

¹Mewes N, ²Kellmann M, ³Ehrenstein WH, ⁴Jendrusch G

Veränderungen der dynamischen Sehleistung bei körperlicher und psychischer Beanspruchung

Changes of dynamic visual performance under conditions of physical and cognitive strain

¹ Fakultät für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Sportpsychologie, Ruhr-Universität Bochum, Bochum

² School of Human Movement Studies, The University of Queensland, Brisbane, Australien

³ Institut für Arbeitsphysiologie an der Universität Dortmund/Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors

⁴ Fakultät für Sportwissenschaft, Lehrstuhl für Sportmedizin und Sporternährung, Ruhr-Universität Bochum, Bochum

ZUSAMMENFASSUNG

Veränderungen einzelner Sehfunktionen während oder nach körperlicher Beanspruchung wurden bereits untersucht, wobei die Befunde nicht ganz eindeutig sind (7, 8, 9, 10). Erstmals wird hier die auf reiner Bewegungsinformation basierende Sehleistung unter zusätzlicher Berücksichtigung psychischer (kognitiver) bzw. kombinierter (körperlich-psychischer) Beanspruchungen untersucht.

Verwendet wurde der rechnergestützte *Düsseldorfer Test für Dynamisches Sehen* (20, 21, 22), dessen Sehzeichen durch kohärente Bewegung innerhalb eines Zufallspunktemusters nicht durch Leuchtdichtekontrast, sondern ausschließlich durch Bewegungskontrast im Sinne einer dynamischen Figur-Grund-Abhebung ("form from motion") sichtbar wird. Ausgehend von der im Fahrrad-Ergometer-Stufentest erzielten individuellen Leistung wurden 24 (je 12 männliche und weibliche) Sportstudierende (24,0 ± 2,9 Jahre) in Zufallsreihenfolge an jeweils 4 Testtagen für 2 x 15 Minuten physisch (fahradergometrisch), psychisch (*Wiener-Determinationsgerät*) bzw. kombiniert psycho-physisch belastet oder ihre Sehleistung wurde zur Kontrolle ohne Belastung bestimmt.

Es ergaben sich für die dynamische Sehleistung insgesamt keine signifikanten Veränderungen. Erst eine Aufteilung der Probanden hinsichtlich objektiver (Laktatwerte) und subjektiver Parameter (Borg-Skala) und die daraus resultierende geringere bzw. stärkere Beanspruchung ergab signifikante Effekte in Form eines Sehleistungsgewinns (von 10%), die allerdings auf Höherbeanspruchte bei körperlicher Belastung beschränkt waren. Außerdem zeigten sich signifikante Lerneffekte über die einzelnen Untersuchungstage hinweg, durch die vermutlich mögliche beanspruchungsinduzierte Effekte in der vorliegenden Studie überlagert wurden.

Schlüsselwörter: Dynamische Sehleistung, Bewegungskontrast, körperliche/psychische Belastung/Beanspruchung

EINLEITUNG

Für den sportlichen Erfolg spielt das Bewegungssehen zweifellos eine bedeutende Rolle, insbesondere in den schnellen Ball- und Rückschlagspielen (6, 12). Entsprechend sollten auch mögliche Veränderungen der dynamischen Sehleistung durch körperliche (motorische) oder psychische (kognitive) Belastung bzw. Beanspruchung für die Sportpraxis relevant sein (8). In den Arbeitswissenschaften wird zwischen beiden Begriffen unterschieden:

SUMMARY

Changes of several visual parameters during or following physical strain have been investigated before, yet with a somewhat controversial outcome (7, 8, 9, 10). So far, visual performance based solely on motion cues has not been tested. Moreover, physical strain usually acts on the athlete together with cognitive demands. Here we present novel data on dynamic vision and its dependence on physical as well as on cognitive and physical-cognitive types of strain.

The computer-assisted *Düsseldorf Test for Dynamic Vision* (20, 21, 22) was used to study visual performance that relies solely on motion cues without differences in luminance ("form from motion"). In a randomised sequence, 24 subjects (12 females and males; average age: 24.0 ± 2.9 years) were exposed (for 2 x 15 minutes) to different types of stress: Physically by performing on a cycle ergometer, cognitively by applying the *Vienna Determination Test*, or both activities combined (a condition without demands served as control).

