
Aspekte belastungsinduzierter Veränderung der visuellen Leistungsfähigkeit am Beispiel der Sehschärfe

G. Jendrusch ¹, D. Heiligensetzer ², B. Lingelbach ², H. Heck (Projektleiter) ¹

¹ Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl für Sportmedizin

² Fachhochschule Aalen

Institut für Augenoptik

VF 0407/06/08/98

1 Problem

Die Sehschärfe (das räumliche Auflösungsvermögen) – als eine wesentliche Grundvoraussetzung für eine optimale visuelle Informationsaufnahme – spielt in vielen Sportarten eine leistungsbeeinflussende Rolle (BEALS et al., 1971; MESTER et al., 1983; MESTER, 1988; JENDRUSCH, 1995; SCHNELL, 1996; JENDRUSCH et al., 1998 u.a.).

Im Gegensatz zu energetischen, thermodynamischen und funktionellen Veränderungen durch körperliche Aktivität, z.B. im Bereich der Muskulatur (Dehnfähigkeit, Kontraktilität etc.), die allesamt seit langem bekannt sind und folglich im Trainingsalltag bereits Berücksichtigung finden, werden (mögliche) Veränderungen im Bereich der Seh- und Wahrnehmungsleistung bisher kaum thematisiert.

Auf der anderen Seite sind beanspruchungsinduzierte Veränderungen im visuellen Bereich, z.B. im Hornhautstoffwechsel seit langem bekannt (siehe Zusammenstellung in SCHNELL, 1996).

Unter Sehschärfe oder räumlichem Auflösungsvermögen wird die Fähigkeit des Auges verstanden, zwei eng benachbarte Objekte (Punkte, Linien etc.) auch räumlich getrennt voneinander zu erkennen. Die zentrale Sehschärfe, d.h. die Sehschärfe an der Stelle des schärfsten Sehens auf der Netzhaut der Augen (unter photopischen Bedingungen die sog. Fovea centralis), wird als Visus bezeichnet.

Bisherige Untersuchungen

Der Einfluss körperlicher Belastung auf die Statische Sehschärfe wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben: KRESTOWNIKOW (1953) berichtet von Untersuchungen von KRAWKOW (1936), der bei Studenten eine Sehschärfeabnahme nach 1500-m- und 2000-m-Läufen feststellte, die als „Ermüdungseffekt“ interpretiert wird.

Sehschärfeminderungen werden auch von WATANABE (1983) während 15-minütigen fahrradergometrischen Belastungen beschrieben. Danach nimmt die Sehschärfe in der Anfangsphase der Belastung signifikant gegenüber dem Ausgangswert vor Belastung ab; im weiteren Verlauf der Belastung sowie in der Nachbelastungszeit war eine lineare und progressive Steigerung der Statischen Sehschärfe bis über das Ausgangsniveau zu beobachten.

ISHIGAKI (1988) untersuchte an zehn männlichen Studenten die Veränderung der Statischen Sehschärfe (*unter mesopischen Beleuchtungsbedingungen*) nach einer 15-minütigen Fahrradergometrie und im Verlauf bis zu 30 Minuten nach dem Belastungsabbruch. Danach nimmt die Sehschärfe belastungsabhängig signifikant ab, d.h. dass mit steigender Belastung (bei 20 %, 50 % und 80 % der individuellen VO_{2max}) die Sehschärfeabnahme größer wird. Der Tiefpunkt wird jeweils direkt nach der Belastung erreicht. Im Verlauf der Nachbelastungszeit (Regeneration) steigt die Sehschärfe wieder an und erreicht nach ca. 30 Minuten das Ausgangsniveau (ISHIGAKI et al., 1991).

Bei der parallel – in Form der Bestimmung der individuellen Nahpunktentfernung – erhobenen akkommodativen Leistungsfähigkeit zeigte sich, dass sich der Nahpunkt direkt nach dem Belastungsabbruch ebenfalls belastungsintensitätsabhängig signifikant „in die Ferne“ verschiebt und erst im Verlauf der Regeneration wieder „in die Nähe“ wandert (ISHIGAKI, 1988).

