

Kontrollierte Studie zum Einfluss einer Ausdauerbelastung auf die neuromuskuläre Kontrolle am Sprunggelenk bei jungen Leistungssportlern

Benita Kuni (Projektleitung), Eloy Cardenas-Montemayor, Yannic Bangert, Birgit Friedmann & Holger Schmitt (Projektleitung)

Stiftung Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg
Sektion Sportorthopädie

1 Problem

Mit der Studie sollte untersucht werden, inwieweit eine Ausdauerbelastung die neuromuskuläre Kontrolle am Sprunggelenk und die sensomotorischen Fähigkeiten beeinflusst und ob etwaige Auswirkungen bei Leistungssportlern im Vergleich zu Kontrollprobanden geringer ausfallen.

Alleinstellungsmerkmal der Studie war neben der Konzipierung eines sportspezifischen Versuchsaufbaus die Tatsache, dass die Ausdauerbelastung jeweils an der zuvor bestimmten individuellen anaeroben Schwelle ausgerichtet wurde und somit einerseits standardisiert war und andererseits dem individuellen Leistungsniveau entsprach.

2 Methoden

2.1 Probanden

Einschlusskriterium für die Untersuchungsgruppe war Wettkampfniveau, für die Kontrollprobanden, dass max. 4 Std./Woche Sport getrieben wurde. Ausschlusskriterien waren eine schwere Funktionsbeeinträchtigung der unteren Extremität mit Trainingskarenz am Messtermin, Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, neurologische Defizite und Zustände sowie eine Medikation, die das Gleichgewichtssystem beeinträchtigen.

Die Reliabilitätsprüfung der statischen Gleichgewichtskontrolle wurde mit Gruppe 1 (Freizeitsportler), der Effekt einer Ausdauerbelastung auf die statische Gleichgewichtskontrolle mit Gruppe 2 (Handballerinnen der 1. Bundesliga [HB], Freizeitsportlerinnen [FS]), die Tests zur dynamischen Gleichgewichtskontrolle (Reliabilitätsprüfung und Belastungseinfluss) mit Gruppe 3 durchgeführt (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Probandeninformation Gruppen 1-3 (Mittelwert \pm SD)

| | Gruppe 1 | | Gruppe 2 | | Gruppe 3 | |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | F (n=8) | M (n=7) | HB (n=10) | FS (n=11) | HB (n=10) | FS (n=12) |
| Alter/J. | 22,5 \pm 1,4 | 25,1 \pm 2,1 | 21,9 \pm 4,8 | 22,7 \pm 3,2 | 22,1 \pm 5,2 | 23,2 \pm 2,3 |
| Gew./kg | 57,6 \pm 8,8 | 71,0 \pm 11,3 | 66,3 \pm 7,5 | 54,7 \pm 5,9 | 67,3 \pm 7,3 | 57,5 \pm 6,8 |
| Größe/cm | 166,4 \pm 7,6 | 174,7 \pm 8,8 | 172,6 \pm 5,7 | 165,4 \pm 4,8 | 173,5 \pm 4,3 | 167,5 \pm 5,9 |

2.2 Versuchsablauf

Die Tests zur Prüfung der neuromuskulären Kontrolle wurden auf einer Kraftmessplatte durchgeführt (Kistler®, Winterthur, Schweiz; Typ 9287). Die Teilnehmer wurden jeweils direkt vor und 1, 5, 10, 15 und 20 Minuten nach einer 30minütigen Laufbandbelastung getestet. Die Laufbandgeschwindigkeit wurde gemäß der zuvor bestimmten anaeroben Schwelle gewählt. Wicht die Herzfrequenz, durchgehend gemessen mit einer Pulsuhr, von dem Bereich 10 Schläge um den Wert an der anaeroben Schwelle ab, wurde die Geschwindigkeit entsprechend angepasst. Die metabolische Belastung wurde durch eine einmalige Laktatmessung am Ende der Belastung bestimmt. Wir setzten eine Fünfzehn-Punkt-Borgskala (min. 6 bis max. 20 Punkte, wobei 6 überhaupt keine und 20 max. Anstrengung bedeutet; Borg, 1990) ein, um die subjektive Anstrengung beurteilen zu können. Zwischen der Leistungsdiagnostik (Sportmedizinische Abteilung der Universität Heidelberg) und den Koordinationstests (Institut für Sport und Sportwissenschaften der Universität Heidelberg) lagen mindestens fünf Tage.