No significant changes of the dynamic visual performance were found for the total sample. However, if objective (lactic acid measures) or experienced (Borg scale) strain intensity was taken as a criterion to split the sample in two extreme groups of high or low strain, a benefit in dynamic visual performance of 10% resulted following physical strain for higher-scoring persons. Interestingly, subsequent testing led to a significant improvement of visual performance; this incidental learning effect might have obscured possible effects of physical or cognitive strain.

Key words: dynamic vision, motion contrast, stress/strain – physical/cognitive

Belastung (stress, demands) bezieht sich dabei auf die von außen auf den Menschen einwirkenden objektiven Größen, während Beanspruchung (strain, workload) die individuell-subjektiven Folgen der jeweiligen Belastung bezeichnet. "In der Arbeitsmedizin hat sich im Gegensatz zur Sportmedizin seit über 30 Jahren ein Vorschlag von Rohmert und Rutenfranz bezüglich einer strikten Trennung der Begriffe Belastung (für vorgegebene Leistung) und Beanspruchung (für erbrachte Leistung) bewährt." (16). Dynamisches Sehen beschreibt zunächst die Leistungsfähigkeit des Sehens bei

konjugierten Augenbewegungen. Damit sich bewegende Objekte deutlich abgebildet werden können, müssen sie durch koordinierte Augen- und Kopfbewegungen ständig im Netzhautbereich des schärfsten Sehens, der Fovea centralis, gehalten werden (efferentes Bewegungssehen; 3,7). Auslösender Reiz für das blickmotorische „Einfangen“ und „Verfolgen“ des sich bewegenden Objektes ist dagegen die retinale Bildwanderung, die das sich bewegende Objekt auf der Netzhaut erzeugt. Das über retinale Bildwanderung vermittelte afferente Bewegungssehen ist eine weitere, zur blickmotorischen Sehleistung hinzukommende Form des dynamischen Sehens (3,7,8). Während das durch die Blickmotorik gestützte Bewegungssehen, die „dynamische Sehschärfe“, bereits verschiedentlich im Kontext sportlicher Leistungen untersucht wurde (6,7,10), gilt dies weit weniger für die hier zu untersuchende, von der Blickmotorik unabhängige, dynamische Sehleistung (20).

PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Für einige visuelle Parameter (z.B. Sehschärfe, Kontrastsehen, Tiefensehen) konnte bereits eine Veränderung im Sinne einer Leistungsverbesserung während bzw. nach körperlicher Beanspruchung belegt werden (9,10,17). Messungen der Flimmererschmelzungsfrequenz (FVF; einem Indikator für das zeitliche Auflösungsvermögen des Sehsystems wie auch des allgemeinen zentralnervösen Aktivierungsniveaus), die vor, während und/oder nach Belastung angestellt wurden, ergaben analog einen Anstieg, was einer Zunahme des zeitlichen Auflösungsvermögens entspricht (10,19). Allerdings wurden bisher lediglich die Auswirkungen physischer Belastungen auf die Sehleistung untersucht. Da in der Trainings- und Wettkampfpraxis jedoch körperliche meist mit psychischen Belastungen einhergehen, sollen diese hier zusätzlich berücksichtigt und folgende Fragen geklärt werden:

1. Verändert sich bei einer physischen, psychischen oder einer psycho-physischen Belastung/Beanspruchung die dynamische Sehleistung gegenüber dem Ruhewert?
2. Wirken sich diese Belastungsarten unterschiedlich auf die dynamische Sehleistung aus?