Andere Autoren beschreiben einen Anstieg der Statischen Sehschärfe z.B. nach 1000-m-Läufen (KASCHUK, 1948, referiert in KRESTOWNIKOW, 1953), nach einem zehnmütigen Aufwärmen bei Squashspielern (WHITING et al., 1968, referiert in NEUMAIER, 1988), nach einer (nicht näher definierten) körperlichen Belastung bei Tischtennisspielern (WHITING & SANDERSON, 1972) oder nach Durchführung eines Harvard-Step-Tests (VLAHOV, 1977). Der Sehschärfeanstieg hält nach KASCHUK (1948) und VLAHOV (1977) länger als 30 Minuten nach dem Belastungsende an (VLAHOV, 1977 und 1979; KRESTOWNIKOW, 1953).

Vor dem Hintergrund dieser – ergebnisbezogen – heterogenen Befunde, wurde im Rahmen des BISp-Projektes die belastungs(intensitäts)abhängige Veränderung der Sehschärfe u.a. visueller Teilleistungen untersucht und mögliche Konsequenzen für die Sportpraxis aufgezeigt.

2 Methodik

Mit Hilfe einer – eigens entwickelten – Sehprobentafel (vgl. 2.1) wurde die Veränderung der monokularen (einäugigen) Sehschärfe (Visus cum correctione), d.h. das räumliche Auflösungsvermögen, während und nach einer 20-minütigen fahrradergometrischen Dau-

erbelastung (Herzfrequenzbereich: 150-160 Schläge/min; vgl. 2.2) und im Verlauf der Nachbelastungsphase bis zu 30 Minuten nach dem Belastungsabbruch (10, 20 und 30 Minuten nach dem Belastungsabbruch) erhoben. An einem weiteren Testtag wurde der Versuch ohne ergometrische Belastung durchgeführt (Kontrollversuch).

Parallel wurden Hornhaut- und Brechkraftveränderungen mit Hilfe der Keratografie und der objektiven Refraktion analysiert (vgl. 2.3).

Analog dazu wurde in ersten Feldversuchen die Veränderung der Sehschärfe nach einem 20-minütigen, skispezifischen Aufwärmprogramm vor Ort im Skigebiet – exemplarisch an vier Skifahrer(inne)n – untersucht.

2.1 Bestimmung der Sehschärfe

Die Sehschärfe (der Fernvisus) wurde mit einer – im Vergleich zu den DIN-Vorgaben¹ – feiner abgestuften Sehprobentafel bestimmt. Dabei wurden Normsehzeichen in Form von Landoltringen verwendet. Die Normsehzeichen sind DIN-gemäß in logarithmischer Progression gestuft. Dabei beträgt der Quotient des jeweiligen Optotypen zum nächst kleineren 1,2589 oder $\sqrt[10]{10}$ bzw. in Exponentialschreibweise $1,2589 = 10^{0,1}$.

Abweichend von dieser DIN-gemäßen Stufung wurde zur Verfeinerung (und damit besseren Differenzierungsfähigkeit) des Messsystems ein Abstandsquotient von $1,1220 = 10^{0,05}$ gewählt. Daraus ergab sich die folgende, ebenfalls logarithmische Optotypen-Stufenreihe (gerundet): Visus 0,80, 0,90, 1,00, 1,12, 1,26, 1,41, 1,60, 1,80, 2,00, 2,24, 2,51, 2,82 und 3,20.

