

# Einfluss von Konstitution und Belastung auf die posturale Stabilität

## Influence of Bodily Constitution and Physical Activity on Postural Stability

**Autoren**

J. Strobel, C. Spengler, M. Stefanski, B. Friemert, H.-G. Palm

**Institut**

Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Unfallchirurgische Forschungsgruppe, Bundeswehrkrankenhaus Ulm

**Schlüsselwörter**

- posturale Stabilität
- Posturografie
- BMI
- körperliche Belastung
- Konstitution

**Key words**

- postural stability
- posturography
- BMI
- physical activity
- bodily constitution

**Bibliografie**

**DOI** <http://dx.doi.org/10.1055/s-0029-1246114>  
 Sportverl Sportschad 2011; 25: 159 – 166 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0932-0555

**Korrespondenzadresse**

**Dr. Hans-Georg Palm**  
 Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,  
 Bundeswehrkrankenhaus Ulm  
 Oberer Eselsberg 40  
 89081 Ulm  
[hg\\_palm@yahoo.de](mailto:hg_palm@yahoo.de)

**Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Zur Erhaltung von Balance und Gleichgewicht verarbeitet die posturale Kontrolle v. a. visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen und setzt diese in adäquate motorische Reaktionen um. Bisher bleibt noch unklar, welchen Einfluss körperliche Konstitution und Belastung auf Motorik und somit posturale Stabilität haben. Ziel dieser Studie war daher, mittels computerunterstützter dynamischer Posturografie (CDP) den Einfluss von Größe, BMI, Geschlecht und akuter körperlicher Ausbelastung auf das Gleichgewicht zu untersuchen.

**Probanden und Methoden:** 84 Probanden wurden nach standardisierten Fragebogen zu Größe, BMI und sportlicher Aktivität befragt und dann die posturale Stabilität bestimmt. 17 weitere Probanden wurden mittels Fahrradergometrie ausbelastet. Nach definiertem Protokoll fand hier die CDP in Ruhe, bei maximaler Belastung und dann in 5-minütigen Abständen bis zur Erholung statt.

**Ergebnisse:** Größe, Geschlecht und regelmäßige körperliche Aktivität hatten keinen Einfluss auf die Balancefähigkeit. Ein deutlicher Effekt konnte hingegen bei akuter körperlicher Belastung beobachtet werden: Unmittelbar nach Ausbelastung verschlechterte sich die posturale Stabilität im Vergleich zum Ausgangswert um 44% ( $p < 0,017$ ). Bereits 15 Minuten später wurde eine vollständige Erholung beobachtet.

**Schlussfolgerung:** Während Größe und regelmäßiger Freizeitsport nicht die Balancefähigkeit beeinflussen, führen hoher BMI und akute Ausbelastung zu einer deutlichen Reduktion der posturalen Stabilität. Die Ergebnisse können daher das ansteigende Verletzungsrisiko nach starker Beanspruchung gut erklären, insbesondere bei Sportarten, welche ein hohes Maß an Gleichgewichtsvermögen erfordern.

**Abstract**

**Context and objective:** In order for balance to be maintained, the postural control system must process above all visual, vestibular and proprioceptive information and translate this input into appropriate motor responses. The influence of bodily constitution and physical activity on motor responses and thus on postural stability is still unclear. To use computerized dynamic posturography (CDP) to investigate the influence of body height, body mass index (BMI), regular sporting activity and acute maximal exercise on balance.

**Subjects and methods:** Eighty-four subjects completed a standardized questionnaire on their height, BMI and sporting activity. We then assessed the postural stability of the subjects. Seventeen further subjects performed a maximal exercise test on a bicycle ergometer. We used CDP and a predefined protocol to assess balance at rest, at maximal exercise and then at 5-minute intervals until recovery.

**Results:** Body height and regular physical activity did not influence balance ability. By contrast, BMI and acute physical exercise had a strong effect. Immediately after maximal exercise, postural stability deteriorated by 44% compared to the baseline level ( $p < 0.017$ ). Complete recovery occurred within only 15 minutes.

**Conclusions:** Whereas body height and regular physical activity do not influence balance performance, a high BMI value and acute maximal exercise lead to a considerable decrease in postural stability. Our results can thus explain the increasing risk of injury after strenuous physical activity, especially in association with sports that require excellent balance.

## Einleitung

Die posturale Stabilität dient dem aufrechten Stand und Gang des Menschen. Dabei handelt es sich um einen dynamischen Prozess, der ständig zahlreiche Afferenzen aus visuellen, vestibulären und propriozeptiven Rezeptoren in hierarchischer Form verarbeitet und mit motorischen Antworten notwendige Korrekturbewegungen zur Bewahrung des Gleichgewichts veranlasst. Aufgrund der Komplexität des Zusammenspiels dieser Systeme resultieren zahlreiche Faktoren unterschiedlichster Entität in einer Störung des stabilen Standes und Ganges. Mit adäquaten motorischen Antworten kann jedoch die aufrechte Körperhaltung beibehalten werden und der labil-gelagerte Schwerpunkt über der Standfläche im Sinne eines „umgedrehten Pendels“ bewahrt werden [1].

Demnach wurde posturale Imbalance als Ungleichgewicht zwischen den verschiedenen sensorischen Eingängen beschrieben [2]. Hier sind nicht nur Verletzungen der unteren Extremität von Bedeutung [3–5], sondern auch endogene, nicht pathologische Faktoren w.z.B. das Alter [6–8] von großer Wichtigkeit, wie man vom erhöhten Sturzrisiko älterer Menschen weiß [7]. Bleibt man bei dem von Maurer et al. [1] beschriebenen Beispiel des „umgedrehten Pendels“, so liegt es nahe, dass neben dem Alter auch Faktoren wie Größe, Gewicht und BMI von relevanter Bedeutung für den Erhalt der Balancefähigkeit sein können, zumal sie direkt die Lage des Körperschwerpunktes bedingen. Erste Erkenntnisse hierzu lassen sich bei Aydog et al. [9] und Hue et al. [10] finden, die beide den Einfluss von Gewicht und BMI untersucht haben. Neben den erwähnten konstitutionellen Faktoren spielen aber auch motorische „Rückstellkräfte“ eine wichtige Rolle, um die posturale Kontrolle bei Verlust des Gleichgewichts zu bewahren. Da bei vielen Sportarten (z.B. in der Leichtathletik oder Nahkampfsport) höchste Aufgaben an Balance und Koordinationsfähigkeit gestellt werden, liegt die Vermutung nahe, dass sportliche Aktivität zu einer Verbesserung der posturalen Kontrolle führt. Dennoch kann aber auch zu viel Belastung zum Gegenteil führen und die Balancefähigkeit herabsetzen [11]. Gerade für Sportarten, die eine große Balancefähigkeit voraussetzen ist dies wichtig. Sie erfordern ein hohes Maß an Training, dürfen aber nicht Gefahr laufen, die Belastung so hoch zu setzen, dass es sich negativ auf die Stabilität auswirkt.