Test zur statischen Gleichgewichtskontrolle (Einbeinstandtest)

Der Einbeinstandtest wurde mit geschlossenen Augen barfuß mit dem dominanten Bein auf der Kraftmessplatte durchgeführt. Fehler bezüglich der Versuchsposition wurden nach dem Balance Error Score Scaling (BESS) protokolliert (Wilkinson et al., 2004).

Zu jedem Untersuchungszeitpunkt wurde je dreimal 9,99 s gemessen, Pausenlänge 30 s. Zur Reliabilitätsprüfung wurden, nach Einüben bis zum subjektiven und objektiven Beherrschen der Aufgabe, zwei Serien im Abstand von einer halben Stunde durchgeführt.

Test zur dynamischen Gleichgewichtskontrolle und Koordination (Sprungtest)

Im Sprungtest wurde ein Sprung nach vorne auf die Kraftmessplatte ausgeführt. In der Flugphase betätigte der Proband einen über der Platte positionierten Ballschalter, wodurch, je nach Konfiguration der Steuerung, ein Lichtsignal rechts oder links von der Platte oder keines aktiviert wurde. Nach Landung auf dem dominanten Bein war ein Wei-

tersprung zur Seite des Signals auszuführen oder, bei fehlendem Signal, auf der Kraftmessplatte im Einbeinstand zu stabilisieren. Die Höhe des Schalters wurde jeweils der zuvor ermittelten max. Sprunghöhe angepasst.

Eine Testserie bestand aus je drei Weitersprüngen nach rechts und links und drei Sprüngen mit Stabilisierung in einer Zufallsreihenfolge. Zur Reliabilitätsprüfung wurde nach Einüben im Abstand von 30 Minuten wiederholt.

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Excel 2000 und SPSS 12.0 durchgeführt. Bei nicht-normalverteilten Daten kamen nicht-parametrische Tests (Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben, MWU-Test für nicht-verbundene Stichproben) zur Anwendung. Sämtliche Tests wurden zweiseitig auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ durchgeführt. Aufgrund des weitgehend explorativen Charakters der Studie wurde auf Adjustierung des Alpha-Fehlers hinsichtlich multiplen Testens verzichtet.

3 Ergebnisse

Für den Einbeinstandtest wurde die Geschwindigkeit der Verlagerung des Körperschwerpunkts (Center of Pressure, COP) in der anterior-posterioren (ap) und der medio-lateralen (ml) Ebene bestimmt. Sie stellt ein Maß für die statische Gleichgewichtskontrolle dar. Die Reliabilitätsprüfung ergab einen Intraclass-Koeffizienten (ICC) für ap von 0,97 (95 % Konfidenzintervall: 0,94-0,99), für ml einen ICC von 0,95 (95 % KI: 0,90-0,98).

Sowohl bei den FS als auch bei den HB wurde eine Zunahme der Geschwindigkeit der COP-Verlagerungen in beiden Bewegungsrichtungen (ap und ml) direkt nach der Laufbandbelastung festgestellt. Diese war jeweils bis zur fünften Minute nach der Belastung signifikant und nahm anschließend stetig ab, um spätestens nach 20 Minuten wieder das Ausgangsniveau zu erreichen. Die Geschwindigkeiten der COP-Verlagerung unterschieden sich für die FS und HB vor und zu jedem Zeitpunkt nach Belastung signifikant (vgl. Abb. 1).

