

Estudio de validación de un instrumento de evaluación postural (SAM, spinal analysis machine)

ÁNGELA OLARU^{a,b}, JOAN PARRA FARRÉ^c Y RAMON BALIUS^{d,e}

^aDC, BSc, South Western University of Health Sciences.

^bAlumna de postgrado de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC).

^cLeitat.

^dConsell Català de l'Esport. Barcelona.

^eClínica F. FIATC.

RESUMEN

Introducción: La postura bípeda está controlada por el sistema nervioso central, que recluta articulaciones, ligamentos, tendones y músculos especializados, asegurando una oscilación corporal y un gasto energético mínimos.

El desequilibrio postural genera contracciones musculares compensatorias que alteran la biomecánica corporal y producen cambios degenerativos precoces y lesiones de sobrecarga, especialmente en la población practicante de deporte. Los chequeos posturales frecuentes podrían detectar alteraciones y ayudar en la prevención de sus consecuencias duraderas.

Objetivo: Valorar la fiabilidad intra e y interobservador del instrumento de evaluación postural SAM (*spinal analysis machine*), que consta de una estructura metálica con dos balanzas para los pies, dos cintas métricas, un hilo vertical y tres horizontales para medir la inclinación lateral del cuerpo y la altura de los mastoides, los hombros y las crestas ilíacas.

Sujetos y métodos: Participaron 21 jugadoras de baloncesto con edades comprendidas entre los 14 y los 15 años, y 2 examinadores que hicieron 2 mediciones con un intervalo de 7 días.

Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de la t de Student para variables numéricas apareadas y para el estudio de las varianzas se usó el ANOVA.

Resultados: En el análisis intraobservador no hubo diferencia significativa entre las dos lecturas ($p < 0,05$); en el interobservador hubo una diferencia significativa entre las lecturas de los parámetros horizontales pero no se encontró diferencia significativa entre las mediciones de la distribución de peso y de la inclinación lateral del cuerpo ($p < 0,05$).

Conclusión: Considerando la fiabilidad intraobservador y su coste relativamente bajo, la SAM se puede utilizar clínicamente para valorar la postura estática antes y después de intervenciones terapéuticas y para estudios longitudinales.

PALABRAS CLAVE: Postura. Biomecánica. Fiabilidad. Evaluación postural.

ABSTRACT

Introduction: Standing posture is controlled by the central nervous system, which relies on the recruitment of joints, ligaments, tendons, and specialized muscles to ensure minimum body oscillation and energy expenditure.

Postural imbalance induces compensatory muscle contraction resulting in alteration of body biomechanics and a predisposition to early degenerative changes and overuse injuries, especially among the population practicing sports. Frequent postural screenings could detect alterations and help to prevent often life-long consequences.

Objective: To assess the intra- and interobserver reliability of the spinal analysis machine (SAM), a simple portable postural screening instrument, consisting of a rectangular metal frame with bilateral electronic scales, two vertical measure tapes, and one vertical and three horizontal strings, measuring lateral body sway and the height of mastoids, shoulders and iliac crests.

Subjects and methods: Participants were 21 female basketball players aged between 14 and 15 years. Measurements were conducted by two observers, and were repeated after 7 days.

Statistical analysis was performed using a paired Student's t- test for repeated measures and analysis of variance (ANOVA) to assess reliability.

Results: Analysis of intraobserver reliability showed no significant differences between the two measurements in any of the parameters ($P < .05$). Analysis of interobserver reliability revealed a significant difference between the measurements of horizontal parameters but no significant differences between the measurements of lateral body sway and bilateral weight distribution ($P < .05$).

Conclusion: Given the intraobserver reliability and the relatively low cost of the SAM, this instrument could be clinically useful to screen static posture before and after therapeutic procedures. It could also be useful in longitudinal studies.

KEY WORDS: Posture. Biomechanics. Reliability. Spinal analysis.

INTRODUCCIÓN

La postura del cuerpo

La postura es la posición relativa del cuerpo (tronco, cabeza y extremidades) en el espacio, diseñada para mantener estable el centro de gravedad, minimizando el efecto desestabilizante de la fuerza de gravedad. Dicho de otra manera, la postura es el posicionamiento vertical del cuerpo en contacto con el suelo¹.

La evaluación postural es una de las maneras más útiles de valorar el estado de salud global y es necesaria desde la niñez para prevenir posibles trastornos importantes en edad adulta².

En los humanos, el área de contacto con el suelo, representada por los pies, es relativamente pequeña y el centro de gravedad es relativamente alto. En consecuencia, para asegurar la estabilidad en posición vertical, el cuerpo dispone de mecanismos de *feedback* sensoriomotores de control postural que generan una continua torsión correctiva detectada por los sistemas oculovestibular y propioceptivos^{1,3}.

