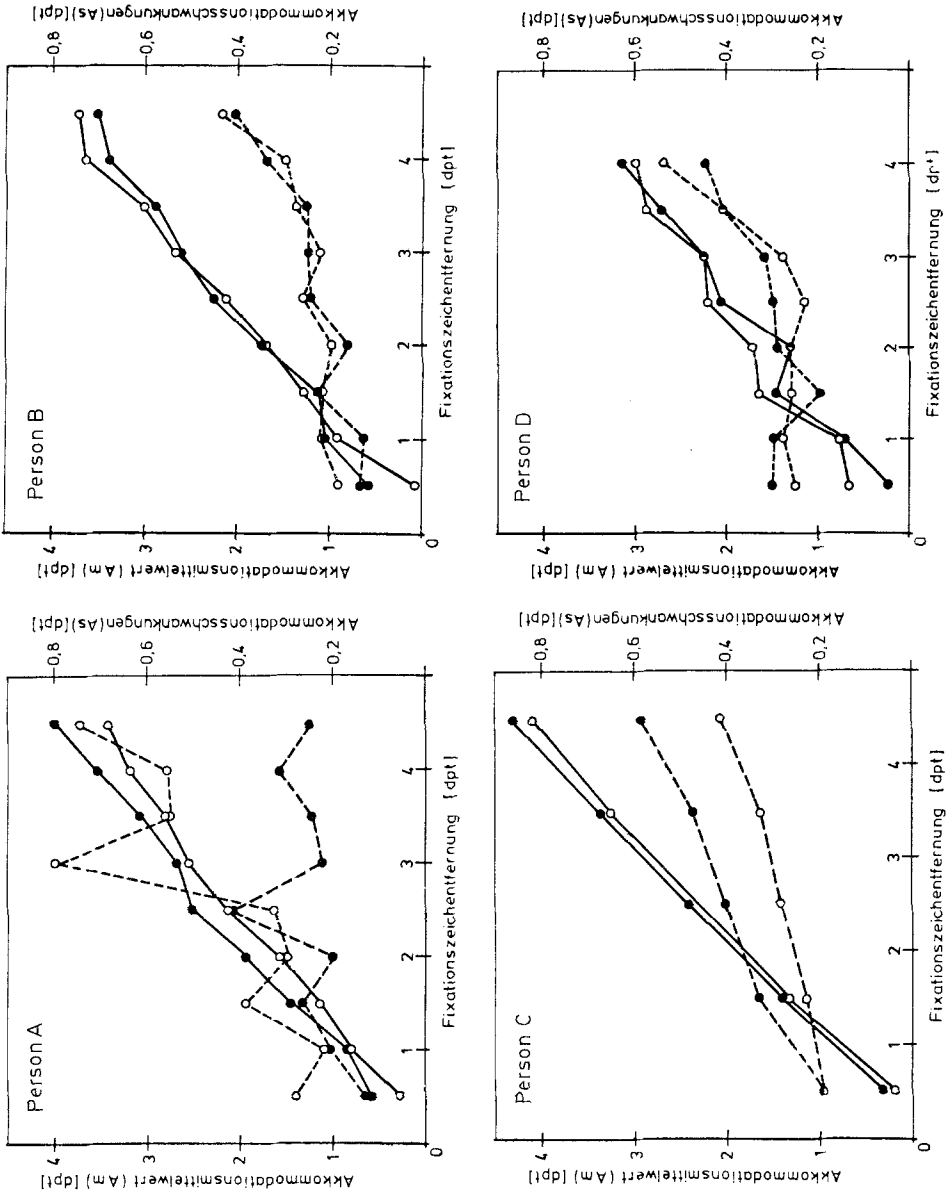


Abb. 1. Akkommodationsmittelwert A_m (○) und Akkommodationschwankung A_s (---) bei mon- (●) und binokularer (○) Beobachtung der Fixationsmarke für vier Personen (A, B, C, D). Altersangabe s. Text

mon- und binokulare Beobachtung stehen die beiden andern Probanden mit ähnlichen Werten für beide Fixationsarten gegenüber. Bei A und C nimmt A_s von gleichen Werten ausgehend mit zunehmender Akkommodation in erster Näherung für beide Beobachtungsarten linear zu. Für monokulares Sehen sind es 0,13 bzw. 0,1 dpt/dpt. Die entsprechenden binokularen Werte sind 0,03 bzw. 0,05 dpt/dpt. Neben der relativ guten Übereinstimmung von mon- und binokularen Werten unterscheiden sich die Kurven der Probanden B und C auch durch einen anderen Verlauf. A_s steigt bis zu einem Akkommodationswert von 3,5 bzw. 2,5 dpt mit einer Änderung von 0,02 bis 0,04 bzw. 0,0 dpt/dpt nur langsam oder gar nicht an. Jede weitere Steigerung des Akkommodationsreizes führt dann allerdings zu einer deutlichen Zunahme von A_s (0,15 bzw. 0,26–0,48 dpt/dpt). Alle A_s der 40-jährigen Person liegen deutlich über denjenigen der drei anderen.