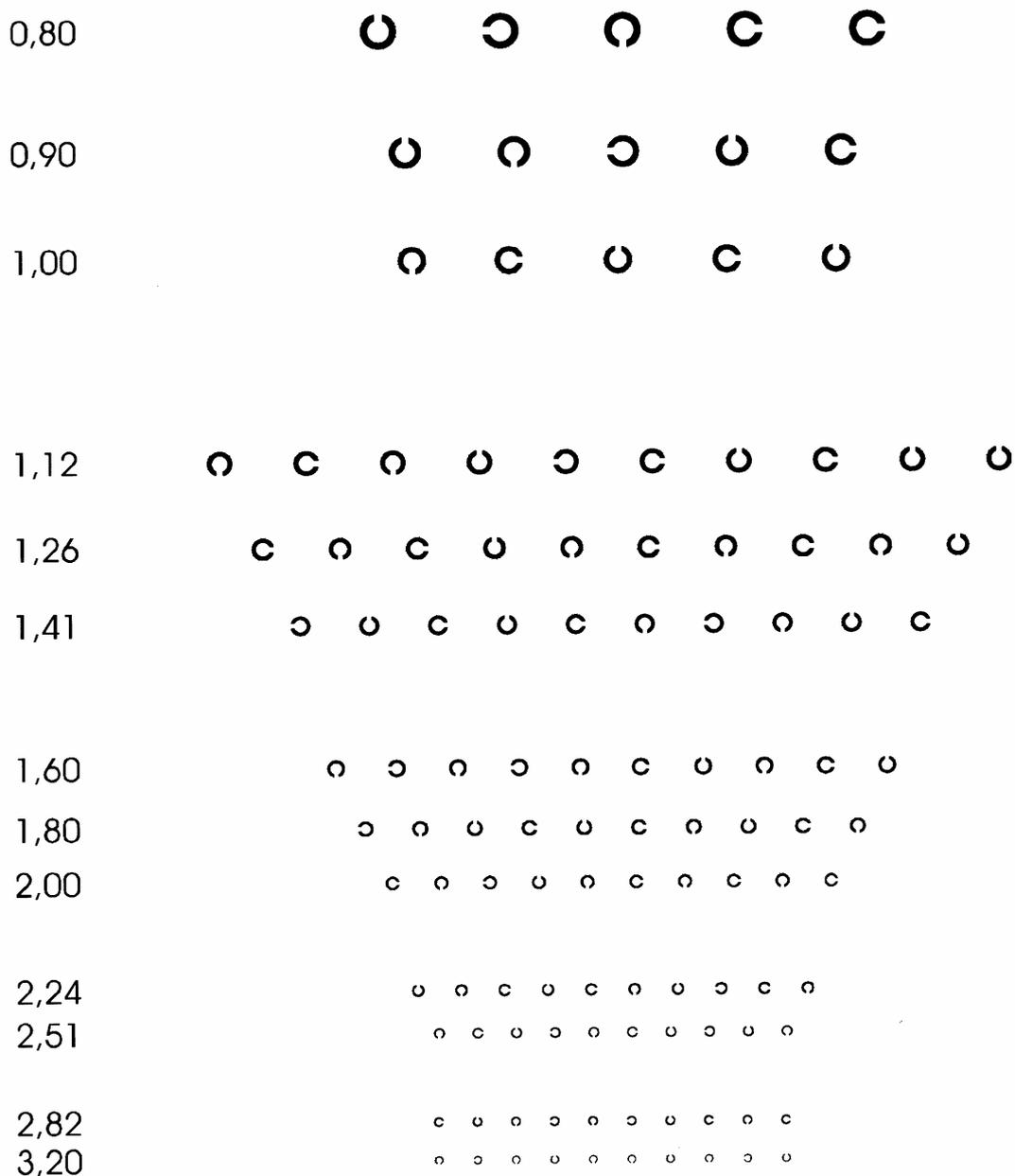
Bei den anwendungsorientierten Feldversuchen (in Valmorel, Frankreich) wurde die Sehschärfe mit einem Binoptometer nach REINER² konform zur DIN-Norm erhoben. Das Binoptometer gewährleistet aufgrund der integrierten Testfeldbeleuchtung etc. auch für den Feldversuch weitestgehend standardisierte Testbedingungen. In (mit Ausnahme der letzten Stufe) logarithmischer Abstufung wurden dabei die Visus-Stufen 0,32, 0,40, 0,50, 0,63, 0,80, 1,00, 1,25, 1,60, 2,00, 2,50 und (3,00) berücksichtigt.

Bei beiden Belastungsdesigns wurde jeweils der monokulare (einäugige) Visus im fernakkommodierten (~ 5,00 m) Bereich bestimmt.