Los receptores de presión situados en las plantas de los pies, los órganos tendinosos de Golgi y los husos musculares situados en los músculos que mueven las articulaciones bajo carga (pies, tobillos, rodillas, caderas y sacroilíacas e intervertebrales) son importantes tanto para la propiocepción como para los reflejos medulares^{1,4}.

Los cambios posturales producidos por el desplazamiento del centro de gravedad, bien por fuerzas externas o por movimientos deliberados, están controlados por los reflejos posturales.

El sistema vestibular informa al cerebro a través de los conductos semicirculares acerca de los cambios en la posición de la cabeza, la aceleración lineal y angular.

Su objetivo es mantener la cabeza recta con respecto a la posición del cuerpo (*head righting reflex*).

Esta información se transmite a los núcleos vestibulares en el cerebro medio, donde se integra con la información del movimiento de los ojos y de los sensores propioceptivos aferentes de la musculatura y las vértebras cervicales (*neck reflexes*)¹.

Es importante mantener un perfecto control postural tanto en las actividades diarias normales como en la práctica deportiva.

Visto que los atletas usan los sistemas osteomuscular y locomotor de manera muy intensiva, es lógico que necesiten un control postural perfecto.

Esto asegura una correcta biomecánica craneoespinal que minimiza el efecto de la fuerza de gravedad y optimiza el funcionamiento del sistema nervioso central situado en el cráneo y en la columna vertebral.

La simetría postural permite mayor eficacia del *feedback* aferente y eferente, por tanto una correcta neurofisiología tanto osteomuscular como indirectamente somatovisceral.

Es lógico que una correcta biomecánica espinal puede sólo favorecer tanto la función pulmonar como la función cardiovascular, sobre todo en el ejercicio físico intenso.

Un estudio efectuado en atletas de élite durante entrenamientos muy intensos demostró que éstos llegan a menudo a los límites mecánicos de los pulmones y ejercitación de los músculos de respiración para poder producir ventilación alveolar y lo consiguen con un considerable gasto metabólico y sólo en condiciones de perfecto reclutamiento de los músculos respiratorios⁵.

Alteraciones posturales

Alteraciones posturales como un ligero aumento de la cifosis dorsal o una ligera pérdida de flexibilidad de la musculatura intercostal pueden producir una ligera disminución de la expansión de la caja dorsal, esencial para una correcta respiración⁶⁻⁸.

Las imperfecciones posturales, posturas incorrectas o asimétricas pueden indicar defectos de tipo propioceptivo^{9,10}, visual^{11,12} o vestibular³.

El déficit propioceptivo puede ser de tipo congénito o adquirido y suele verificarse en las articulaciones bajo carga, pies, tobillos, rodillas, caderas o en la columna vertebral^{13,14}. Una vez diagnosticados estos defectos, se pueden corregir con intervenciones terapéuticas específicas según el caso. Los más frecuentes suelen ser disimetría de las piernas¹⁵, apoyo plantar incorrecto¹⁰, inestabilidad ligamentosa postrauma y asimetría vertebral (cifosis, lordosis, escoliosis)¹³.

Estos déficits se corrigen normalmente, según el caso, con plantillas, ejercicios de rehabilitación y terapias manuales específicas que ayudan a mejorar el movimiento interarticular, ahorrando mecanismos de *feedback* funcional compensatorio que predispone a lesiones de tipo microtraumático o de sobrecarga tan comunes en los atletas.

La postura erecta bipodal del cuerpo humano depende de un control sensoriomotor complejo y es un fenómeno en continuo movimiento^{12,13} que difícilmente se puede medir. En consecuencia, la investigación postural resulta muy difícil¹⁵⁻¹⁷.

En el ámbito de la medicina deportiva se considera cada vez más importante la necesidad de prevenir lesiones en los jóvenes atletas mediante frecuentes revisiones y programas de prevención y rehabilitación¹⁸⁻²⁷.

Predisposición a la lesión de las alteraciones posturales

Algunos expertos afirman que el examen físico-clínico de base, obligatorio para todos los deportistas, es una de las pocas ocasiones en las cuales el clínico tiene la oportunidad de anticipar y prevenir activamente lesiones. Desafortunadamente, la actual revisión médica deportiva pone más énfasis en la valoración cardiorrespiratoria que en la revisión postural, o en la habilidad del atleta de andar y correr²⁸.

En consecuencia, este examen tiene que incluir una completa revisión osteomuscular, cardiovascular y psicológica²⁹⁻³².

A raíz de las revisiones médicas de base efectuadas en el centro de medicina deportiva de la Clínica Mayo, en 1998, con la participación de 2.739 jóvenes atletas, se puso de manifiesto los problemas osteomusculares más frecuentes en este tipo de población.