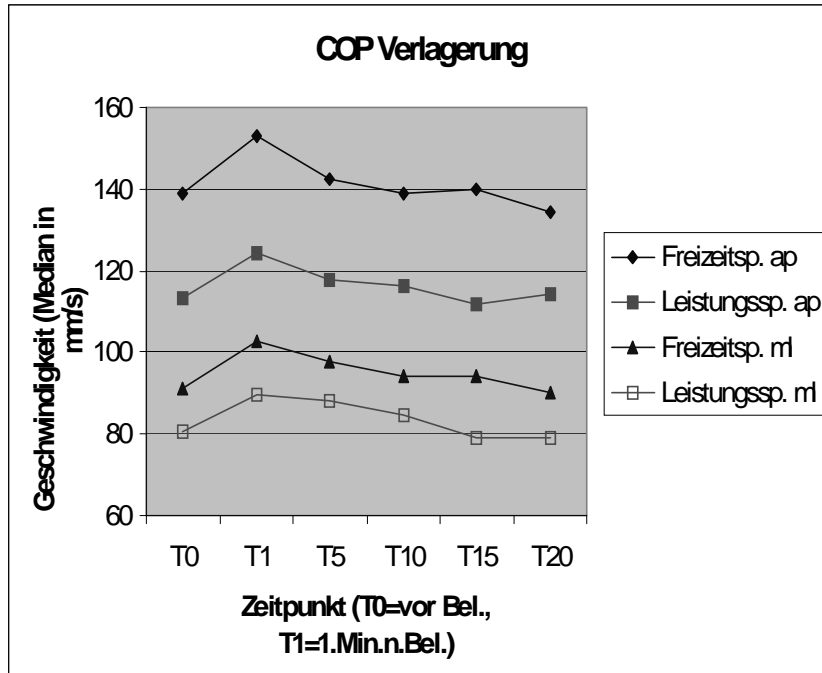


Abb. 1: COP-Verlagerung in ap und ml; Hinweis: Y-Achsenausschnitt wurde dem Wertebereich angepasst.

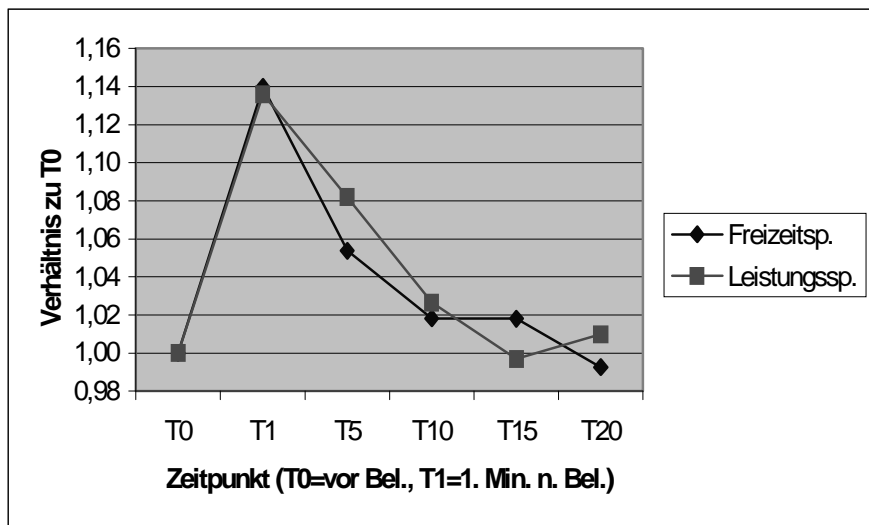


Abb. 2: Relative Veränderung COP-Verlagerung ap

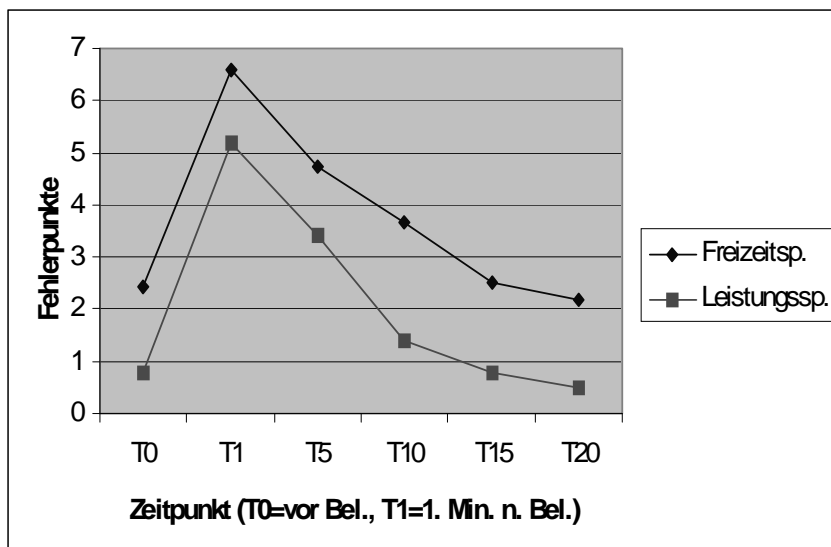


Abb. 3: BESS-Verlauf

Der relative Anstieg nach Belastung und die Normalisierung glichen sich in beiden Gruppen (vgl. Abb. 2).