¹ DIN 58220 (Teil 6)

² OCULUS Optikgeräte GmbH, Dudenhofen (Wetzlar)

Die Abstände der Sehzeichen untereinander sind so gewählt, dass Crowding-Effekte vermieden werden. Die Leuchtdichte des Prüffeldes betrug 200 cd/m², die des Testumfeldes 60 cd/m². Der Prüfabstand betrug fünf Meter und wurde durch die Verwendung einer Kopfstütze konstantgehalten/standardisiert.



Tafel 1

Abb. 1: Modifizierte Sehprobentafel (Tafel Nr. 1)

Insgesamt wurden drei Tafelvarianten in Zufallsreihenfolge eingesetzt, um im Rahmen der Messwiederholungen Wiedererkennungseffekte zu vermeiden.

Von den (ab Visusstufe 1,12 jeweils) dargebotenen zehn Optotypen mussten sieben richtig erkannt werden, damit die entsprechende Visusstufe als erreicht galt³.

2.2 Belastungsverfahren

Zur standardisierten Belastung der Probanden wurde zunächst am ersten Testtag eine 20-minütige fahrradergometrische Dauerbelastung in einem Herzfrequenzbereich von 150-160 Schlägen/min durchgeführt. Vor, während und nach der Belastung – und im Verlauf der Nachbelastungszeit – wurde kontinuierlich die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration im Kapillarblut bestimmt. Der Sehschärfetest wurde vor Belastungsbeginn, nach zehnminütiger Belastungsdauer, direkt nach dem Belastungsabbruch (20 Minuten nach Belastungsbeginn) und im Verlauf der Nachbelastungszeit (10, 20 und 30 Minuten nach dem Belastungsabbruch) erhoben.

Am zweiten – zufällig in die Gesamttestreihe eingefügten – Testtag durchliefen die Probanden zusätzlich einen Kontrollversuch ohne körperliche Belastung. Die Zeitabstände entsprachen den Vorgaben aus den Belastungsversuchen.

2.3 Objektive Refraktion und Hornhauttopographie

Die monokulare objektive Refraktion wurde mit einem automatischen Refraktometer⁴ bestimmt mit einer Genauigkeit von 0,25 dpt. Bestimmt wurden Sphäre, Zylinder und Achse. Zu jedem Messzeitpunkt wurden in Messwiederholung jeweils vier Refraktionen durchgeführt und anschließend das arithmetische Mittel gebildet. Die Form der Hornhaut

³ auf der Grundlage der Berechnung der korrigierten Anwohnhäufigkeit nach der Abbot'schen Formel:

$$RK = (R - p) / (100 - p)$$

wobei R die Häufigkeit der gegebenen richtigen Antworten, RK die korrigierte Häufigkeit, $p = 1/n$ die Ratewahrscheinlichkeit und n die Zahl der unterschiedlichen Sehzeichen repräsentiert. Fragt man danach, wie groß R sein muss, damit mit dem vorgegebenen Satz von Sehzeichen eine korrigierte Häufigkeit der richtigen Antworten (RK) von 50 % erreicht wird, muss die Abbot'sche Formel nach R aufgelöst werden:

$$R = RK (100-p) + p.$$

Für die modifizierte Sehprobentafel gilt, dass sich bei $RK = 50 \%$ und $p = 25 \%$ (4 Optotypenöffnungen) ein R von 62,5 % ergibt. Folglich wird als Abbruchkriterium eine Fehlerquote von > 30 % festgelegt (HAASE & RASSOW, 1995).

⁴ RM – A6500 (Fa. Topcon)

wurde mit einem Videokeratometer⁵ bestimmt. Erhoben wurden die beiden Ellipsenparameter, d.h. der zentrale Krümmungsradius r_0 und der Gestaltfaktor g ($g=1-e^2$). Die Abweichungen vom Elipsoid wurden mit Zernike-Polynomen bestimmt (LÖFFLER et al., 1997).

2.4 Personenstichprobe

An den Belastungs- und Kontrollversuchen nahmen insgesamt 31 augengesunde, „normal-sichtige“ Studierende (Durchschnittsalter: $25,7 \pm 2,03$ Jahre) teil. Bei den Sehschärfe-Tests, bei denen jeweils das bessere Auge bzw. bei identischen Visuswerten das Führungsauge untersucht wurde, lag der Mindestvisus bei $\geq 0,8$.