El estudio concluye que el componente osteomuscular debe ser una parte importante de la evaluación del deportista, y para evitar y prevenir lesiones propone una valoración osteomuscular individual más exhaustiva, más frecuente y conducida por personal cualificado³³.

Entre los factores de riesgo más probables que predisponen a los atletas a frecuentes lesiones osteomusculares se encuentran los déficits de propioceptividad, la inestabilidad vertebral, la asimetría y el control postural incorrecto^{2,13,34-39}.

Un reciente estudio de neurofisiología ha demostrado que la compensación postural del cuerpo ante una situación desestabilizante aumenta la rigidez osteomuscular un tercio más de lo necesario en los sujetos normales. Este hecho es más evidente si el sujeto sufre un déficit vestibular³.

Sobre la base de esta conclusión, podemos deducir que una alteración postural predispone a un aumento innecesario de rigidez y, por tanto, a la lesión.

Otro estudio efectuado en 2001 en atletas de élite, en el Centro de Lesiones Deportivas de la Universidad de Limerick, Irlanda, ha demostrado que la postura y la recuperación completa postrauma son más significativas que la flexibilidad muscular y articular en la prevención de las lesiones⁴⁰.

Instrumentos de valoración postural

Como hemos visto hasta ahora, es evidente que tanto para obtener el máximo rendimiento como para evitar lesiones, hay que revisar y corregir cualquier desarreglo biomecánico por ligero y aparentemente banal que sea para la postura y la locomoción.

La locomoción requiere una permanente coordinación entre los sistemas que controlan la postura y los que producen el

Figura 1

Esta es la imagen ideal de la clásica valoración postural mediante plomada enseñada en todas las escuelas de medicina, quiropráctica, osteopatía y fisioterapia. A: posición vertical de la postura AP normal. B y D: posición ideal lateral. C: media de postura lateral ideal.

movimiento voluntario. Esto asegura el correcto posicionamiento del centro de gravedad sobre la base de sustentación durante la propulsión⁴¹⁻⁴².

Como es lógico, un correcto control postural implica una correcta alineación de la columna vertebral. Faltan instrumentos de medición de la postura, y los pocos que existen generan divergencias en cuanto a los parámetros indicativos de una postura vertical normal y/o ideal¹⁷.

En base a un estudio radiológico efectuado en 1.500 jóvenes adultos normales en 1975, Beck y Killius^{43,44} concluyen que hay sólo un tipo de columna ideal descartando definitivamente la teoría de los tipos constitucionales.

Esta teoría se basaba en la creencia de que algunos déficits posturales, como la hipercifosis (*round back*), hipocifosis (*flat back*) o la hiperlordosis lumbar (*hollow back*), eran de tipo congénito o constitucional^{43,44}.

Hay una alineación vertical establecida estadísticamente en jóvenes adultos normales (fig. 1)¹⁷.

La mayoría de los estudios de investigación sobre la prevención de las lesiones deportivas indican la necesidad de nuevos métodos de evaluación y rehabilitación osteomuscular como medidas profilácticas válidas en todos los deportes^{23,24,28,45}.

Esta necesidad es más apremiante en los deportes de alto riesgo como el fútbol, rugby, balonmano, baloncesto, etc.^{25,46}. También se verifica en deportes asimétricos de mala adaptación postural como el tenis^{45,47}.

Algunos estudios revelan que las atletas mujeres tienen más riesgo que los varones en los mismos deportes^{48,49}.

Actualmente hay muchos métodos e instrumentos de valoración postural y estabilometría⁵⁰⁻⁵⁵ más o menos sofisticados utilizados, sobre todo, en la clínica neurológica, ortopédica^{18,50,56,57} y en laboratorios de investigación biomecánica^{15,36,41,58-66}.

En medicina del deporte se necesitan nuevos protocolos, métodos e instrumentos de estudio de la estática y dinámica osteomuscular para prevenir lesiones, especialmente si éstas son por sobrecarga (*overuse injuries*)⁶⁷⁻⁶⁹.

En este contexto se necesita un instrumento sencillo de revisión y evaluación postural global que permita controles longitudinales.

Visto que la postura es la posición dinámica, no estática del tronco, la cabeza y las extremidades, que está en constante adaptación y que la misma se sustenta en un trípode en que las patas son la sinergia funcional propioceptiva, vestibular y visual, los parámetros posturales resultan casi imposibles o muy difíciles de medir^{3,9-12,70,71}.

La única solución es encontrar una técnica de evaluación que permita una definición estándar^{15,16}. Los estudios posturales fotográficos^{72,73}, y sobre todo el posturómetro¹⁶, cumplen este propósito.