Unklar ist also, welche Bedeutung Konstitution, regelmäßige sportliche Aktivität und akute körperliche Ausbelastung (und somit Erschöpfung) auf unsere Balancefähigkeit haben. Daher war das Ziel unserer klinisch-experimentellen Studie, den Einfluss von körperlicher Konstitution (Größe, Gewicht/BMI), regelmäßiger sportlicher Aktivität und schließlich akuter körperlicher Belastung auf die Balancefähigkeit mittels sensibler computerunterstützter dynamischer Posturografie zu untersuchen.

## Probanden und Methoden

### Probanden

Zur Evaluation des Einflusses von Konstitution und Sportniveau wurden insgesamt 84 Probanden eingeschlossen, davon 43 Männer und 41 Frauen.

Für die Belastungsmessung testeten wir zusätzlich 17 Probanden, davon 9 Männer und 8 Frauen (► **Tab. 1**).

Zur Staturerhebung wurde neben der Anamnese eine körperliche Untersuchung durchgeführt. Ausgeschlossen wurden Personen, welche eine akute oder chronische Erkrankung des orthopädischen oder neurologischen Formenkreises aufwiesen, die unter einer metabolischen Grunderkrankung litten oder die dauerhaft Medikamente mit Ausnahme oraler Kontrazeptiva einnahmen. Weiterhin waren alle Probanden dieser Gruppe Freizeitsportler, um eine Homogenität aller Gruppen zu gewährleisten. Bei der Bewertung der regelmäßigen sportlichen Aktivität unterschieden sich die Gruppen daher in der Intensität des Freizeitsports (Dauer des Laufens oder Radfahrens pro Woche), nicht aber in der „Professionalität“.

### Messapparatur

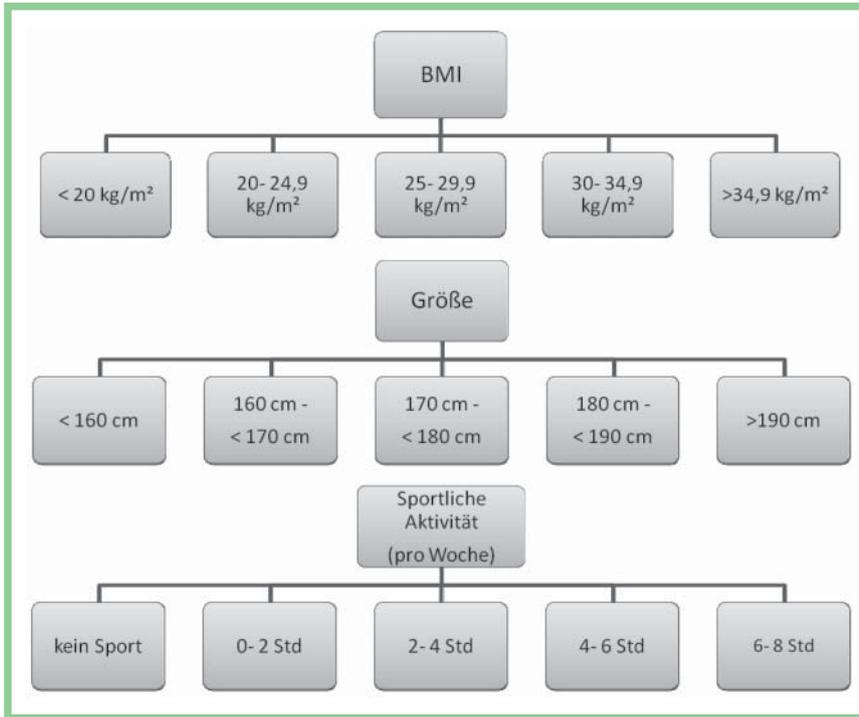
Bei dem verwendeten Biodex Balance System® (Biodex, Shirley, USA) handelt es sich um eine Plattform, die freie Beweglichkeit in Richtung aller Achsen aufweist und bei einer Messgenauigkeit auf 0,1° genau bis zu 20° abkippen kann. Die durchschnittliche Auslenkung im zeitlichen Verlauf wird als mediolateraler Stabilitätsindex (MLSI), anterioposteriorer Stabilitätsindex (APSI) und gesamter (overall) Stabilitätsindex (OSI) berechnet (Einheit: Winkelgrad), hierbei spiegelt ein niedriger Stabilitätsindex bessere Werte wieder als ein größerer. Neben einem stabilen Level (Plattform lenkt nicht aus) lassen sich zwölf dynamische Level einstellen, bei denen sich die Platte durch Gewichtsverlagerung passiv auslenken lässt. Die Standfestigkeit nimmt von Level 1 bis Level 12 kontinuierlich zu. Wir wählten zur besseren Vergleichbarkeit unserer Experimente das mittlere Level 8, da dieses in den meisten Studien verwendet wird [9, 12, 13]. Um bei der Prüfung der Standstabilität ein visuelles Feedback zu verhindern, wurde der Bildschirm verdeckt und der Blick des Teilnehmers war bei geöffneten Augen frei geradeaus.