3 Wesentliche Ergebnisse und Diskussion

Eine varianzanalytische Messwiederholungsanalyse ergibt zunächst signifikante Unterschiede im Sehschärfe-Messverlauf zwischen dem Belastungs- und dem Kontrollversuch ($p = 0,028$). Lediglich im Belastungsversuch lässt sich eine mit $p = 0,001$ signifikante Veränderung des Sehschärfeniveaus nachweisen (Kontrollversuch $p = 0,145$).

Im Belastungsversuch steigt die Sehschärfe in der Nachbelastungsphase signifikant an und bleibt auch 30 Minuten nach dem Belastungsende im Vergleich zum Ausgangsniveau signifikant erhöht (vgl. Abb. 2a und 2b). Während der Belastung ist keine signifikante Veränderung der Sehschärfe festzustellen. Die Sehschärfewerte direkt nach dem Abbruch der Belastung (n.B.) liegen nahezu auf gleichem Niveau wie beim Eingangstest (in Ruhe, v.B.). Im Kontrollversuch bleibt die Sehschärfe nahezu konstant (vgl. Abb. 2a und 2b).

Belastungsinduzierte Veränderungen der Refraktions- und Keratografiewerte konnten nicht nachgewiesen werden. Beim Belastungsversuch zeigt sich im Trend eine kontinuierliche, leichte Verstärkung der Kurzsichtigkeit (sphärische Messwerte).