OBJETIVO

El presente estudio se propone la validación intra e interexaminador del posturómetro SAM (*spinal analysis machine*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se sometió a 21 jóvenes atletas femeninas, con edades comprendidas entre los 14 y los 15 años, a la valoración de la postura mediante un posturómetro SAM (fig. 2).

Los datos se registraron en una hoja de cálculo independiente y un supervisor independiente los introdujo. La recogida de datos de cada examinador se realizó de forma independiente; cada examinador ignoraba los datos obtenidos por el otro y viceversa (doble ciego). Las mismas mediciones se repitieron en el plazo de una semana.

Se aplicaron pruebas estadísticas de fiabilidad de medición de los parámetros posturales mencionados antes por cada uno de los dos examinadores con el objeto de establecer la reproducibilidad intra e interexaminador.

Se recogieron los siguientes datos:

1. Nivel de la apófisis mastoide izquierda (MAST I) (inshe).
2. Nivel de la apófisis mastoide derecha (MAST D) (inshe).

Figura 2

Posturómetro SAM. Se trata de un instrumento portátil de medición de simetría (o asimetría) postural y consiste en una estructura (cuadro) dotado de dos balanzas para los pies, dos cintas métricas (sistema inglés) verticales de ambos lados, cuatro hilos, uno vertical y tres horizontales, y dos balanzas. Las balanzas sirven para medir la distribución del peso del cuerpo en bipedestación. El hilo vertical mide la inclinación del cuerpo (de la columna) hacia la derecha o izquierda, mientras que los tres hilos horizontales miden la inclinación de la cabeza (el nivel de las apófisis mastoides) y de los hombros (articulaciones acromioclaviculares), y el nivel de las caderas (crestas ilíacas).



3. Inclinación vertical lateral del cuerpo hacia la izquierda (CUERPO I) (inshe).

4. Inclinación vertical lateral del cuerpo hacia la derecha (CUERPO D) (inshe).

5. Nivel de la articulación acromioclavicular izquierda (HOMBRO I) (inshe).

6. Nivel de la articulación acromioclavicular derecha (HOMBRO D) (inshe).

7. Nivel de la cresta ilíaca izquierda (CADERA I). (inshe)

8. Nivel de la cresta ilíaca derecha (CADERA D) (inshe).

9. Peso del pie izquierdo (PESO I) (kg).

10. Peso del pie derecho (PESO D) (kg).
1 inshe: 2,54 cm.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para establecer la reproducibilidad intraobservador se calcularon las diferencias entre los valores absolutos de los diferentes observadores y los porcentajes de la diferencia anterior respecto al valor absoluto de la primera lectura. Se calcularon las medias por observador, la desviación estándar (DE) y la media de las medias con el máximo de las desviaciones estándares.

Para establecer la reproducibilidad interobservador se calcularon los valores promedio de los diferentes observadores, el porcentaje de la diferencia entre las medias de los diferentes observadores respecto al valor del observador 1 y los valores absolutos de porcentaje. Se calculó la media del valor absoluto de la variación y la DE.

Para determinar la reproducibilidad sea intra o interobservador se utilizó la prueba de la t de Student para variables numéricas apareadas.

RESULTADOS

Con respecto a la reproducibilidad de las mediciones intraobservador, las variaciones observadas en forma de porcentaje son bajas y con la excepción de los valores de los parámetros Cuerpo I/Cuerpo D no alcanzan al 5% de variación en promedio.

Es importante destacar que aunque las variaciones en la medición de la inclinación del cuerpo son muy altas, esto se debe a que los valores son muy bajos y una pequeña variación corresponde a un gran porcentaje (tabla I).

En cuanto a las mediciones interobservador, tanto las variaciones en porcentaje como sus DE no alcanzan el 5% de variación en promedio, excepto en los casos de la cadera y especialmente del cuerpo, que debido a la gran sensibilidad de la medición muestran un porcentaje muy alto (tabla II). Se observan diferencias significativas entre observadores en la lectura de 3 pares de parámetros: MAST I/MAST D, HOMBRO I/HOMBRO D y CADERA I/CADERA D.

No se verifican diferencias estadísticamente significativas en la lectura de los parámetros verticales: CUERPO I/CUERPO D y PESO I/PESO D (tabla II).