### Die Konstitution und sportliche Aktivität als Einflussfaktoren auf die posturale Kontrolle – Versuchsdurchführung

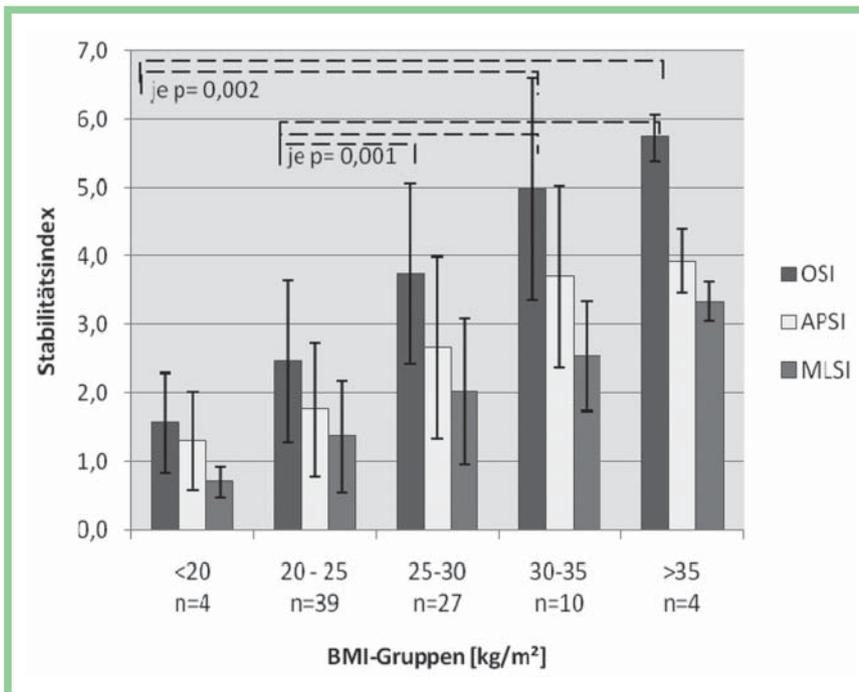
Zur Untersuchung der Konstitution erfolgte zunächst eine Befragung und Untersuchung nach den Parametern: Größe, BMI und sportliche Aktivität. Dabei wurden zur besseren Übersicht jeweils 5 Subgruppen gebildet (► **Abb. 1**). Dann erfolgte die Stabilitätstestung mittels computerunterstützter dynamischer Posturografie (CDP). Die Messungen wurden mit offenen Augen, aber verdecktem Bildschirm und bei dem mittelgradig stabilen Level 8 je dreimal durchgeführt und der Stabilitätsin-

**Tab. 1** Übersicht über die Probandenzahl der Teilversuche. Aufgetragen sind die Anzahl, Alter, Größe und Gewicht der Probanden mit der jeweiligen Standardabweichung.

		Probanden	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]
Konstitution und Sportniveau	männlich	43	37,8 ± 16,7	181 ± 11	85,5 ± 14,0
	weiblich	41	34,9 ± 15,5	167 ± 13	67,7 ± 10,1
akute Belastung	männlich	9	25,3 ± 1,9	180 ± 10	77,3 ± 5,3
	weiblich	8	23,9 ± 2,4	172 ± 12	66,4 ± 6,4



**Abb. 1** Dargestellt sind die Gruppeneinteilungen zum Versuchsteil Konstitution und sportliche Aktivität.



**Abb. 2** Vergleich der verschiedenen BMI-Gruppen. Dargestellt sind die Stabilitätsindizes OSI, APSI und MLSI in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit. Die gestrichelten Linien zeigen die einzelnen p-Werte an, aus Gründen der Übersichtlichkeit repräsentativ nur über dem OSI. Unter den einzelnen Gruppen gibt n die Anzahl der jeweiligen Probanden an.

dex (Winkelgrad) aus allen drei Messungen gemittelt. Die Probanden trugen ihre eigenen Sportschuhe.

### Versuchsaufbau zur Testung der akuten körperlichen Belastung

Bei der Betrachtung der körperlichen Belastung und ihr Einfluss auf die Balance wurde jeder einzelne Proband zu den Zeitpunkten vor, unmittelbar nach, 5 Minuten nach, 10 Minuten nach und 15 Minuten nach Ausbelastung gemessen. Auch hier verwendeten wir das Level 8 im beidbeinigen Stand mit je dreimaliger Messung pro Zeitpunkt. Da von Pincivero [13] bereits ein

möglicher Trainingseffekt bei der CDP ausgeschlossen wurde, konnte auf eine Kontrollgruppe ohne Belastung verzichtet werden.

Die Probanden sollten sich zirka 10 Minuten bei leichter Belastung auf einem Fahrradergometer warm fahren, dann wurde alle etwa 30 Sekunden die Belastung erhöht. Während der Belastung wurde bei den Probanden konstant die Pulsfrequenz gemessen um eine Ausbelastung bei Maximalpuls zu gewährleisten. Der Widerstand des Ergometers wurde so lange erhöht, bis die maximale Pulszahl des jeweiligen Probanden erreicht wurde. Jeder Proband verbrachte so ca. 12–14 Minuten auf dem

Ergometer. Die maximale Pulsfrequenz wurde mit der Formel nach Spanaus ermittelt [14] (Männer: Maximalpuls=223 – 0,9×Lebensalter in Jahren, Frauen: Maximalpuls=226 – Lebensalter in Jahren).

### Statistik

Es wurde neben deskriptiver Statistik computerunterstützt der Stabilitätsindex (Winkelgrad) berechnet. Die zuvor erfolgte Fallzahlplanung basiert auf unseren Vorversuchen. Mittels einfacher ANOVA erfolgte der Mehrgruppenvergleich aller Gruppen und Beobachtungszeitpunkte (Power 80%, beidseitige Betrachtung, Signifikanzniveau  $p < 0,05$ ). Die statistischen Analysen wurden mit dem Statistikpaket SPSS durchgeführt.

Die Studie war durch die Ethikkommission der Universität Ulm (Antrag-Nr. 65/08) genehmigt worden. Die Rechte der Studienteilnehmer waren gemäß der Erklärung von Helsinki geschützt.