4. Diskussion

Die Akkommodation soll ein scharfes Netzhautbild bei unterschiedlichen Sehentfernungen gewährleisten. Die Regelgröße für den Regelkreis ist damit die Schärfe des Retinabildes. Da in einem Regelkreis die verstärkte Sollwertabweichung zur Regelung herangezogen wird, bleibt die beobachtete Akkommodationsmittellage hinter dem idealen Sollwert zurück. Wird die Akkommodationsruhelage als Nullpunkt angenommen, bedeutet dieses eine mit der Akkommodationsanforderung zunehmende Deviation. Sie kann bei allen Probanden beobachtet werden. Am größten ist sie für Person D (40a). Bei dieser ist oberhalb 2 dpt die mittlere Akkommodationsleistung trotz ausreichender Akkommodationsbreite (5,5 dpt) vermindert.

Neben der Bildschärfe findet auch die Fusion über die Kopplung von Konvergenz und Akkommodation Eingang in den Akkommodationsregelkreis. Allerdings führt der Fusionsreiz nur bei zwei Personen (A,C) zu einer Verbesserung der Akkommodationsmittellage. Die mittlere Bildschärfe steigt. B und D lassen keine Verbesserung der binokularen gegenüber der monokularen Einstellung erkennen. Die Deviation der Akkommodation reicht als Regelgröße aus.

Bei der Betrachtung des Regelkreises bereitet die Tatsache Schwierigkeiten, daß es kein einheitliches eindimensionales Maß für den Begriff Bildschärfe gibt. Das Kriterium hängt vom Maßstab der Bildbewertung ab. Unter Umständen wird nur soweit akkommodiert, als es für die Erkennung der wichtigsten Details vonnöten erscheint. Bei der Verwendung von Gittern sinken die Abweichungen vom geforderten Sollwert mit steigender Ortsfrequenz des Gitters (Charman et al., 1977). Im hohen Ortsfrequenzbereich wirkt sich eine Defokussierung stärker aus. Damit wird eine Quantifizierung erheblich erschwert. In diesem Zusammenhang könnten den Akkommodationschwankungen, die das Maß der optischen Schärfentiefe überschreiten, eine doppelte Bedeutung zukommen. Einmal verbessern sie kurzfristig die Akkommodation in Richtung optimaler Akkommodationswert. Das Ausmaß der Schwankungen ist der Deviation angepaßt. A und C besitzen bei schlechterer monokularer Akkommodation im Vergleich zum binokularen Fall auch größere Werte von A_s . Im gleichen Sinn ist die höhere Deviation der Person D auch mit größeren Werten von A_s verbunden, die damit einen Ausgleich bewirken. Zum anderen können die Fluktuationen bei dynamischen Akkommodationsvermögen über die Richtung der Akkommodations-

sollwertänderungen informieren, die auch bei monokularer Beobachtung richtig erkannt wird (Allen, 1955). Die zum Akkommodationsmittelwert symmetrischen Schwankungen besitzen bezüglich der Bildqualität wegen der Deviation keine Symmetrie. Positive Anteile verbessern die mittlere Qualität, negative verschlechtern sie. Über das Zeitverhalten gibt das verwendete Maß der Fluktuation keine Auskunft. Qualitativ läßt sich feststellen, daß die Schwankungen der Person D niederfrequenter sind, als diejenigen der andern.

Primär werden die über die optische Schärfentiefe hinausgehenden Fluktuationen der Akkommodation die Sehschärfe herabsetzen. Geht man von der Tatsache aus, daß für die Regelung der Akkommodation eine bestimmte Regelabweichung notwendig ist, sobald die Akkommodationsruhelage verlassen ist, können die Schwankungen aber andererseits eine Verbesserung der Sehleistung bewirken. Die Zunahme der Fluktuation mit wachsender Deviation könnte dafür sprechen.

Literatur

- Allen, M.J.: The stimulus of accommodation. *Am. J. Optom.* 32, 422–431 (1955)
- Arnulf, A., Dupuy, O.: Contribution a l'étude des microfluctuations d'accommodation de l'oeil. *Revue d'Optique*, 39, 195–208 (1960)
- Arnulf, A., Dupuy, O., Flamant, F.: Les microfluctuations d'accommodation de l'oeil. *Ann. Opt. ocul.* 3, 109–118 (1955)
- Campbell, F.W., Robson, J.G., Westheimer, G.: Fluctuations under steady viewing conditions. *J. of. Physiol.* 145, 579–594 (1959)
- Charman, W.N., Tucker, J.: Dependence of accommodatio response on the spatial frequency spectrum of the observed object. *Vision Res.* 17, 129–139 (1977)
- Krueger, H.: An apparatus for continuous, objective measurement of refraction of the human eye. *Optica acta*, 20, 277–285 (1973)
- Krueger, H.: Untersuchungen zum Konvergenz-Akkommodatio-Pupillenregelkreis des menschlichen Auges mit einem kontinuierlichen aufzeichnenden Pupillo- und Akkommodometer. Dissertation, München 1968
- Millodot, M.: Effect des microfluctuations de l'accommodation sur l'acuité visuelle. *Vision Res.*, 8, 73–80 (1968)
- Mizukawa, T., Nakabayashi, M., Manabe, R.: Studies on accommodation. *Jap. J. Ophthal.* 7, 29–36 (1963)

Eingegangen am 9. September 1977