



ORIGINAL

Análisis tridimensional del movimiento de la columna lumbar en sujetos normales y pacientes con lumbalgia crónica

E. Pleguezuelos Cobo^{a,b,c,*}, J. García-Alsina^a y J. Ortiz Fandiño^a

^aLaboratorio de Biomecánica, Instituto de Valoración Corporal, Barcelona, España

^bUniversidad Pompeu Fabra, Barcelona, España

^cFacultad de Ciencias de la Salud Blanquerna, Universidad Ramon Llull, Barcelona, España

Recibido el 17 de marzo de 2010; aceptado el 20 de julio de 2010

PALABRAS CLAVE

Lumbalgia;
Rango de movimiento;
Análisis del
movimiento 3D;
Diagnóstico de la
lumbalgia crónica

Resumen

Introducción: La medición precisa de la movilidad lumbar permite una estimación de la severidad de las lumbalgias, monitorizar su evolución y valorar la efectividad del tratamiento. Se presentan los resultados obtenidos con el análisis computarizada del movimiento (análisis 3D) en sujetos con lumbalgia y un grupo de control para valorar las diferencias entre ambas poblaciones.

Material y métodos: Se han estudiado 47 pacientes con lumbalgia crónica y 33 voluntarios sanos mediante análisis 3D del movimiento lumbar. Las mediciones se realizaron en una sesión única, estudiando los movimientos de flexión, extensión, y flexiones laterales derecha e izquierda, asimismo la velocidad de flexión. Para la determinación de la sensibilidad y especificidad se recurrió al análisis de las curvas (ROC).

Resultados: El rango de movilidad fue mayor en los varones en todos los ejes del movimiento, aunque el análisis de la varianza permite ver que no existían diferencias significativas ($p > 0,05$). Los valores medios de la población de control fueron considerablemente mayores en todas las variables, con diferencias altamente estadísticas (flexión $p = 0,0001$; extensión $p = 0,05$; flexión derecha $p = 0,0027$; flexión izquierda $p = 0,0002$; velocidad de flexión $p = 0,00001$). Se presentan los valores de corte de cada variable, con indicación de su sensibilidad y especificidad.

Discusión y conclusiones: En la población estudiada la movilidad lumbar valorada por análisis 3D del movimiento lumbar es similar en ambos sexos, aunque muestras mayores son necesarias para confirmar este dato. La conclusión principal del estudio es destacar la excelente capacidad de esta técnica de valoración funcional para discriminar a los pacientes con dolor lumbar crónico de la población normal. Aunque se trata de un hecho conocido, la abrumadora

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: 34260epc@comb.es (E. Pleguezuelos Cobo).

KEYWORDS

Low back pain;
Range of motion;
3D motion analysis;
Diagnosis of chronic
low back pain

evidencia estadística y los valores normativos presentados muestran que la técnica constituye una excelente herramienta en el diagnóstico de la patología lumbar dolorosa crónica, destacando en este sentido la velocidad de flexión de la columna lumbar.

© 2010 Elsevier España, S.L. y SERMEF. Todos los derechos reservados.

Tridimensional analysis of lumbar spinal mobility in normal subjects and low back pain patients

Abstract

Introduction: Accurate measurement of lumbar spine mobility can help to assess the severity of a low back pain, monitoring its course and evaluating treatment effectivity. The results obtained with the Inclinator and 3D Movement Analysis (optoelectronic) in a group of patients and controls are presented to evaluate the differences with both techniques between both populations.

Material and methods: A total of 47 subjects with chronic low back pain and 33 healthy controls were studied using both the Double Inclinator technique and 3D Movement Analysis of the lumbar spine. Measurements were obtained in a single session of flexion, extension, right and left lateral flexions and flexion velocity.

Results: Range of motion was greater in men than in women in all directions of movement, however, based on the analysis of the variance, the differences were not statistically significant ($p > 0.05$). Mean values were significantly higher in all variables in healthy subjects (flexion $p = 0.0001$; extension $p = 0.05$; R lateral flexion $p = 0.0027$; L lateral flexion, $p = 0.0002$; flexion velocity $p = 0.00001$). Cutoff values for each variable are shown, indicating their sensitivity and specificity.

Discussion and conclusions: In the population studied by 3D Movement Analysis, lumbar mobility was similar in both genders, however, larger samples are needed to confirm these data. The main conclusion of the study is that this technique has excellent capacity to discriminate patients suffering chronic lumbar pain from the normal population. While restriction of motion is a well-known fact, the overwhelming statistical evidence and the normative data presented show that motion analysis is an excellent tool in the diagnosis of chronic low back pain, that is especially useful appears the velocity of flexion.