⁵ Oculus-Keratograph

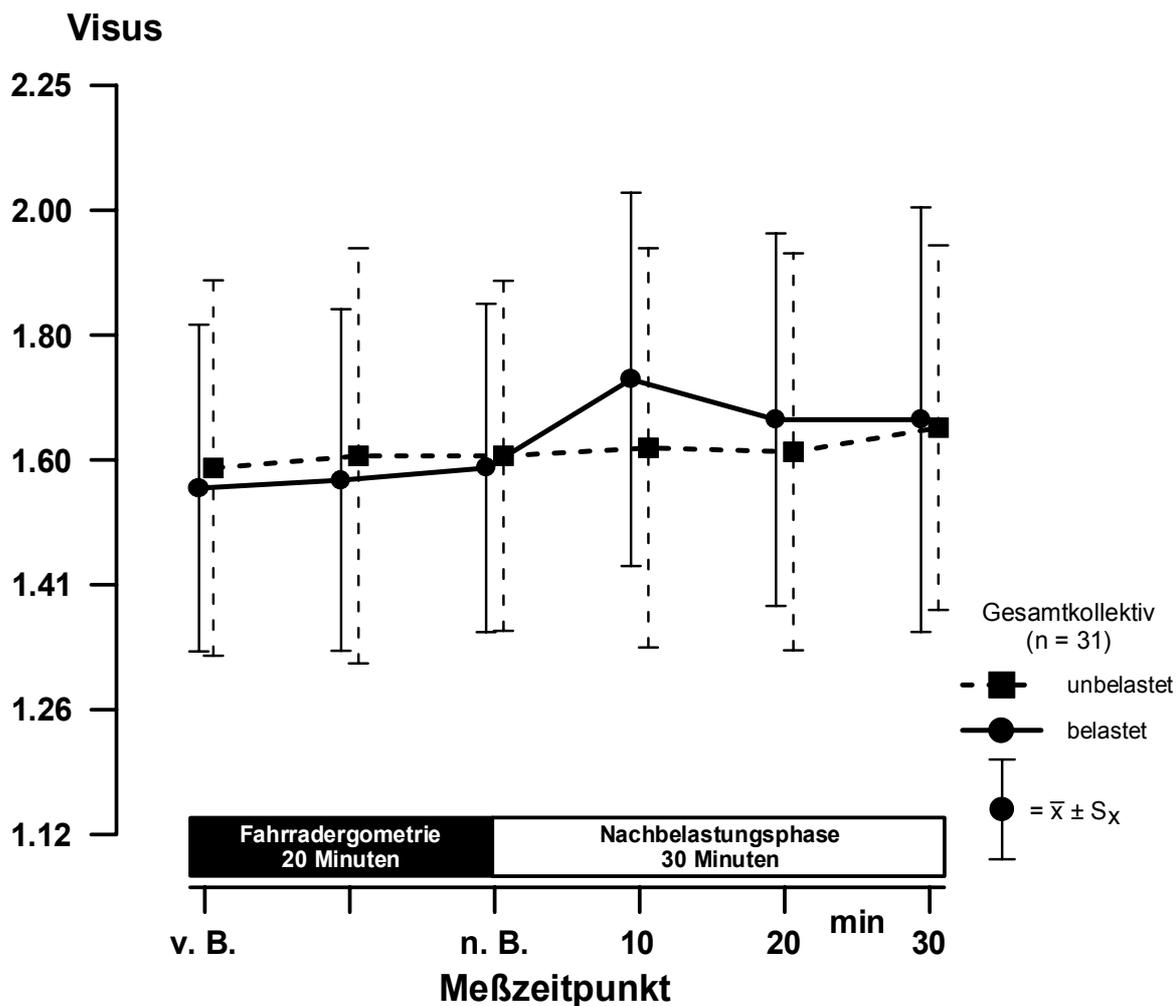


Abb. 2a: Veränderung der Sehschärfe (Visus) während und nach 20-minütiger fahrrad-ergometrischer Belastung im Vergleich zum Kontrollversuch