### Ergebnisse



#### Der BMI hat einen signifikanten Einfluss auf die Balancefähigkeit

Bei dem Studienabschnitt zu Größe, Body-Mass-Index (BMI) und sportlicher Aktivität war bei den Untersuchungen des Stabilitätsindex zum Körpergewicht der OSI mit einem Wert von  $1,6^\circ \pm 0,7^\circ$  in der Gruppe unter  $20 \text{ kg/m}^2$  am geringsten und bei einem Wert von  $5,7^\circ \pm 0,3^\circ$  bei den Probanden mit einem BMI von  $> 35 \text{ kg/m}^2$  am größten ( $p = 0,002$ ). Zwischen den Gruppen BMI  $< 25 \text{ kg/m}^2$  und BMI  $> 30 \text{ kg/m}^2$  ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) (● Abb. 2, ● Tab. 2).

#### Die Größe hat keinen Einfluss auf die posturale Stabilität

Eine signifikante Bedeutung der Körpergröße auf die Standstabilität konnte in den fünf Gruppen (● Abb. 1) nicht beobachtet werden. Auch wenn zwar die Indizes der Gruppen 4 und 5 höher lagen als bei den drei Gruppen unter 181 cm, so ließ sich in der statistischen Auswertung der ANOVA (● Tab. 3) keine

**Tab. 2** Von links nach rechts folgen in den Spalten: Gruppeneinteilung entsprechend der Größe, Mittelwert (MW) [Winkelgrad], Standardabweichung (SA), Standardfehler (SF), untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls für den Mittelwert und schließlich die gemessenen Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max).

	Größe	MW	SA	95% KI		Min	Max
				unt. Grenze	ob. Grenze		
OSI	< 160 cm	2,9	1,9	1,6	4,3	1,5	7,4
	160 – 170 cm	2,8	1,8	2,0	3,6	0,7	6,9
	171 – 180 cm	3,0	1,4	2,4	3,5	1,0	6,2
	181 – 190 cm	3,9	1,1	3,3	4,4	2,0	5,6
	> 190 cm	3,8	2,0	1,4	6,2	2,3	7,1
APSI	< 160 cm	2,3	1,9	1,0	3,6	1,0	7,2
	160 – 170 cm	2,0	1,5	1,4	2,7	0,4	5,5
	171 – 180 cm	2,2	1,2	1,8	2,6	0,6	5,0
	181 – 190 cm	2,6	0,8	2,2	3,1	1,2	4,1
	> 190 cm	2,8	1,5	1,0	4,7	1,5	5,2
MLSI	< 160 cm	1,7	1,5	0,6	2,8	0,7	5,5
	160 – 170 cm	1,6	1,2	1,1	2,1	0,5	5,4
	171 – 180 cm	1,5	0,7	1,2	1,8	0,5	3,0
	181 – 190 cm	2,3	0,9	1,8	2,8	0,6	3,8
	< 160 cm	1,7	1,5	0,6	3,3	1,0	3,9

**Tab. 3** Von links nach rechts folgen in den Spalten: BMI-Gruppe, Mittelwert (MW) [Winkelgrad], Standardabweichung (SA), Standardfehler (SF), untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls für den Mittelwert und schließlich die gemessenen Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max).

	BMI	MW	SA	95% KI		Min	Max
				unt. Grenze	ob. Grenze		
OSI	< 20 kg/m <sup>2</sup>	1,6	0,7	0,7	3,8	1,0	2,6
	20 – 25 kg/m <sup>2</sup>	2,5	1,2	2,1	2,8	0,7	6,9
	25 – 30 kg/m <sup>2</sup>	3,7	1,3	3,2	4,3	1,4	7,4
	30 – 35 kg/m <sup>2</sup>	5,0	1,6	3,4	6,6	2,0	7,1
	> 35 kg/m <sup>2</sup>	5,7	0,3	4,7	6,8	5,4	6,2
APSI	< 20 kg/m <sup>2</sup>	1,3	0,9	0,6	3,5	0,8	2,3
	20 – 25 kg/m <sup>2</sup>	1,8	1,0	1,5	2,1	0,4	5,3
	25 – 30 kg/m <sup>2</sup>	2,7	1,3	2,1	3,2	1,1	7,2
	30 – 35 kg/m <sup>2</sup>	3,7	1,4	2,4	5,0	1,3	5,5
	> 35 kg/m <sup>2</sup>	3,9	0,6	2,5	5,4	3,5	4,6
MLSI	< 20 kg/m <sup>2</sup>	0,7	0,3	0,5	1,4	0,5	1,0
	20 – 25 kg/m <sup>2</sup>	1,4	0,8	1,1	1,6	0,5	5,4
	25 – 30 kg/m <sup>2</sup>	2,0	1,1	1,6	2,5	0,7	5,5
	30 – 35 kg/m <sup>2</sup>	2,5	0,9	1,7	3,3	1,2	3,9
	> 35 kg/m <sup>2</sup>	3,3	0,4	2,5	4,2	3,0	3,7

signifikante Differenz aufzeigen. Bei der grafischen Darstellung (● Abb. 3) fällt neben dem fehlenden Trendverlauf zwischen allen Gruppen auf, dass die Standardabweichung aller Beobachtungseinheiten mit bis zu 2,0° sehr hoch ist.

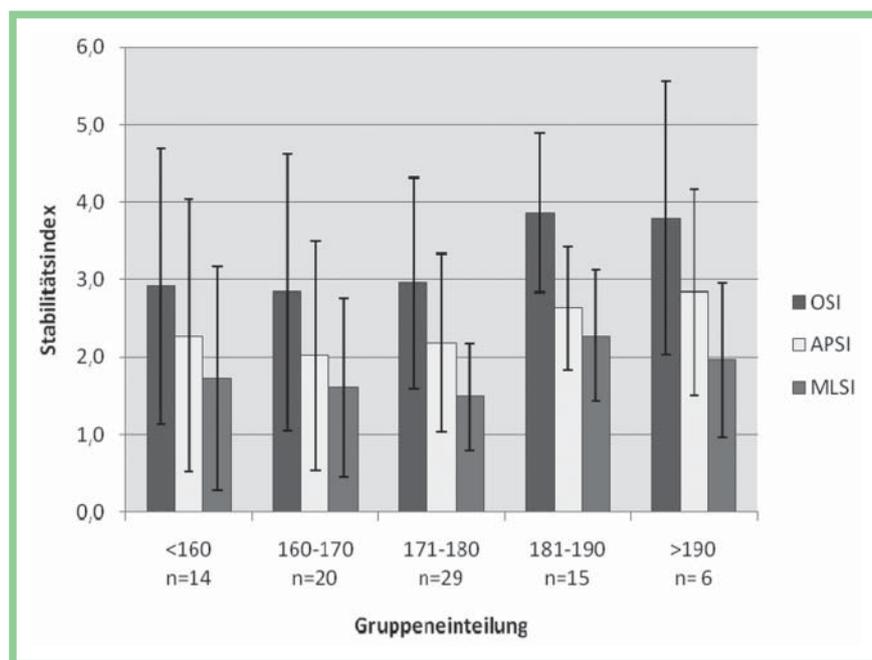
**Das Ausmaß des Freizeitsports hat keine Relevanz für ein höheres Gleichgewichtsvermögen**