Auch die durch den BESS-Score registrierten Fehlerzahlen nahmen nach Belastung deutlich zu und gingen nach 15 Minuten auf Ausgangsniveau zurück, jeweils auf leicht höherem Niveau für die Freizeitsportler (vgl. Abb. 3).

Für den Sprungtest wurde als Maß der Präzision die Abweichung von der geforderten senkrechten Richtung des Weitersprungs zur Seite gewählt. Es wurde das Verhältnis zwischen den Absolutwerten der Kräfte in ap- und ml-Richtung berechnet. Eine Vergrößerung des Verhältnisses bedeutet somit eine Abnahme der Präzision.

Für den Weitersprung in Richtung des dominanten Beins ergab sich ein ICC von 0,79 (95 % KI: 0,49-0,91), zum Spielbein ein ICC von 0,60 (95 % KI: 0,04-0,84) (vorläufige Ergebnisse, weitere Auswertungen folgen).

Bezüglich der Laufbandbelastung zeigte sich in der Gesamtgruppe eine Beeinträchtigung der Präzision der Sprungrichtung direkt nach Belastung, die in der Gruppe der FS etwas größer ausgeprägt war. Für den Weitersprung zum Spielbein war dies in der ersten und fünften Minute nach Belastung signifikant und ging in der zehnten Minute nach der Belastung auf das Ausgangsniveau zurück (vgl. Abb. 4).

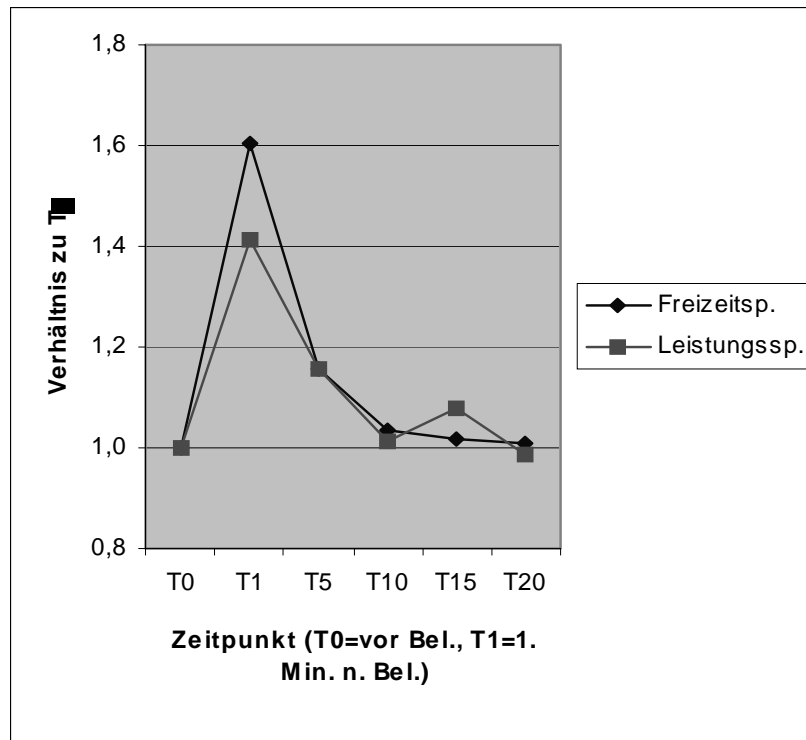


Abb. 4: Relative Veränderung bei Weitersprung zum Spielbein (nicht-dominantes Bein)

4 Diskussion

Unsere Ergebnisse bestätigen, dass der Einbeinstandtest mit geschlossenen Augen ein reliabler Test zur Bestimmung der statischen Gleichgewichtskontrolle ist. Auch der eigens konzipierte Sprungtest mit Überraschung bezüglich des Weitersprungs zeigte für den Weitersprung zum dominanten Bein akzeptable Reliabilitätswerte, zum Spielbein wurde nicht dieselbe Reliabilität erreicht (weitere Auswertungen folgen). Die Qualität des Weitersprungs scheint außer vom Grad der Ermüdung von weiteren Faktoren wie Motivation und Konzentrationsvermögen abzuhängen, die jedoch auch im Rahmen der sportlichen Aktivität Einfluss auf die Qualität der Bewegung nehmen. So könnten durch den Test auch mögliche andere Risikofaktoren erfasst werden.