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados del análisis estadístico del presente estudio, se puede concluir que el posturómetro

Tabla I Reproducibilidad de las mediciones de un mismo observador (cómo varía el resultado cuando un mismo observador valora un mismo voluntario)

	Promedio de las variaciones en %	DE	t de Student (apareados)
MAST I	1,15	1,70	0,12 ^b
MAST D	0,80	0,76	0,07 ^b
CUERPO I	23,32	36,66	0,09 ^b
CUERPO D	16,88	41,26	0,24 ^b
HOMBRO I	0,70	0,88	0,13 ^b
HOMBRO D	0,92	2,65	0,26 ^b
CADERA I	1,61	1,71	0,08 ^b
CADERA D	1,42	2,14	0,75
PESO I	4,73	6,06	0,77
PESO D	4,75	4,41	0,40

b: sin diferencias significativas entre las diferentes lecturas de cada observador con $p < 0,05$. Tampoco se observa significancia en el estudio de las varianzas por ANOVA.

Tabla II Reproducibilidad de las mediciones de otro observador (cómo varía el resultado cuando otro observador valora un mismo voluntario)

	Promedio de las variaciones en %	DE	t de Student (apareados)
MAST I	2,91	1,37	0,00 ^a
MAST D	2,47	1,63	0,00 ^a
CUERPO I	62,99	51,50	0,08 ^b
CUERPO D	36,77	47,22	0,20 ^b
HOMBRO I	3,86	1,45	0,00 ^a
HOMBRO D	3,87	1,50	0,00 ^a
CADERA I	9,12	5,36	0,00 ^a
CADERA D	9,45	5,19	0,00 ^a
PESO I	3,38	2,37	0,17 ^b
PESO D	3,47	2,56	0,91 ^b

a: diferencia significativa entre observadores con $p < 0,05$. b: sin diferencia significativa entre observadores con $p < 0,05$.

SAM es un excelente instrumento de evaluación postural cuando se usa por el mismo observador y, en consecuencia, puede ser utilizado en la práctica clínica tanto en la medicina del deporte como en la clínica diaria.

Mediciones efectuadas periódicamente por el mismo observador podrían controlar la asimetría postural así como incidir en mejor diagnóstico funcional y objetivar el resultado de eventuales estrategias terapéuticas.

Por otra parte, el SAM puede utilizarse (eliminado sus 3 hilos horizontales) en estudios longitudinales intra y interobservador como el de la clásica plomada, complementándola además con la doble balanza que, como hemos visto, muestra la distribución bilateral del peso del cuerpo.

Si objetivamos una inclinación del cuerpo mantenida, asociada a una asimetría de apoyo plantar, nos encontramos ante un desplazamiento del centro de gravedad y es muy probable que todas las articulaciones bajo carga del respectivo lado (tobillo, rodilla, cadera, articulación sacroilíaca, articulaciones intervertebrales de las últimas vértebras lumbares, así como los discos intervertebrales) aumenten el riesgo de lesiones microtraumáticas por sobrecarga.

Detectar frecuentemente este tipo de asimetría podría ayudar tanto en la prevención de algunas lesiones como para mejorar el rendimiento del deportista de élite.

Es evidente que la simetría postural indica una buena integración sensoriomotora^{1,3}, que asegura una correcta biomecánica vertebral y estabilidad osteomuscular^{2,14} indispensable tanto para la prevención de lesiones atléticas⁷⁴⁻⁷⁷ como para la mejora del resultado deportivo²⁷.

De modo contrario, la asimetría postural indica la necesidad de investigación diagnóstica específica tanto en deportistas como en no practicantes de deportes.

Como se ha mencionado en la introducción, entre los factores causales de tipo osteomuscular más comunes puede enumerarse un incorrecto apoyo plantar, disimetría de las piernas, imperfecciones propioceptivas postrauma en las articulaciones de los pies, tobillos, rodillas, caderas, articulaciones sacroilíacas o inestabilidad y asimetría vertebral. Algunos estudios relacionan la asimetría postural espinal con una incorrecta oclusión dental⁶ o disfunciones temporomandibulares⁷⁷⁻⁸⁰.

Es evidente que para mejorar el control postural se precisan intervenciones calificadas multidisciplinarias.

Considerando la estrecha relación funcional entre la biomecánica vertebral y el sistema nervioso^{14,81}, resulta necesario mantener una correcta postura tanto en la población practicante como en la que no practica deportes.

Es lógico pensar que el uso repetido del sistema osteomuscular para la obtención de buenos resultados deportivos hace necesarias evaluaciones posturales más frecuentes en la población practicante de deporte que en la población que no lo practica.

En consecuencia, se necesitan otros estudios longitudinales más amplios para evaluar la asimetría postural, especialmente en los deportistas de élite.

CONCLUSIÓN

Como se puede apreciar con los resultados estadísticos del presente estudio, el instrumento de evaluación postural SAM asegura una buena reproducibilidad intraobservador, mientras que la reproducibilidad interobservador es sólo parcial.

Se ha verificado que la valoración interobservador es fiable no sólo para la medición de la inclinación lateral del cuerpo, sino también para la distribución del peso del cuerpo.