Die Untersuchung der Abhängigkeit des Stabilitätsindex von der Anzahl in der Freizeit geleisteter Sportstunden (Laufen, Fahrradfahren) pro Woche ergab keinen signifikanten Zusammenhang. Mit 2,5° ± 1,1° war der OSI bei Probanden, die 2–4 Std. Sport pro Woche betrieben am niedrigsten (und somit Ausdruck einer hohen Standstabilität) (● Tab. 4). Vergleicht man die Ergebnisse der Probanden mit den meisten Sportstunden mit denen, die am wenigsten Sport machten, kann keine signifikante Differenz

festgestellt werden. Die grafische Darstellung (● Abb. 4) lässt auch keinen tendenziellen Verlauf erkennen.

**Akute körperliche Ausbelastung verschlechtert signifikant die posturale Stabilität**

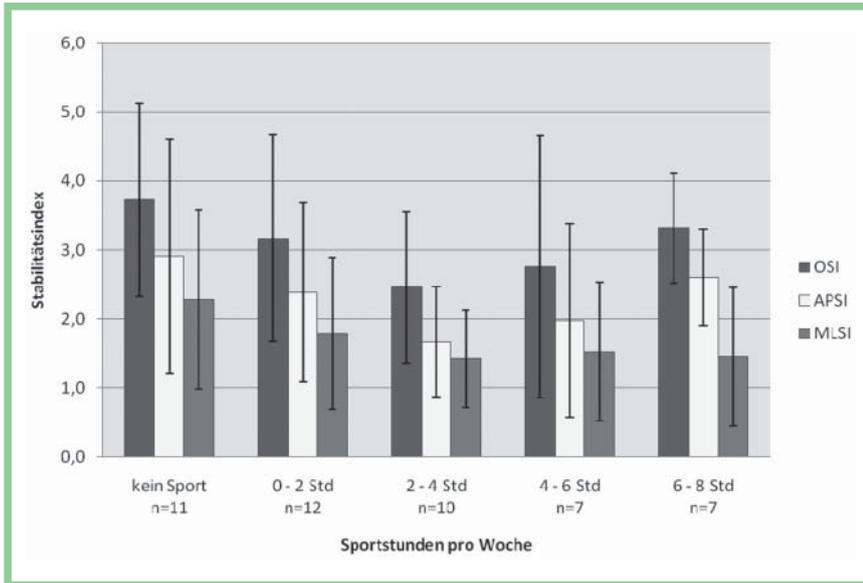
Auch wenn bei regelmäßiger sportlicher Aktivität kein Einfluss auf die Standstabilität nachweisbar war, so zeigte die Testung akuter körperlicher Belastung deutlich signifikante Zusammenhänge. Der OSI stieg unmittelbar nach der Belastung von 2,5° ± 1,4° auf 3,6° ± 2,2° an, was einer relativen Änderung von 44,0% entsprach (p=0,017). 5 Minuten nach der Belastung betrug der OSI noch 3,1° ± 1,6°, was eine Steigerung von 24,0% gegenüber dem Ruhewert bedeutete. 10 Minuten nach Belastung war der OSI mit 2,7° ± 1,4° nur noch um 8,0% erhöht und 15 Minuten nach Belastung lag der OSI mit 2,4° ± 1,3° um 4,0% unter dem Ruhezustand (● Abb. 5, ● Tab. 5).



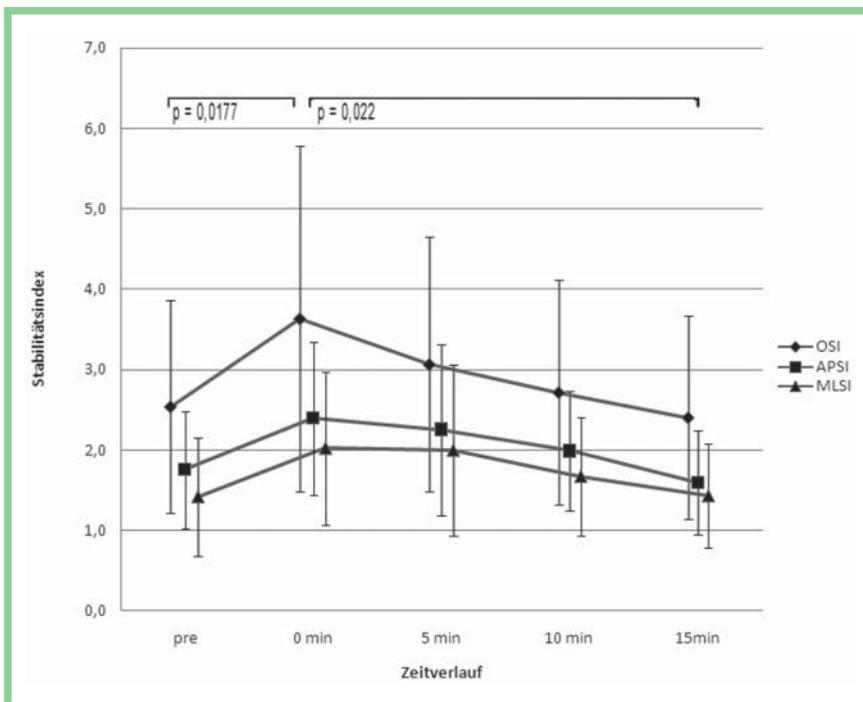
**Abb. 3** Vergleich der verschiedenen Größengruppen. Dargestellt sind die Stabilitätsindizes OSI, APSI und MLSI in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit. n zeigt dabei die Probandenzahl in der jeweiligen Gruppe. Signifikante Unterschiede konnten hier nicht ermittelt werden.