MATERIAL UND METHODEN

Als Voruntersuchung wurde mit jedem Probanden ein Stufentest auf dem Fahrrad-Ergometer zur Ermittlung der individuellen Maximalleistung durchgeführt. Gemäß einem Messwiederholungsdesign war für die weiteren vier Testtage die Reihenfolge der vier Treatments (drei Belastungsarten, Kontrollversuch) randomisiert. Die überwiegend körperliche Belastung wurde bei einer Belastungsintensität von 80%, der beim Stufentest ermittelten Leistung im Bereich des aerob-anaeroben Schwellenwertes, der bei einem Laktatniveau von durchschnittlich 4mmol/l liegt (P4), auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Die überwiegend psychisch-kognitive Belastung wurde durch den Einsatz des Wiener Determinationstestes (DT) von Schuhfried (Version 31.00) induziert, der Bestandteil des Wiener Testsystems ist (13). Dieser dient der Messung der reaktiven Belastbarkeit sowie der damit verbundenen Reaktionsgeschwindigkeit. Die Beanspruchung entsteht hauptsächlich dadurch, dass

möglichst rasch auf verschiedene, schnell wechselnde optische und akustische Reize reagiert werden muss, wobei durch eine individuell angepasste Signalfrequenz jede Person in eine Überforderungssituation gebracht wird (13). Die dritte, psycho-physische Belastungsart war eine Kombination der beiden zuvor beschriebenen Belastungsarten: Während freihändigen Fahrradfahrens bediente die Testperson manuell den Determinationstest. Im Kontrollversuch wurde die Sehleistung ohne jede Belastung bestimmt.

Jeweils vor der 2 x 15-minütigen Belastung (v.B.), zwischen den zwei Belastungsserien (zw.B.), direkt im Anschluss (n.B.) und 15 bzw. 30 min nach Abbruch der Belastung in der Nachbelastungsphase (15 bzw. 30 min n.B.) wurden sowohl die dynamische Sehleistung überprüft, als auch die Begleitparameter Herzfrequenz, Laktat sowie das subjektive Anstrengungsempfinden als Wert auf der Borg-Skala (2) erhoben (im Kontrollversuch wurden dieselben zeitlichen Abstände der Messzeitpunkte gewählt). Diese Messungen wurden analog beim Stufentest (vor und nach Abbruch des Stufentests sowie 15 bzw. 30 min danach) durchgeführt.

Zur Erfassung der dynamischen Sehleistung (hier in Form der afferenten Bewegungswahrnehmung) diente der rechnergestützte *Düsseldorfer Test für Dynamisches Sehen* (DTDS) von Wist (20,21,22). Der Prüfreiz ist dort zunächst ideal im Umfeld – einem schwarz-weißen Zufallspunktemuster – eingebettet. Erst durch kohärente Pixelbewegung im Bereich des Sehzeichens, einem Landolt-Ring (c-förmige, d.h. in eine Richtung geöffnete Figur) wird der Prüfreiz kurzfristig sichtbar, beruht also nicht auf Leuchtdichte-, sondern auf Bewegungskontrast (21). Das Sehzeichen wird dabei quasi im Sinne einer dynamischen Figur-Grund-Abhebung enttarnt („form from motion“; 15, 21). Aufgabe der Testperson ist es, die Öffnungsrichtung (oben, unten, links, rechts) des Landolt-Rings anzugeben. Es handelt sich hierbei um ein Forced-Choice-Verfahren ohne Zeitdruck (1,3). Verwendet wurde die Standardversion des DTDS mit vier Stufen des Bewegungskontrasts (20 Darbietungen pro Stufe). Bei konstanter Bewegungsgeschwindigkeit (1,3°/s) und Größe (Landolt's $\alpha = 0,36^\circ$) wird das Sehzeichen nur für kurze Zeit (240 ms) sichtbar (20, 21, 22), d.h. bei unbewegtem Umfeld wird im Figurbereich ein bestimmter Prozentsatz (100, 50, 30 oder 20%) der Bildelemente bewegt, wobei der Test stets mit der leichtesten Stufe (100% Bewegungskontrast) beginnt und dann fortlaufend schwieriger (50, 30, 20%) wird. Wegen der zentralen Fixation und der kurzen Darbietungsdauer sind bei diesem afferenten Sehtest praktisch Blickfolge- wie auch Abtastbewegungen des Auges ausgeschlossen.

An der Untersuchung nahmen 24 augengesunde, „normal-sichtige“ Studierende der Sportwissenschaft (jeweils 12 weiblich/männlich) teil. Entsprechend der sich bei vier verschiedenen Treatments (drei Belastungsarten, ein Kontrollversuch) ergebenden 24 Kombinationen wurde je ein Proband randomisiert einer der 24 Treatmentfolgen zugewiesen. Das Alter streute zwischen 17 und 29 Jahren und lag im Mittel bei 24,0 mit einer Standardabweichung von $\pm 2,9$ Jahren.