En este sentido, creemos que el SAM es un buen instrumento del control de la repercusión del deporte sobre el aparato locomotor. Este hecho es todavía más categórico cuando el observador es el mismo, puesto que entonces este instrumento permite el control evolutivo de tal repercusión o de las correcciones terapéuticas que introduzcamos.

Dada la fiabilidad en la medición de la inclinación y la distribución del peso en bipedestación del posturómetro SAM, así como la facilidad de uso y el coste relativamente bajo, este instrumento podría utilizarse en estudios longitudinales de repercusión de la actividad física sobre el aparato locomotor.

Bibliografía

1. Greensstein B, Greenstein A. Color Atlas of Neuroscience. Stuttgart, New York: Thieme; 2000. p. 206-7.
2. Fialka-Moser V, Uher EM, Lack W. Postural disorders in children and adolescents. Wien Med Wochenschr. 1994;144: 577-92.
3. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol. 2002;88:1097-18.
4. Biswas S, Rahana I. Lo esencial en el sistema musculoesquelético. Madrid: Harcourt Brace; 1999. p. 73-7.
5. Johnson BD, Saupe KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. J Appl Physiol. 1992;73:874-86.
6. Huggare J. Postural disorders and dentofacial morphology. Acta Odontol Scand. 1998;56:383-6.

7. Sharp JT, Goldberg NB, Druz WS, Danon J. Relative contributions of ribcage and abdomen to breathing in normal subjects. *J Appl Physiol.* 1975;39:608-18.
8. Roy AL, Keller TS, Colloca CJ. Posture-dependent trunk extensor EMG activity during maximum isometrics exertions in normal male and female subjects. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13:469-76.
9. Kavounoudias A, Roll JP. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol.* 2001;532:869-78.
10. Roll R, Kavounoudias A, Roll JP. Cutaneous afferents from human plantar sole contribute to body posture awareness. *Neuroreport.* 2002;13:1957-61.
11. Rougier P, Zanders E, Borlet E. Influence of visual cues on upright postural control: differentiated effects of eyelids closure. *Rev Neuro.* 2003;159:180-8.
12. Ledin T, Odkvist LM. Visual influence on postural reactions to sudden antero-posterior support surface movements. *Acta Otolaryngol.* 1991;111:813-9.
13. Watson AW. Sports injuries in footballers related to defects of posture and body mechanics. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;35:289-94.
14. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *Journal of Spinal Disorders.* 1992;5:390-6.
15. Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait&Posture.* 2002;15:195-206.
16. Vernon H. An assessment of the intra- and inter-reliability of the posturometer. *J Manipulative Physiol Ther.* 1983;6:57-60.
17. Harrison DE, Harrison DD, Troyanovich SJ, Harmon S. A normal spinal position: It's time to accept the evidence. *J Manipulative Physiol Ther.* 2000;23:623:44.
18. Dvorak J, Junge AJ, Chomiak J, Graf-Baumann T, Peterson L, Rosch D, et al. Risk factor analysis for injuries in football players. Possibilities for a prevention program. *Am J Sports Med.* 2000;28:S69-74.
19. Waller AE, Feehan M, Marshall SW, Chalmers DJ. The New Zealand Rugby. Injury and Performance Project: I. Design and methodology of a prospective follow-up study. *Br J Sports Med.* 1994;28:223-8.
20. St John's Hospital, Livingston, West Lothian. A three year review of injuries to professional footballers (1995-98) and comparison with previous observations (1990-93). *Scott Med J.* 2000;45:17-9.
21. Damore DT, Metzl JD, Ramundo M, Pan S, Van Amerongen R. Patterns in childhood sports injury. *Pediatr Emerg Care.* 2003;19:65-7.
22. Dalton SE. Overuse injuries in adolescent athletes. *Sports Med* 1992;13:58-70.
23. Weir MA, Watson AW. A twelve month study of sports injuries in one Irish School. *Ir J Med Sci.* 1996;165:165-9.
24. Belechri M, Petridou E, Kedikoglou S, Trichopoulos D. Sports injuries among children in six European union countries. *Eur J Epidemiol.* 2001;17:1005-12.
25. Parkkari J, Kujala UM, Kannus P. Is it possible to prevent sports injuries? Review of controlled clinical trials and recommendations for future work. *Sports Med.* 2001;31:985-95.
26. Troyanovich SJ, Harrison DE, Harrison DD. Structural rehabilitation of the spine and posture rationale for treatment beyond the resolution of symptoms. *J Manipulative Physiol Ther.* 1998;21:37-50.
27. Scott WA. Maximizing performance and the prevention of injuries in competitive athletes. *Curr Sports Med Rep.* 2002;1:184-90.
28. Harrison DE, Cailliet R, Harrison DD, Troyanovich SJ, Harrison SO. A review of biomechanics of the central nervous system. Part III: spinal cord stresses from postural loads and their neurological effects. *J Manipulative Physiol Ther.* 1999;22:399-410.
29. McKeag DB. Preseason physical examination for the prevention of sports injuries. *Sports Med.* 1985;2:413-31.
30. Hershman E. The profile for prevention of musculoskeletal injury. *Clin Sports Med.* 1984;3:65-84.
31. McKeag DB. Preparticipation screening of the potential athlete. *Clin Sports Med.* 1989;8:373-97.
32. Carek PJ, Hunter L. The preparticipation physical examination for athletics: a critical review of current recommendations. *J Med Liban.* 2001;49:292-7.
33. Smith J, Laskowski ER. The preparticipation physical examination: Mayo Clinic experience with 2,739 examinations. *Mayo Clin Proc.* 1998;73:419-29.
34. Granata KP, Wilson SE. Trunk posture and spinal stability. *Clin Biomech.* 2001;16:650-9.
35. Hennessey L, Watson AW. Flexibility and posture assessment in relation to hamstring injury. *Br J Sports Med.* 1993;27:243-6.
36. Alexander KM, LaPier TL. Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;28:378-83.
37. Mayagoitia RE, Lotters JC, Veltink PH, Hermens H. Standing balance evaluation using a triaxial accelerometer. *Gait&Posture.* 2002;16:55-9.
38. Chiari L, Rocchi L, Cappello A. Stabilometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clin Biomech.* 2002;17:666-77.
39. Hawkins RD, Hulse MA, Wilkinson C, Hodson A, Gibson M. The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med.* 2001;35:43-7.
40. Watson AW. Sports injuries related to flexibility, posture, acceleration, clinical defects, and previous injury, in high-level players of body contact sports. *Int J Sports Med.* 2001;22:222-5.
41. Hasan SS, Robin DW, Szurkus DC, Ashmead DH, Peterson SW, Shiavi RG. Simultaneous measurement of body center of