**Tab. 4** Von links nach rechts folgen in den Spalten: Modus der Messung, Mittelwert (MW) [Winkelgrad], Standardabweichung (SA), Standardfehler (SF), untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls für den Mittelwert und schließlich die gemessenen Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max).

	Freizeitsport	MW	SA	95% KI		Min	Max
				unt. Grenze	ob. Grenze		
OSI	kein Sport	3,7	1,4	2,8	4,7	2,2	7,4
	0 – 2 Std	3,2	1,5	2,3	4,1	1,4	6,9
	2 – 4 Std	2,5	1,1	1,7	3,3	1,6	5,1
	4 – 6 Std	2,8	1,9	1	4,5	0,9	5
	> 4 Std	3,3	0,8	2,1	4,5	2,5	4,1
APSI	kein Sport	2,8	1,7	1,7	4	0,8	7,2
	0 – 2 Std	2,4	1,3	1,6	3,2	1,1	5,3
	2 – 4 Std	1,7	0,8	1,1	2,2	1,2	3,8
	4 – 6 Std	2	1,4	0,7	3,3	0,6	3,8
	> 4 Std	2,6	0,7	1,5	3,7	1,8	3,5
MLSI	kein Sport	2,2	1,3	1,3	3	0,8	5,5
	0 – 2 Std	1,8	1,1	1,1	2,4	0,7	5,4
	2 – 4 Std	1,4	0,7	0,9	1,9	0,8	2,8
	4 – 6 Std	1,5	1	0,6	2,4	0,5	3,1
	> 4 Std	1,5	1	-0,1	3	0,6	2,9



**Abb. 4** Körperliche Aktivität. Dargestellt werden die Stabilitätsindizes des OSI, APSI und MLSI. Signifikante Unterschiede wurden hier nicht beobachtet. Unter den einzelnen Gruppen ist mit n die Probandenanzahl der jeweiligen Gruppen beschrieben. Nach rechts ist die durchschnittliche Anzahl der Sportstunden (Laufen, Fahrradfahren) aufgetragen, nach oben der Stabilitätsindex.



**Abb. 5** Dargestellt wird der Verlauf der Stabilitätsindizes OSI, APSI und MLSI. Signifikante Unterschiede mit  $p = 0,017$  wurden hier vor (pre) und unmittelbar nach Belastung (0 Minuten) festgestellt. 15 Minuten nach Belastung war der Unterschied zu unmittelbar nach Belastung mit  $p = 0,022$  ebenfalls signifikant, aus Gründen der Übersicht sind nur die p-Werte des OSI dargestellt. Nach rechts ist der Zeitverlauf der Untersuchung aufgetragen und nach oben der Stabilitätsindex.

## Diskussion

Ziel unserer prospektiven, klinisch-experimentellen Studie war, den Einfluss der körperlichen Konstitution auf die posturale Kontrolle als Maß für die Balancefähigkeit zu beleuchten. Aufgrund der hohen Relevanz eines intakten Gleichgewichtsvermögens bei Sportlern haben wir zum einen die Konstitution der Probanden (Größe und Gewicht) untersucht, zum anderen betrachteten wir in einem weiteren Studienabschnitt, wie sich regelmäßige sportliche Aktivität und akute körperliche Ausbelastung auf die Balance auswirkt.

Wir konnten zeigen, dass akute körperliche (Aus-)Belastung zu einer deutlichen Reduktion der Balancefähigkeit um 44,0% führte. Eine vollständige Erholung des Gleichgewichtsvermögens zum Ausgangswert konnte bereits 15 Minuten nach körperlicher Aktivität registriert werden.

Der Body-Mass-Index (BMI) spielte ebenfalls eine sehr wichtige Rolle für die Balancefähigkeit, da mit steigendem BMI die stabile Standfähigkeit einer Person signifikant abnimmt. Weiterhin konnten wir Hinweise finden, dass die Faktoren Größe oder regelmäßige sportliche Aktivität keinen Einfluss auf die posturale Stabilität hatten.

### Der BMI wirkt sich stark auf die posturale Stabilität aus

Unter rein mechanisch-physikalischen Erwägungen liegt die Vermutung nahe, dass die Konstitution eines Probanden von Relevanz für die Erhaltung der Balance ist. Arbeitsgruppen um Angyan et al., Greve et al. und Hue et al. argumentierten, dass bei schweren Menschen mehr Masse bewegt werden muss, um das Gleichgewicht halten zu können und somit auch mehr Kraft aufgewendet werden muss [10, 15, 16]. Ein Missverhältnis zwischen Übergewicht und Muskelkraft (die vom posturalen System

**Tab. 5** Von links nach rechts folgen in den Spalten: Zeitpunkt der Messung, Mittelwert (MW) [Winkelgrad], Standardabweichung (SA), Standardfehler (SF), untere und obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls für den Mittelwert und schließlich die gemessenen Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max).

akute Belastung		MW	SA	95% KI		Min	Max
				unt. Grenze	ob. Grenze		
OSI	vor Belastung	2,5	1,4	1,8	3,2	0,9	5,1
	0 Minuten	3,6	2,2	2,5	4,8	1,0	8,8
	5 Minuten	3,1	1,6	2,2	3,9	1,3	7,0
	10 Minuten	2,7	1,4	2,0	3,5	1,3	6,0
	15 Minuten	2,4	1,3	1,7	3,1	1,1	5,2
APSI	vor Belastung	1,8	1,0	1,2	2,3	0,5	4,1
	0 Minuten	2,4	1,3	1,7	3,1	0,8	5,3
	5 Minuten	2,3	1,2	1,6	2,9	0,8	5,3
	10 Minuten	2,0	1,2	1,4	2,6	0,9	5,8
	15 Minuten	1,6	0,7	1,2	2,0	0,6	3,0
MLSI	vor Belastung	1,4	0,8	1,0	1,8	0,5	2,6
	0 Minuten	2,0	1,0	1,5	2,5	0,9	3,8
	5 Minuten	2,0	1,1	1,4	2,6	0,8	5,2
	10 Minuten	1,7	0,8	1,3	2,1	0,6	3,5
	15 Minuten	1,4	0,7	1,1	1,8	0,5	2,9