Da die Daten der Sehtesterhebung teilweise nicht normalverteilt waren, wurden verteilungsfreie statistische Prüfverfahren, d.h. eine Rang-Varianzanalyse (Friedman-Test zum Vergleich von mehr als zwei abhängigen Stichproben) und der Wilcoxon-Test verwendet. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zeigen daher die Durchschnittsleistung durch die jeweiligen Mediane (\bar{x}) und zugehörigen Box-Plots (als Streumaße) der richtigen Antworten im DTDS an.

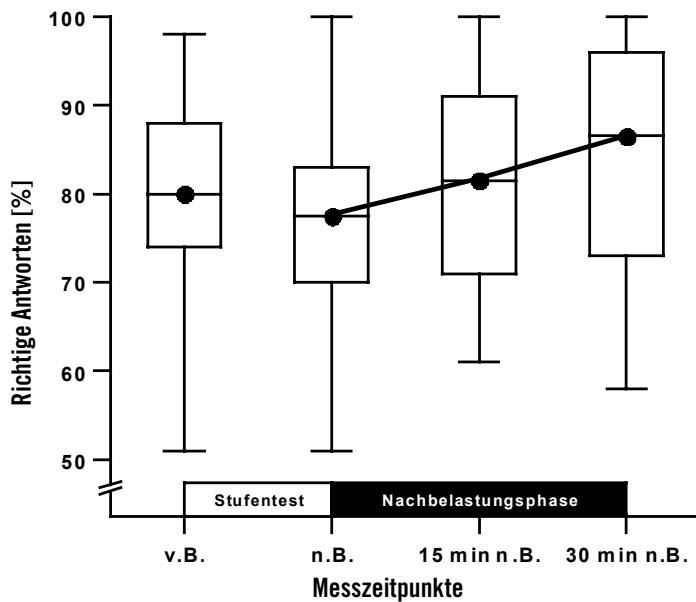


Abbildung 1: Veränderung der durchschnittlichen dynamischen Sehleistung ($n=24$) über 4 Messzeitpunkte beim Stufentest (v.B. = vor Belastung, n.B. = nach Belastung) sowie in der Nachbelastungsphase (15 bzw. 30 min n.B.). Die Belastungsdauer reichte von minimal 10 min (Abbruch bei 166,6 Watt) bis maximal 19 min (Abbruch bei 366,6 Watt).

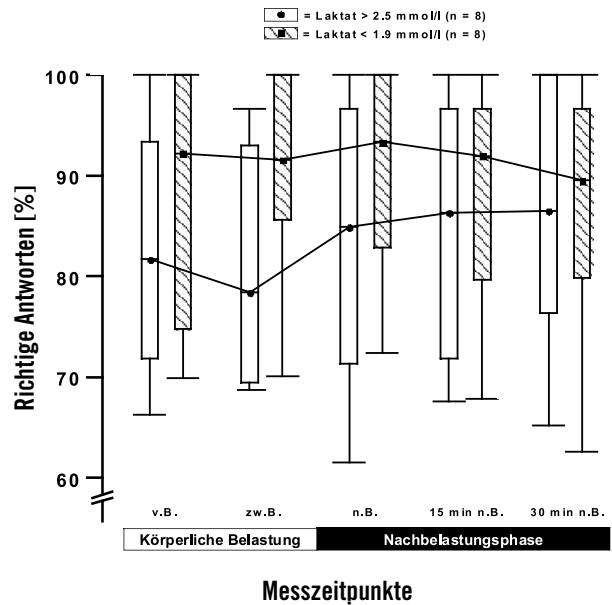


Abbildung 2: Veränderung der durchschnittlichen dynamischen Sehleistung über 5 Messzeitpunkte bei der „Körperlichen Belastung“ sowie in der Nachbelastungsphase in Abhängigkeit von der Belastungsintensität (wie in Abb. 1). Vergleichende Darstellung einer Gruppe höher (Laktat > 2,5 mmol/l; $n=8$) und niedriger beanspruchter (Laktat < 1,9 mmol/l; $n=8$) Probanden.