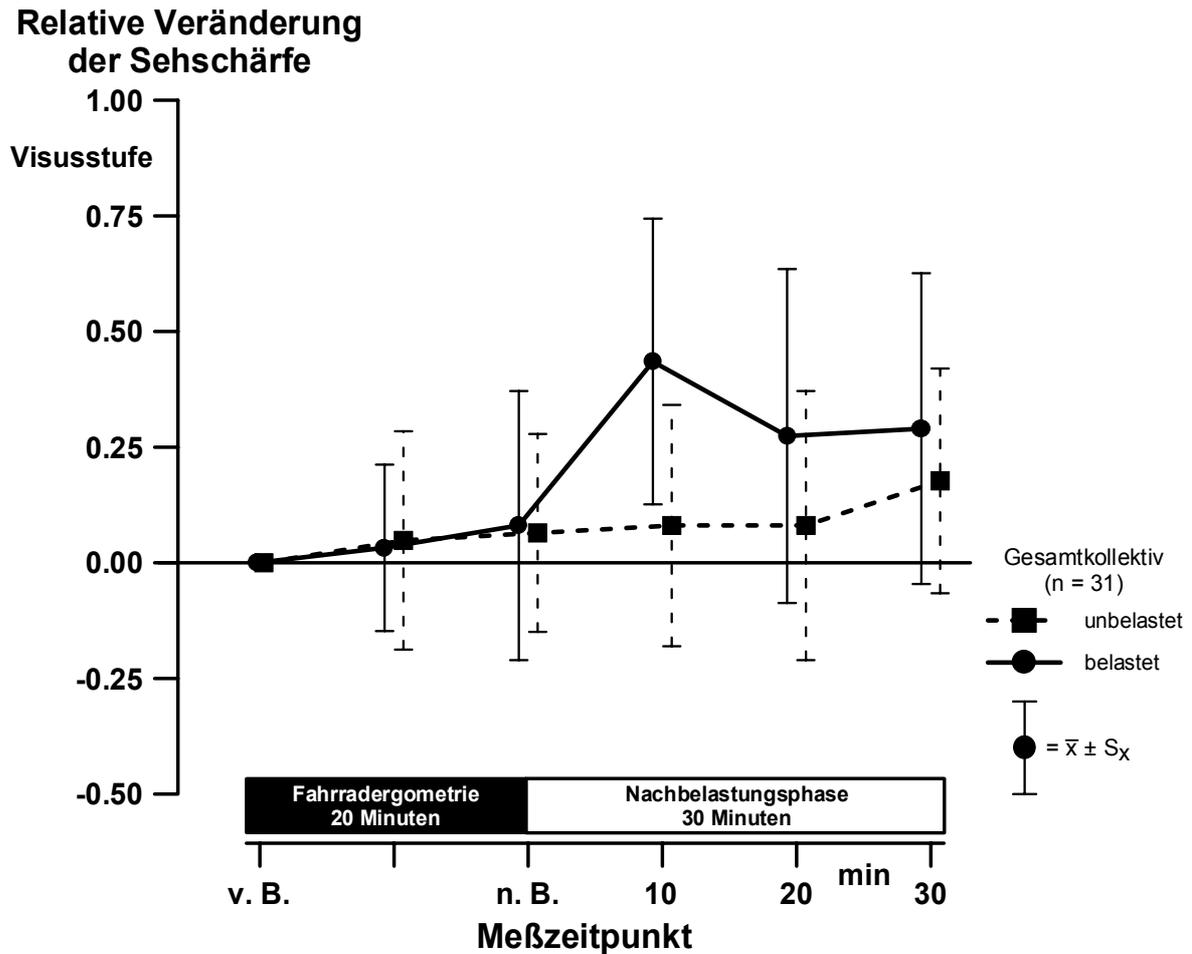


Abb. 2b: Relative Veränderung der Sehschärfe (Visus) während und nach 20-minütiger fahrradergometrischer Belastung im Vergleich zum Kontrollversuch

Eine synoptische Betrachtung der Ergebnisse der (ersten) Feldversuche in Abbildung 3 zeigt, dass nach der skispezifischen, 20-minütigen Aufwärmarbeit zumindest bei drei der vier getesteten Skifahrer deutliche Sehschärfeanstiege in der Nachbelastungsphase festzustellen sind. Diese bleiben – wenn auch auf niedrigerem Niveau – auch noch 30 Minuten nach Abbruch des Aufwärmprogramms bestehen.

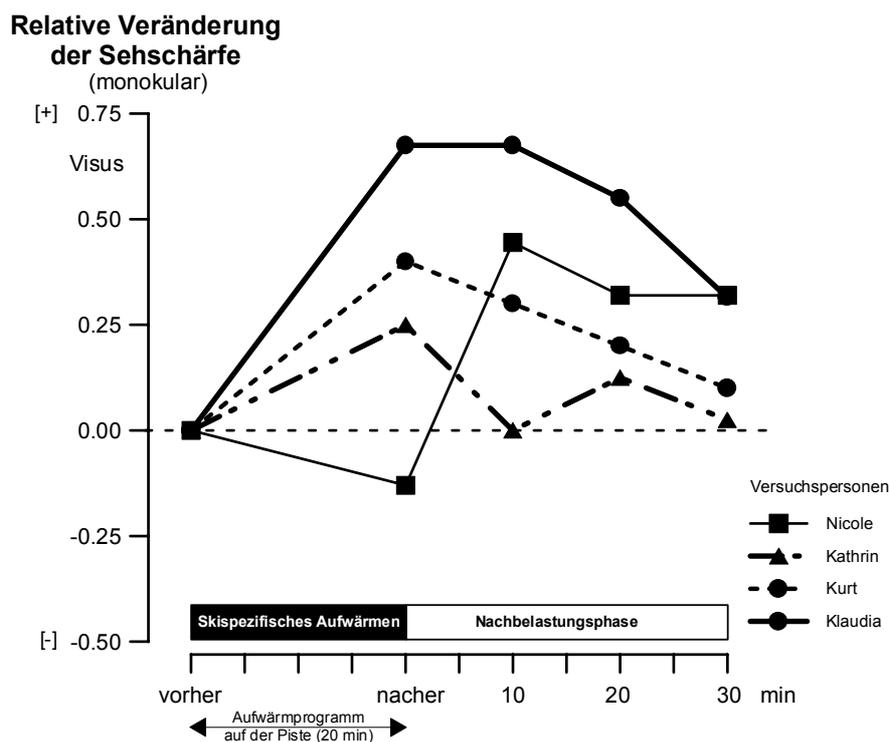


Abb. 3: Relative Veränderung der Sehschärfe (Visus) nach einem 20-minütigen, skispezifischem (herz-kreislaufintensivem) Aufwärmen auf der Piste

4 Schlussfolgerungen

Der Anstieg der Sehschärfe nach intensiver Belastung ist möglicherweise als Effekt einer Verbesserung der allgemeinen Stoffwechselsituation (Anstieg der retinalen Durchblutung, Anstieg der cerebralen O₂-Versorgung etc.) und der erhöhten Vigilanz („Wachheit“) interpretierbar. Im Bereich der lichtbrechenden Medien scheinen hingegen – bei der gewählten Belastungsintensität und -dauer – keine gravierenden Veränderungen einzutreten.