- pressure and center of gravity during upright stance. *Gait&Posture*. 1996;4:1-10.
42. Maynard V, Bakheit AMO, Oldham J, Freeman J. Intra-rater and inter-rater reliability of gait measurements with CODA mpx30 motion analysis system. *Gait&Posture*. 1997;5:178-9.
 43. Beck A, Killius J. Normal posture of spine determined by mathematical and statistical methods. *Aerospace Med*. 1973;44:1277-81.
 44. Beck A, Killius J. Analyse par computer de la statistique. *J Radiol Electrol Med Nucl*. 1975;56 Suppl:402-3.
 45. Kibler WB, McQueen C, Uhl T. Fitness evaluations and fitness findings in competitive junior tennis players. *Clin Sports Med*. 1988;7:403-16.
 46. Wedderkopp N, Kaltoft M, Lundgaard B, Rosendahl M, Froberg K. Prevention of injuries in young female players in European team handball. A prospective intervention study. *Scand J Med Sci Sports*. 1999;9:41-7.
 47. Kibler WB, Safran MR. Musculoskeletal injuries in the young tennis player. *Clin Sports Med*. 2000;19:781-92.
 48. Henry JC, Kaeding C. Neuromuscular differences between male and female athletes. *Curr Womens Health Rep*. 2001;1:241-4.
 49. Ireland ML. The female ACL: why is it more prone to injury? *Orthop Clin North Am*. 2002;33:637-51.
 50. Dao TV, Labelle FH, Le Blanc R. Intra-observer variability of measurement of posture with three-dimensional digitization. *Ann Chir*. 1997;51:848-53.
 51. Harrison DD, Janik TJ, Harrison GR, Troyanovich S, Harrison DE, Harrison SO. Chiropractic biophysics technique: a linear algebra approach to posture in Chiropractic. *J Manipulative Physiol Ther*. 1996;19:525-35.
 52. Chiari L, Cappello A, Lenzi D, Della Croce U. An improved technique for the extraction of stochastic parameters from stabilograms. *Gait&Posture*. 2000;12:225-34.
 53. Fitzgerald JE, Murray A, Elliott C, Birchall JP. Comparison of body sway analysis techniques. Assessment with subjects standing on a stable surface. *Acta Otolaryngol*. 1994;114:115-9.
 54. Rodacki CL, Fowler NE, Rodacki AL, Birch K. Technical note: repeatability of measurement in determining stature in sitting and standing postures. *Ergonomics*. 2001;44:1076-85.
 55. Bedard M, Martin NJ, Krueger P, Brazil K. Assessing reproducibility of data obtained with instruments based on continuous measurements. *Exp Aging Res*. 2000;26:353-65.
 56. Zhang DY, Dai MS, Jin J. The dynamic measurements of human body's unbalance. *Zhongguo Yi Liao Qi Xue Za Zhi*. 2000;24:191-3.
 57. Amendt LE, Aulsebrook KL, Eybers JL, Wadsworth CT, Nielsen DH, Weinstein SL. Validity and reliability testing of the Scolio-meter. *Phys Ther*. 1990;70:108-17.
 58. Willner S. Spinal pantograph—a noninvasive anthropometric device for describing postures and asymmetries of the trunk. *J Pediatr Orthop*. 1983;3:245-9.
 59. Samson M, Crowe A. Intra-subject inconsistencies in quantitative assessments of body sway. *Gait&Posture*. 1996;4:252-7.
 60. Klein PJ, DeHaven JJ. Accuracy of a Portable Force Plate in Assessing Force and Center of Pressure Estimates Under Static Loading. *Gait&Posture*. 1997;5:178-9.
 61. Hu MH, Hung YC, Huang YL, Peng CD, Shen SS. Validity of force platform measures for stance stability under varying sensory conditions. *Proc Natl Sci Coun Repub China B*. 1996;20:78-86.