ERGEBNISSE

Abbildung 1 zeigt, dass die durchschnittliche Sehleistung (der hier speziell untersuchten afferenten Bewegungswahrnehmung) bezogen auf die Werte unter Ruhebedingung, d.h. vor Belastung (v.B.), direkt nach Belastungsabbruch (n.B.) nach dem Stufentest leicht zurückgeht und in der Nachbelastungsphase, d.h. 15 bzw. 30 Minuten nach Belastungsabbruch (15 bzw. 30 min n.B.) wieder das Ausgangsniveau erreicht bzw. es leicht übersteigt. Insgesamt bewegen sich die Leistungsänderungen in einem Bereich von weniger als 10% und sind statistisch nicht signifikant (Friedman's $\chi^2 = 2,17$; d.f. = 3; $p=0,54$). Nicht nur für die stufenförmige Ausbelastung, sondern auch für die übrigen Belastungsformen zeigen sich nur geringe Veränderungen der mittleren Sehleistung. Hervorzuheben ist hier, dass insbesondere die psycho-physische Belastungsart eine tendenzielle Steigerung der untersuchten Sehleistung in der Nachbelastungsphase über das Ausgangsniveau hervorgerufen hat. Signifikante Beanspruchungseffekte ergaben sich, zumindest bei der Bedingung „körperliche Belastung“, erst nach einer Aufteilung des Gesamtkollektivs anhand der begleitend erhobenen Parameter wie Laktatkonzentration und subjektives Anstrengungsempfinden (Borg-Skalenwerte). Aufgrund der Laktatwerte nach den fahrradergometrischen Belastungsserien wurden drei Gruppen von je 8 Probanden gebildet und die beiden Extremgruppen (Laktatwerte unter 1,9 mmol/l [$n=8$] bzw. über 2,5 mmol/l [$n=8$]) miteinander verglichen (Abbildung 2).

Zur besseren Vergleichbarkeit der Veränderungen der hier speziell untersuchten dynamischen Sehleistung der Extremgruppen im Messverlauf wurden – zusätzlich zu den Box-Plot-Darstellungen – Kurvenverläufe eingefügt. Für die Gruppe mit den höchsten Laktatwerten zeigte sich die Veränderung der dynamischen Sehleistung von insgesamt 8% (im Messverlauf) als

signifikant (Friedman's $\chi^2 = 9,48$; d.f. = 4; $p \leq 0,05$). Für eine Veränderung der Leistung bezüglich der jeweils bei 2x5 Messbedingungen insgesamt 10 Einzelvergleiche ergab sich nach Bonferroni-Adjustierung der Irrtumswahrscheinlichkeiten allerdings im Wilcoxon-Test keine Signifikanz. Im Trend aber steigt die Sehleistung bei den höher beanspruchten Probanden in der Nachbelastungsphase (im Vergleich zum Ruhewert) an. Ähnliches wurde bei einer beanspruchungsbezogenen Gegenüberstellung auf Grundlage der angegebenen RPE-Skalenwerte (Borg-Skala) festgestellt (vgl. auch Einzelfalldarstellung in Abbildung 3). Bei einer Aufteilung des Gesamtkollektivs am Median der erreichten Borg-Skalenwerte nach der zweiten Belastungsserie (Borg=14) konnte für die Gruppe der sich als höher beansprucht einstufenden Probanden, insgesamt eine signifikante Veränderung der Sehleistung um 10% im Messverlauf festgestellt werden (Friedman's $\chi^2 = 9,48$; d.f. = 4; $p \leq 0,05$). Hinsichtlich der Einzelvergleiche ergab sich allerdings auch hier nach Bonferroni-Adjustierung der Irrtumswahrscheinlichkeiten zwischen den einzelnen Messzeitpunkten keine Signifikanz.

Auch für die Art der Belastung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Belastungsformen sowie dem Kontrollversuch ($F = 1,13$; d.f. = 1; $p = 0,30$).

Sehr deutlich zeigte sich hingegen eine Zunahme der untersuchten dynamischen Sehleistung von mehr als 10% vor der Belastung (d.h. für die jeweils erste Messung an jedem Testtag) vom ersten bis zum fünften Testtag (Abbildung 4). Dieser Leistungsanstieg ist rangvarianzanalytisch hochsignifikant (Friedman's $\chi^2 = 19,58$; d.f. = 4; $p = 0,001$).