aufgebracht wird), so schlussfolgerten Genthon et al., könnte ursächlich sein für diesen Unterschied [17]. So lassen sich unsere Ergebnisse, bei denen mit steigendem BMI auch das Maß der Instabilität zunahm, durchaus sinnvoll einordnen. Nicht nur zwischen den Gruppen BMI <20 kg/m<sup>2</sup> und BMI >35 kg/m<sup>2</sup> konnte eine Differenz des Stabilitätslevels um das 3,6-fache beobachtet werden. Auch zwischen Normalgewichtigen (BMI 20–25 kg/m<sup>2</sup>) und gering Übergewichtigen (BMI 25–30 kg/m<sup>2</sup>) konnte mit der Verdoppelung des Stabilitätsindex bereits eine signifikante Abnahme der Standstabilität beobachtet werden. Vergleichbare Beobachtungen machten auch Anker et al. und Deforche et al., die ebenfalls eine Verschlechterung der Balancefähigkeit mit steigendem BMI beschrieben haben [18, 19].

### Die Größe beeinflusst nicht die Balance

Der menschliche Körper lässt sich mit einem umgedrehten Pendel vergleichen, wobei der Körperschwerpunkt das Pendelgewicht darstellt und die Sprunggelenke dem Drehpunkt entsprechen [1]. Da hier der Abstand der Masse zum Drehpunkt einen wesentlichen Punkt bei der Stabilität dieses Systems darstellt, lag die Vermutung nahe, dass die Körpergröße Einfluss auf die Stabilität nimmt [20–22]. Erstaunlicherweise konnten wir hier keinen Zusammenhang zwischen Größe und Stabilität zeigen, obgleich größere Probanden tendenziell schlechter als kleinere waren. Berger et al. brachten die Größe in Verbindung mit der Stabilität, sie betrachteten jedoch nicht die Größe isoliert. Die Probanden unterschiedlicher Größe mussten Gewichte auf dem Rücken tragen und erst danach wurde die Stabilität gemessen. Kleinere Probanden schnitten hier schlechter ab als Große [23]. Vorher wurde hierbei keine isolierte Untersuchung der Größe durchgeführt; Rückschlüsse auf posturale Stabilität in Hinblick auf die Größe allein sind somit unseres Erachtens schwer zu ziehen. Daher stellten wir uns die Frage, ob unsere Methodik die richtige war um die Größe isoliert zu betrachten. Evtl. könnte eine neue Versuchsanordnung mit geschlossenen Augen eindeutiger Ergebnisse liefern, da hier höhere Unterschiede des Stabilitätsindex zu erwarten sind [12].

Unsere Versuchsplanung selbst basiert auf unseren vorhergehenden Untersuchungen mit biometrischer Fallzahlplanung,

sodass eine zu geringe Fallzahl vermutlich nicht ursächlich für die fehlende Signifikanz ist [12].

### Freizeitsport zeigt keinen Einfluss auf das Gleichgewicht

Um zu untersuchen, ob sich regelmäßiger Freizeitsport auf die Stabilität auswirkt, haben wir die Probanden zu ihrer sportlichen Betätigung befragt und in 5 Gruppen eingeteilt. Es wurde bereits in einigen Studien gezeigt, dass sich Hochleistungssport stark auf die posturale Stabilität auswirkt. Besonderen Einfluss findet man bei Sportarten wie Turnen und Dressurreiten [24, 25]. Wir führten unsere Tests zum Sport in Hinblick auf die Umsetzung in der Klinik durch. Die meisten Patienten im Krankenhaus üben jedoch Sport auf sehr niedrigem Level aus (wenn überhaupt) und genau diese Art Sportverhalten wurde noch nicht untersucht. Obwohl gezeigt wurde, dass sich bereits eine geringe Anzahl sportlicher Betätigung pro Woche positiv auf die Leistungsfähigkeit ausübt [26], konnten wir keinen Zusammenhang in Bezug zur Balancefähigkeit feststellen. Die Intensität des hier dargestellten Freizeitsports reicht offensichtlich nicht aus, um das Gleichgewichtsvermögen spürbar zu verbessern. Die Beanspruchung des posturalen Systems ist bei diesen Sportarten so gering, dass eine Verbesserung des Gleichgewichtsvermögens kaum erzielt werden kann.

### Körperliche Belastung verschlechtert die Balance

Als wir die Probanden bezüglich akuter Belastung testeten, fanden wir, dass nach maximaler körperlicher Betätigung, die Stabilität sehr stark abnahm. Die Gleichgewichtsfähigkeit erholte sich innerhalb 15 Minuten wieder vollständig. Es lassen sich Studien finden, in denen der Einfluss von Ausdauerbelastung bei Hochleistungssportlern auf die posturale Kontrolle betrachtet wurde: Nagy et al. haben derartige Messungen an Triathleten durchgeführt, die unmittelbar vor der Testung einen Ironman-Wettbewerb absolvierten. Die Untersuchungen ergaben, dass die Sportler nach der Belastung signifikant schlechter abschnitten als vorher [11]. In weiteren Analysen verglich Derave et al. die Auswirkungen unterschiedlicher Intensitäten, wobei ein Dauerlauf mit einem Sprint verglichen wurde. Hier entdeckte die Arbeitsgruppe, dass sich die intensivere Belastung beim Sprint stärker auswirkt [27, 28].

Muskelererschöpfung verschlechtert also unmittelbar die posturale Stabilität. Lepers et al. führten diesen Einfluss zurück auf einen weniger effektiven Einsatz der vestibulären Afferenzen und durch die veränderte muskuläre Leistungsfähigkeit nach akuter Belastung. Hierfür machten sie eine eventuelle Beeinträchtigung der efferenten Innervation der Muskelgruppen verantwortlich, die durch die starke Beanspruchung entstanden ist [28]. Eine vermehrte Atemarbeit (wurde nicht quantifiziert) und die hiermit verbundenen Bewegungen, die alle Probanden bei der Messung unmittelbar nach Belastung aufwiesen, könnte sich ebenfalls negativ auf die Messung ausgewirkt haben. Dies kann bei Sportarten, bei denen es zu erheblichen körperlichen Belastungen kommt und gleichzeitig hohe Anforderungen an die Koordination gestellt werden, von besonderer Bedeutung sein. Ein Beispiel ist Skifahren, bei dem die Steigerung der Verletzungsgefahr mit zunehmendem Erschöpfungsgrad gut untersucht ist [29].