Neu ist insbesondere die Implementierung eines schnellen und unvorhergesehenen Richtungswechsels, kombiniert mit unterschiedlichen motorischen Aufgaben. Eine vorgeschaltete Lernphase des Sprungablaufs mit Betätigung des Ballschalters und Weitersprüngen hat sich im Rahmen dieses Pilotprojektes bewährt. Der Testablauf kann in Folgestudien noch in Bezug auf die Anweisungen für den Weitersprung verändert werden. In diesem ersten Ansatz war die Aufgabenstellung ein möglichst rechtwinkliger Weitersprung. Die Richtungsabweichung soll ein Maß für die Präzision und das Koordinationsvermögen darstellen.

Eine unserer Hypothesen lautete, dass ermüdete Sportler herabgesetzte sensomotorische Fähigkeiten besitzen, was sich in verminderter statischer und dynamischer Gleichgewichtskontrolle ausdrückt. Vorteil einer 30minütigen Laufbandbelastung an der anaeroben Schwelle gegenüber herkömmlichen isokinetischen, isometrischen oder anderen Belastungsprotokollen (Wikstrom, Powers & Tillman, 2004; Ageberg et al., 2003) mit einer für alle Probanden identischen Belastung ist, dass jeder Proband exakt seinem Leistungsstand entsprechend belastet wird. Sowohl im Einbeinstandtest als auch im Sprungtest zeigte sich ein negativer Einfluss einer Ausdauerbelastung an der anaeroben Schwelle auf die neuromuskuläre Kontrolle des Sprunggelenks. Dieses hat insofern praktische Relevanz, als dass selbst eine subjektiv mittelmäßig erschöpfende sportliche Betätigung bereits nach einer halben Stunde mit einem erhöhten Verletzungsrisiko behaftet sein könnte. Da im Einbeinstandtest die Augen geschlossen waren, ist es wahrscheinlich, dass ein Teil der Beeinträchtigung auf eine Beeinflussung der propriozeptiven Fähigkeiten zurückzuführen ist. Es wird postuliert, dass Individuen durch eine herabgesetzte Gleichgewichtskontrolle nach unterschiedlichen ermüdenden Aufgaben ein größeres Verletzungsrisiko besitzen. (Yaggie & McGregor, 2002) Die Leistungssportler schienen bessere Voraussetzungen für die statische Gleichgewichtskontrolle zu besitzen, da sie auf einem niedrigeren Niveau einstiegen. Die relative Zunahme der Geschwindigkeit der COP-Verlagerungen und der Fehlerwerte erreichte jedoch in beiden Gruppen entsprechende Ausmaße. Auch die Erholungsgeschwindigkeit ähnelte sich. Das Training oder die Konstitution von Leistungssportlern bewirkt somit eine Parallelverschiebung zu niedrigeren Werten, vermag jedoch den Einfluss einer Ausdauerbelastung auf die statische Gleichgewichtskontrolle nicht vollkommen zu beseitigen.

Darauf weist auch das Ergebnis des Sprungtests hin. Bei mangelnder Koordination der Sprungrezeption kann der Weitersprung oder -schritt nicht in der geforderten Richtung durchgeführt werden. In einer realen Wettkampfsituation kann ggf. ein Gegnerkontakt nicht vermieden werden und es kann hieraus eine Verletzung in Form eines Supinationstraumas entstehen. Durch die visuelle Kontrolle scheint eine gewisse Kompensation der durch die Belastung beeinträchtigten propriozeptiven Fähigkeiten möglich (Vuillerme, Nougier & Prieur, 2001). Im Sprungtest waren statistisch keine Gruppenunterschiede erfassbar. Daraus könnte einerseits geschlossen werden, dass hier bei den Leistungssportlern Trainingsbedarf besteht. Andererseits könnten auch den Freizeitsportlern ausreichende koordinative Fähigkeiten zur Verfügung stehen.