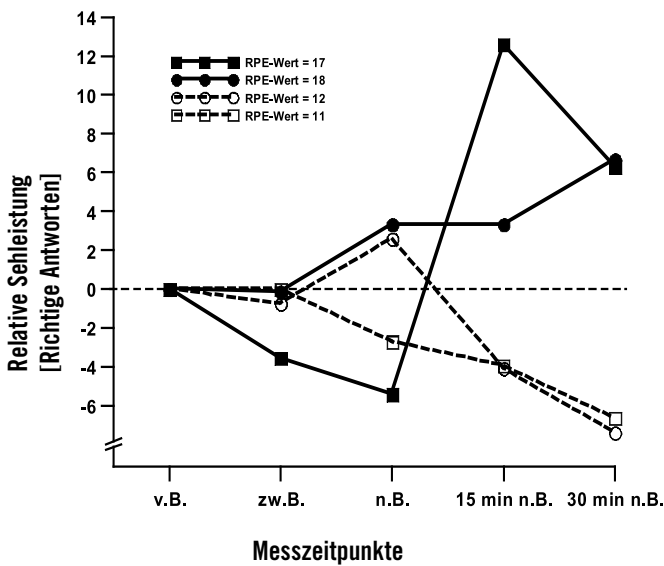


Abbildung 3: Veränderung der dynamischen Sehleistung (Einzelfalldarstellung n=4) über 5 Messzeitpunkte bei der „Körperlichen Belastung“ (wie in Abb. 1) sowie in der Nachbelastungsphase in Abhängigkeit vom individuellen Anstrengungsempfinden relativiert auf den jeweiligen Wert vor der Belastung (v.B.).

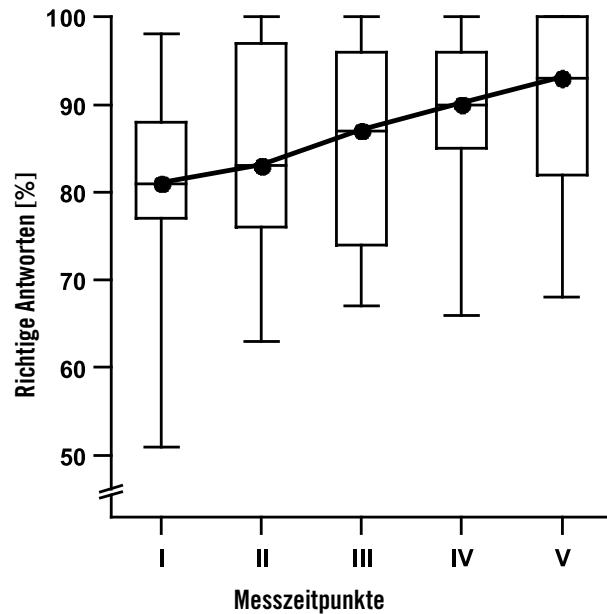


Abbildung 4: Durchschnittliche Vorbelastungswerte der dynamischen Sehleistung (n=24) an den aufeinander folgenden Testtagen (I-V).

DISKUSSION UND AUSBLICK

Aufgrund des zuletzt dargestellten Befundes stellt sich die Frage, ob beanspruchungsabhängige Veränderungen der untersuchten dynamischen Sehleistung von Lerneffekten überlagert wurden. Der Befund überrascht insofern, als man davon ausgehen kann, dass die Erkennungsleistung in einem Sehtest ein relativ stabiles Merkmal darstellt, welches sich allenfalls durch gezieltes Training verändern lässt (1,3,14). Die vorliegende Leistungsverbesserung tritt jedoch bereits durch reine Messwiederholung, d.h. ohne explizites Training auf. Ähnlich fällt das Erkennen von Stereo-Objekten in Zufallspunktemustern anfänglich den meisten Beobachtern schwer, bei bloßer Wiederholung aber – sobald das Prinzip der Figur-Grund-Abhebung erfasst ist – rasch immer leichter (15). Im vorliegenden Test, der eine dynamische Figur-Grund-Abhebung fordert, scheint die Ungewohntheit die Sehleistung gleichfalls anfänglich zu erschweren, bei fortlaufender Testanwendung und damit verbundener zunehmender Vertrautheit ergibt sich jedoch eine stetige Leistungsverbesserung. Diese signifikanten Lerneffekte über die einzelnen Untersuchungstage hinweg haben vermutlich mögliche beanspruchungsinduzierte Effekte in der vorliegenden Studie überlagert.