### Zusammenfassung und Fazit für die Praxis

Wir haben den Einfluss körperlicher Konstitution (Größe und BMI), sowie regelmäßiger und akuter körperlicher Aktivität auf die posturale Kontrolle untersucht. Während Größe und regelmäßiger Freizeitsport ohne Einfluss auf die Balancefähigkeit bleiben, so führen hohes Gewicht und akute Ausbelastung zu einer deutlichen Reduktion des Gleichgewichtsvermögens. Gerade beim Testen oder Trainieren der posturalen Standfähigkeit von Sportlern gilt dies zu berücksichtigen.

Eine Reduktion des stabilen Standes um ca. 44% bei körperlicher Ausbelastung deutet indirekt auch auf ein erhöhtes Verletzungsrisiko hin. Ein möglicher Ansatz für die Praxis kann es daher sein, die posturale Standfähigkeit gerade in Phasen der Ausbelastung mittels Posturografie zu trainieren und somit das Verletzungsrisiko nachhaltig zu reduzieren. Da es sich bei unserer Untersuchung um eine Pilotstudie handelte, liegen hierfür aber noch keine Ergebnisse vor.

**Interessenkonflikt:** Nein

### Literatur

- Maurer C, Mergner T, Peterka RJ. Multisensory control of human upright stance. *Exp Brain Res* 2006; 171(2): 231–250, Epub 2005 Nov 24
- Raper SA, Soames RW. The influence of stationary auditory fields on postural sway behaviour in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1991; 63 (5): 363–367
- Friden T, Roberts D, Ageberg E. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *JOrthopSportsPhysTher* 2001; 31 (10): 567–576
- Hettinga DL. Normal joint structures and their reaction to injury. *JOrthopSportsPhysTher* 1979; 1: 83–88
- Jerosch J, Prymka M. Proprioception and joint stability. *KneeSurgSportsTraumatolArthrosc* 1996; 4 (3): 171–179
- Borah D, Wadhwa S, Singh U et al. Age related changes in postural stability. *Indian J Physiol Pharmacol* 2007; 51(4): 395–404
- Gonzalez Ramirez A, Lazaro del Nogal M. Evaluation of postural control systems in elderly patients with repeated falls. *Rev Esp Geriatr Gerontol* 2008; 43 (2): 71–75
- Haibach PS. Aging and time-to-postural stability following a visual perturbation. *Aging Clin Exp Res* 2007; 19 (6): 438–443
- Aydog E, Bal A. Evaluation of dynamic postural balance using the Biodex Stability System in rheumatoid arthritis patients. *Clin Rheumatol* 2006; 25 (4): 462–467
- Hue O, Simoneau M, Marcotte J et al. Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture* 2007; 26 (1): 32–38
- Nagy E, Toth K, Janositz G. Postural control in athletes participating in an ironman triathlon. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92: 407–413
- Palm HG, Strobel J, Achatz G et al. The Role and Interaction of Visual and Auditory Afferents in Postural Stability. *Gait Posture* 2009; 30 (3): 328–333
- Pincivero DM, Lephart SM, Henry T. Learning effects and reliability of the Biodex Stability System. *JAthlTrain* 1995; 30: P48
- Spanaus W. Herzfrequenzkontrolle im Ausdauersport. Dissertation Philosophische Fakultät. Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität; 2000
- Angyan L, Teczely T, Angyan Z. Factors affecting postural stability of healthy young adults. *Acta Physiol Hung* 2007; 94 (4): 289–299
- Greve J. Correlation between body mass index and postural balance. *Clinics* 2007; 62 (6): 717–720
- Genthon N, Rougier P. Influence of an asymmetrical body weight distribution on the control of undisturbed upright stance. *J Biomech* 2005; 38 (10): 2037–2049
- Anker LC, Weerdesteyn V, van Nes IJ et al. The relation between postural stability and weight distribution in healthy subjects. *Gait Posture* 2008; 27 (3): 471–477
- Deforche BI, Hills AP, Worringham CJ et al. Balance and postural skills in normal-weight and overweight prepubertal boys. *Int J Pediatr Obes* 2008; 29: 1–8
- Allard P, Nault ML, Hinse S et al. Relationship between morphologic somatotypes and standing posture equilibrium. *Ann Hum Biol* 2001; 28 (6): 624–633
- Lakie M, Caplan N, Loram ID. Human balancing of an inverted pendulum with a compliant linkage: neural control by anticipatory intermittent bias. *J Physiol* 2003; 551 (Pt 1): 357–370
- Winter DA, Patla AE, Prince F et al. Stiffness Control of Balance in Quiet Standing. *J Neurophysiol* 1998; 80: 1211–1221
- Berger W, Trippel M, Discher M et al. Influence of subjects' height on the stabilization of posture. *Acta Otolaryngol* 1992; 112 (1): 22–30
- Davlin CD. Dynamic balance in high level athletes. *Percept Mot Skills* 2004; 98 (3 Pt 2): 1171–1176
- Paillard T, Noe F. Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition. *J Athl Train* 2006; 41 (2): 172–176
- Petrella RJ, Cunningham DA. Influence of age and physical training on postural adaptation. *Can J Sport Sci* 1989; 14 (1): 4–9
- Derave W, Tombeux N, Cottyn J et al. Treadmill exercise negatively affects visual contribution to static postural stability. *Int J Sports Med* 2002; 23: 44–49
- Lepers R. Posture control after prolonged exercise. *Eur J Appl Physiol* 1997; 76: 55–61
- Chamarro A, Fernández-Castro J. The perception of causes of accidents in mountain sports: a study based on the experiences of victims. *ccid Anal Prev* 2009; 41 (1): 197–201, Epub 2008 Nov 21