 62. Haas BM, Burden AM. Validity of weight distribution and sway measurements of the Balance Performance Monitor. *Physiother Res Int*. 2000;5:19-32.
 63. Wolff DR, Rose J, Jones VK, Bloch DA, Oehlert JW, Gamble JG. Postural balance measurements for children and adolescents. *J Orthop Res*. 1998;16:271-5.
 64. Ekdahl C, Jarnio GB, Andersson SI. Standing balance in healthy subjects. Evaluation of a quantitative test battery on a force platform. *Scand J Rehabil Med*. 1989;21:187-95.
 65. Hlavacka F, Kundrat J, Krizkova M, Bacova E. Physiologic range of stabilometry values obtained in the upright posture using a computer. *Cesk Neuro Neurochir*. 1990;53:107-13.
 66. Nordahl SH, Aasen T, Dyrkorn BM, Eidsvik S, Molvaer OI. Static stabilometry and repeated testing in a normal population. *Aviat Space Environ Med*. 2000;71:889-93.
 67. Beck JL, Day RW. Overuse injuries. *Clin Sports Med*. 1985;4:553-73.
 68. Takala EP, Korhonen I, Viikari-Juntura E. Postural sway and stepping response among working population: reproducibility, longterm stability, and associations with symptoms of the low back. *Clin Biomech*. 1997;12:429-37.
 69. Rougier P. How mirror feedback improves undisturbed upright stance control. *Ann Readapt Med Phys*. 2002;45:77-85.
 70. Carroll JP, Freedman W. Nonstationary properties of postural sway. *J Biomech*. 1993;26:409-16.
 71. Laskowski ER, Newcomer-Aney K, Smith J. Proprioception. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2000;11:323-40.
 72. Watson AW, Mac Donncha C. A reliable technique for the assessment of posture: assessment criteria for aspects of posture. *J Sports Med Phys Fitness*. 2000;40:260-70.
 73. Van Maanen CJ, Zonnenberg AJ, Elvers JW, Oostendorp RA. Intra/interrater reliability of measurements on body posture photographs. *Cranio*. 1996;14:326-31.
 74. Maher TR, O'Brien M, Kauffman C, Liao KC. Biomechanics of the spine in sports. *Clin Sports Med*. 1993;12:449-64.
 75. Nikolic A, Baltzer AW, Kramer R, Liebau C. Injuries specific to ice skating—documentation of the injuries of competitive athletes during a pre-season training camp. *Sportverletz Sportschaden*. 1998;12:142-6.

76. Ety Griffin LY. Neuromuscular training and injury prevention in sports. *Clin Orthop*. 2003;409:53-60.
77. González HE, Manns A. Forward head posture: its structural and functional influence on the stomatognathic. *Cranio*. 1996;14:71-80.
78. Zonnenberg AJ, Van Maanen CJ, Oostendorp RA, Elvers JW. Body posture photographs as a diagnostic aid for musculoskeletal disorders related to temporomandibular disorders (TMD). *Cranio*. 1996;14:225-32.
79. Fasciolo A, Cammarota R, Milani R, Ferrari G, Corrado S, Laciolla M, et al. Equilibrium and orthognathodontic surgery: correlations in a group of patients undergoing treatment. *Minerva Estomatol*. 2000;49:455-61.
80. Lee WY, Okeson JP, Kindroth J. The relationship between forward head posture and temporomandibular disorders. *J Orofac Pain*. 1995;9:161-7.
81. Kiefer A, Shirazi-Adl A, Parnianpour M. Synergy of the spine in neutral postures. *European Spine Journal*. 1998;7:471-9.