Außerdem wirft der Befund, dass sowohl subjektiv, als auch objektiv als stark beanspruchend beurteilte fahrradergometrische Belastungen einen signifikanten Einfluss auf die untersuchte dynamische Sehleistung ausüben, die Frage auf, ob Veränderungen der dynamischen Sehleistung nur nach hohen Beanspruchungsintensitäten auftreten. Dies stimmt mit früheren Untersuchungen überein, die mit steigender Belastungsintensität ebenfalls zunehmende Auswirkungen auf bestimmte visuelle Teilleistungen zeigten (5,9,11). Des Weiteren stellt sich die Frage, ob beanspruchungsinduzierte Veränderungen überwiegend bei Anforderungen an die Blickmotorik auftreten. Letzteres konnte in Untersuchungen

bereits belegt werden, bei denen koordinative Verbesserungen der blickmotorischen Leistungsfähigkeit nach stufenförmiger, laufbandergometrischer Ausbelastung (10) bzw. fahrradergometrischer Belastung (11) festgestellt wurden. Da in der vorliegenden Untersuchung aber die von der blickmotorischen Leistungsfähigkeit unabhängigen Anteile des Bewegungssehens geprüft wurden, bilden die Ergebnisse keinen Widerspruch.

Wie sich physische und/oder psychische (kognitive) Beanspruchungen auf die untersuchte dynamische Sehleistung auswirken und ob es Unterschiede in ihrer Wirkungsrichtung gibt, konnte hier noch nicht schlüssig geklärt werden. Offen bleibt vor allem die Frage nach der Übertragbarkeit der tendenziell erzielten Steigerungen der Sehleistung in der Nachbelastungsphase, insbesondere auch für den tatsächlichen Sportserfolg. Außerdem ist hervorzuheben, dass tendenziell insbesondere die psycho-physische Belastungsart eine Steigerung der Sehleistung in der Nachbelastungsphase über das Ausgangsniveau hervorgerufen hat. Eine derartige Leistungssteigerung würde die Bedeutung des psycho-physischen Aufwärmens in Sportarten mit hohen Anforderungen an die dynamische Sehleistung hervorheben. So konnten bereits Voigt und Jendrusch (18) bei ihren Untersuchungen an Volleyballspieler(inne)n feststellen, dass in Aufwärmprogrammen nicht nur herz-kreislauf-aktivierende, sondern ergänzend auch kognitiv beanspruchende Übungen (z.B. taktische Entscheidungshandlungen unter Zeitdruck) integriert werden sollten, da solche kombiniert psycho-physischen Beanspruchungen für den Sportserfolg als besonders effektiv erscheinen.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

WIDMUNG

Herrn Prof. em. Eugene R. Wist, Ph.D., dem Urheber des hier verwendeten Sehtests, zu seinem 75. Geburtstag.