Die o.g. Versuche und weitere (Literatur-)Befunde im Bereich anderer visueller Teilleistungen (z.B. dem Bewegungssehen, der Kontrastempfindlichkeit und dem räumlichen Sehvermögen) zeigen, dass adäquates herz-kreislaufaktivierendes „Aufwärmen“ auch aus wahrnehmungsphysiologischer Sicht sinnvoll erscheint. Trainingsphasen mit visuellbeanspruchenden Inhalten können danach aus sinnesphysiologischer Sicht auch in Kombination mit sportartspezifischen (intensiveren, herz-kreislaufbeanspruchenden) Belastungen durchgeführt werden.

5 Literatur

- BEALS, R.P.; MAYYASI, A.; TEMPLETON, A.E.; JOHNSTON, W.L.: The relationship between basketball shooting performance and certain visual attributes. *American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry* 48 (1971) 7, 585-590
- HAASE, W.; RASSOW, B.: Sehschärfe. In: KAUFMANN, H. (Hrsg.): Strabismus. Stuttgart 1995, 86-116
- ISHIGAKI, H.; MIYAO, M.; ISHIHARA, S.; SAKAKIBARA, H.; YAMADA, S.; FURUTA, M.; SAKATA, T.: The deterioration of visual acuity by exercise under a mesopic vision environment. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31 (1991) 2, 272-276
- JENDRUSCH, G.; HECK, H.: Gutes Sehen als Voraussetzung für sportlichen Erfolg? *Optometrie* 44 (1998), 3, 4-10
- JENDRUSCH, G.; HERBER, F.; HECK, H.: Aspekte belastungsinduzierter Veränderung der visuellen Leistungsfähigkeit am Beispiel der Kontrastwahrnehmung. Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.): BISp-Jahrbuch 1997. Köln 1998, 237-242
- KRESTOWNIKOW, A.N.: Physiologie der Körperübungen. Berlin 1953
- LÖFFLER, G.; LINGELBACH, E.; LINGELBACH, B.: Cornea – Topometrie und Abbildungseigenschaften. Teil I: *Deutsche Optiker Zeitschrift (DOZ)* 51 (1997) 4, 92-96; Teil II: *DOZ* 51 (1997) 5, 104-107
- MESTER, J.; FRANKE, D.; MARÉES, H. de: Leistungslimitierende Faktoren im Bereich der Ballberechnung im Tennis. In: HECKER, G.; BAUMANN, W.; GROSSER, M.; HOLLMANN, W.; MEINBERG, E. (Hrsg.): Schulsport – Leistungssport – Breitensport. St. Augustin 1983, 132-139
- MESTER, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport. Schorndorf 1988 = Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, Bd. 20
- NEUMAIER, A.: Bewegungsbeobachtung und Bewegungsbeurteilung im Sport. St. Augustin 1988
- SCHNELL, D.: Sehorgan und Sport. In: BARTMUS, U.; HECK, H.; MESTER, J.; SCHUMANN, H.; TIDOW, G. (Hrsg.): Aspekte der Sinnes- und Neurophysiologie im Sport – In memoriam Horst de Marées. Köln 1996, 175-240
- VLAHOV, E.: Effects of different workloads varying in intensity and duration on resolution acuity. *Perceptual and Motor Skills* 48 (1979), 1259-1264
- VLAHOV, E.: Effects of Harvard step test on visual acuity. *Perceptual and Motor Skills* 45 (1977), 369-370
- WATANABE, Y.: Effect of 15-minute bicycle workload on static and kinetic visual activities. *J. of Sports Medicine and Physical Fitness* 23 (1983) 4, 373-381
- WHITING, H.T.A.; SANDERSON, F.H.: The effect of exercise on the visual and auditory acuity of tabletennis players. *Journal of Motor Behavior* 4 (1972) 3, 163-169