Insgesamt waren die Veränderungen der sensomotorischen und propriozeptiven Fähigkeiten durch die Belastung innerhalb der 20 Minuten Erholungsphase vollständig rückläufig, statistisch bereits zehn Minuten nach der Belastung nicht mehr nachweisbar.

Somit kann geschlussfolgert werden, dass Sportler nach einer halbstündigen erschöpfenden Belastung nach einer Pause von fünf bis zehn Minuten bereits teilweise, jedoch noch nicht vollständig erholte sensomotorische Fähigkeiten besitzen.

5 Schlussfolgerung

Der dargestellte Versuchsaufbau stellt eine geeignete Messapparatur für die Bestimmung der sensomotorischen Sprunggelenkskontrolle dar. Der Einbeinstandtest zeigt exzellente Reliabilitätswerte. Gegenüber herkömmlichen Versuchsaufbauten ist es durch die Einführung eines Ballschalters in einen Sprungtest gelungen, sportnahe Bewegungssituationen standardisiert in die Testsituation zu überführen. Der Sprungtest mit Überraschungseffekt bezüglich der Richtung und der motorischen Aufgabe stellt hohe Anforderungen an den Probanden. Das Protokoll des Sprungtests kann durch veränderte Anweisungen für den Weitersprung unterschiedlichen Fragestellungen angepasst und so gegebenenfalls die Reliabilität noch gesteigert werden.

Eine Ausdauerbelastung an der anaeroben Schwelle vermag es, die sensomotorischen Fähigkeiten sowohl in der statischen als auch in der dynamischen Gleichgewichtskontrolle zu beeinträchtigen. Dies ließ sich für Freizeit- und für Leistungssportler nachweisen. Zehn Minuten nach der Belastung waren die sensomotorischen Fähigkeiten soweit erholt, dass die Defizite statistisch nicht mehr nachweisbar waren.

Der Versuchsaufbau könnte künftig auch dazu dienen, Risikopersonen für Verletzungen an Sprunggelenk und Knie aufgrund von koordinativen Defiziten früh zu erkennen und diesen zusätzliche Trainingselemente und weitere prophylaktische Maßnahmen anzubieten. Verletzte Sportler am Ende der Rehabilitationsphase können mit den Tests begleitet werden.

6 Literatur

- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health*, 16 Suppl 1, 55-58.
- Wilkins, J. C., Valovich McLeod, T. C., Perrin, D. H. & Gansneder, B. M. (2004). Performance on the Balance Error Scoring System Decreases After Fatigue. *J Athl Train*, 39 (2), 156-161.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. E. & Tillman, M. D. (2004). Dynamic Stabilization Time After Isokinetic and Functional Fatigue. *J Athl Train*, 39 (3), 247-253.
- Yaggie, J. A. & McGregor, S. J. (2002). Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Arch Phys Med Rehabil*, 83 (2), 224-228.

- Vuillerme, N., Forestier, N. & Nougier, V. (2002). Attentional demands and postural sway: the effect of the calf muscles fatigue. *Med Sci Sports Exerc*, 34 (12), 1907-1912.
- Nardone, A., Tarantola, J., Giordano, A. & Schieppati, M. (1997). Fatigue effects on body balance. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 105 (4), 309-320.
- Nardone, A., Tarantola, J., Galante, M. & Schieppati, M. (1998). Time course of stabilometric changes after a strenuous treadmill exercise. *Arch Phys Med Rehabil*, 79 (8), 920-924.
- Susco, T. M, Valovich McLeod, T. C., Gansneder, B. M. & Shultz, S. J. (2004). Balance Recovers Within 20 Minutes After Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *J Athl Train*, 39 (3), 241-246.
- Ageberg, E., Roberts, D., Holmstrom, E. & Friden, T. (2003). Balance in single-limb stance in healthy subjects. Reliability of testing procedure and the effect of short-duration sub-maximal cycling. *BMC Musculoskelet Disord*, 4, 14.
- Vuillerme, N., Nougier, V. & Prieur, J.-M. (2001). Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans? *Neuroscience Letters*, 308, 103-106.