LITERATUR

1. **BACH M, KOMMERELL G:** Sehschärfestimmung nach Europäischer Norm: Wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 212 (1998) 190-195.
2. **BORG G:** Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Dtsch Arztebl* 101 (2004) 0-1016.
3. **EHRENSTEIN WH:** Basics in seeing motion. *Arq Brasil Oftalmol* 66, special issue 5 (2003) 44-52.
4. **EHRENSTEIN WH, EHRENSTEIN A:** Psychophysical Methods, in: Windhorst U, Johansson H (eds): *Modern Techniques in Neuroscience Research*, Springer, Berlin – Heidelberg, 1999, 1211-1241.
5. **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. *J Sports Med Phys Fitness* 31 (1991) 272-776.
6. **JENDRUSCH G:** Visuelle Leistungsfähigkeit von Tennisspieler(inne)n (Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 9). Sport & Buch Strauß, Köln, 1995.
7. **JENDRUSCH G:** Sportbezogene Leistungen des visuellen Systems, in: Bartmus U, Jendrusch G, Henke T, Platen P (Hrsg): *In memoriam Horst de Marées* anlässlich seines 70. Geburtstages. Sportverlag Strauß, Köln, 2006, 55-74.
8. **JENDRUSCH G, HEILIGENSETZER D, PETER K, HECK H, LINGELBACH B:** Belastungsinduzierte Veränderung der visuellen Leistungsfähigkeit am Beispiel der Sehschärfe. *Z prakt Augenheilkd* 22 (2001) 437-443.
9. **JENDRUSCH G, HERBER F, HECK H:** Aspekte belastungsinduzierter Veränderung der visuellen Leistungsfähigkeit am Beispiel der Kontrastwahrnehmung, in: *Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg): BISp-Jahrbuch 1997*. Sport & Buch Strauß, Köln, 1998, 237-242.
10. **JENDRUSCH G, RICHTER F, DE MARÉES H:** Zur dynamischen Sehschärfe vor und nach laufbandergometrischer Belastung, in: Liesen H, Weiss M, Baum M (Hrsg): *Regulations- und Repairmechanismen*. Deutscher Ärzteverlag, Köln, 1994, 90-93.
11. **MILLSLAGLE D, DELAROSBY A, VONBANK S:** Incremental exercise in dynamic visual acuity. *Percept Mot Skills* 101 (2005) 657-664.
12. **NEUMAIER A:** Bewegungsbeobachtung und Bewegungsbeurteilung im Sport. *Academia*, Sankt Augustin, 1988.
13. **NEUWIRTH W, BENESCH M:** Wiener Determinationstest – Version 31.00. Mödling, 2003.
14. **SCHWANINGER A:** Objekterkennung und Signaldetektion: Anwendungen in der Praxis, in: Kersten B (Hrsg): *Praxisfelder der Wahrnehmungspsychologie*. Huber, Bern, 2005.
15. **SPILLMANN L, EHRENSTEIN WH:** Gestalt factors in the visual neurosciences, in: Chalupa LM, Werner, JS (eds): *The Visual Neurosciences*. MIT Press, Cambridge, Mass, 2004, 1573-1589.
16. **ULMER HV:** Belastung und Beanspruchung, Beanspruchungsregulation und Zielantizipation. Vortragsmanuskript auf der 4. Jenaer Arbeitstagung Motodiagnostik-Mototherapie vom 20.-21.7.2001 – überarbeitete Fassung zum Text des Referatebands (S. 82-87). Zugriff am 12.11.2007 unter <http://www.uni-mainz.de/FB/Sport/physio/pdf/330BelaBeJena.pdf>.
17. **VLAHOV E:** Effect of the Harvard Step Test on visual acuity. *Percept Mot Skills* 45 (1977) 369-370.
18. **VOIGT HF, JENDRUSCH G:** Zur Bedeutung von Wiedererkennungslleistungen im Volleyball, in: Voigt HF (Hrsg.): *Sportpraxis nachgedacht*. Band 1: Bewegungen lesen und antworten. Czwalina, Ahrensburg, 1993, 88-129.
19. **WIEMEYER J:** Flimmerverschmelzungsfrequenz und zentralnervöse Aktivierung. *Neurol Rehabil* 8 (2002) 29-34.
20. **WIST ER, EHRENSTEIN WH:** Sport und dynamische Sehschärfe. Ein neuer Ansatz zur Prüfung des dynamischen Sehens. *Z prakt Augenheilkd* 22 (2001) 433-436.
21. **WIST ER, EHRENSTEIN WH, SCHRAUF M:** A computer-assisted test for the electrophysiological and psychophysical measurement of dynamic visual function based on motion contrast. *J Neurosci Meth* 80 (1998) 41-47.
22. **WIST ER, SCHRAUF M, EHRENSTEIN WH:** Dynamic vision based on motion contrast: Changes with age in adults. *Exp Brain Res* 134 (2000) 295-300.

Korrespondenzadresse:
Nadine Mewes
Fakultät für Sportwissenschaft
Stiepelers Straße 129
44780 Bochum
E-Mail: nadine.mewes@rub.de