© 2010 Elsevier España, S.L. and SERMEF. All rights reserved.

Introducción

Establecer la severidad de una lumbalgia siempre ha sido difícil, especialmente en el caso de los cuadros crónicos. La exploración clínica es de poca ayuda pues todo el síndrome muestra una gran pobreza en signos físicos objetivos, y las pruebas complementarias, aunque altamente objetiva, proporciona una información estática y nada funcional; de hecho unas mismas imágenes puede corresponder a situaciones clínicas dispares y difícilmente pueden correlacionarse con el status funcional¹. Por otra parte, la utilización de escalas de severidad es un recurso en alza, útil, pero duramente lastrado por su naturaleza subjetiva^{2,3}. Es por estas razones que surge el interés sobre los estudios biomecánicos. Con ellos se pretende analizar de un modo objetivo la repercusión del síndrome doloroso sobre la capacidad funcional del sistema músculo-esquelético de la región lumbar. Aunque se permite valorar las consecuencias de la lesión más que la misma lesión, el método posee las ventajas de reflejar la situación funcional del sujeto y de hacerlo de un modo objetivo y reproducible^{4,5}. En los últimos años se ha desarrollado el *Análisis Computarizada Tridimensional del Movimiento* (Amov 3D), generalmente realizado por medios opto-electrónicos (video-fotogrametría)⁶⁻⁸ que presenta la ventaja de precisar las características de regularidad, velocidad, y aceleración a lo largo de todo el movimiento^{7,9-11}.

La movilidad del raquis lumbar es el resultado de la suma de la movilidad del conjunto de las articulaciones cigoapofisarias del segmento lumbar, con lo que incrementa la complejidad en la valoración funcional de la columna lumbar. Por otra parte, y también a diferencia de otras articulaciones, la medición corresponde a la movilidad activa. Ello supone que el movimiento obtenido depende de la voluntad del sujeto en alcanzar verdaderamente el límite angular del movimiento, como es una experiencia habitual que ha sido bien señalada⁶. Para ello se ha diseñado un estudio con los siguientes objetivos:

1. Determinar datos de normalidad de nuestra muestra en las mediciones mediante Amov 3D.
2. Estudiando la capacidad discriminativa del Amov 3D entre las dos poblaciones mediante el análisis de la sensibilidad y especificidad de uno y otro.

Material y métodos**Sujetos**

Se incluyeron 80 sujetos para el estudio de la movilidad lumbar en un estudio transversal. Cuarenta y siete pacientes con dolor lumbar crónico, y 33 voluntarios sanos. Los

pacientes admitidos en el estudio con patología lumbar crónica (más de tres meses de evolución) englobaban diferentes diagnósticos como: hernia o protrusión discal lumbar, espondilosis lumbar, de carácter degenerativo o postraumático (ICD 10: M47.8-9, M51.2-3, M54.4-5). Los pacientes con patología discal y afectación radicular solo fueron incluidos si la patología radicular ya no era sintomática. Previamente al análisis biomecánico todos los pacientes fueron interrogados y examinados clínicamente por un médico especialista en medicina física y rehabilitación con amplia experiencia, e informados de la naturaleza de las exploraciones que iban a realizarse. Cuando surgieron dudas sobre la naturaleza del diagnóstico el paciente fue excluido de este estudio. También se excluyeron los pacientes que no presentaban una patología circunscrita a la región lumbar. Así se excluyeron pacientes con patología cervical o dorsal dolorosa, latigazo cervical, sacroileítis, dolores neuríticos o radiculares u otras afecciones neurológicas, así como pacientes con diagnóstico de fibromialgia, aun cuando presentasen dolores lumbares significativos. También fueron excluidos pacientes con alteraciones psicológicas o trastornos de la conducta que impedían el seguimiento de instrucciones y la capacidad de colaboración. En algunos casos surgieron dudas sobre la realidad del esfuerzo máximo solicitado, por ello fue motivo de exclusión. Como grupo control se recurrió a una muestra de sujetos sanos voluntarios, libres de dolor lumbar y sin antecedentes de lumbalgias que hubiesen requerido atención médica. Todos los pacientes firmaron el consentimiento informado antes de iniciar el proceso.

Instrumentación

Estudio optoelectrónico de columna lumbar

Para el estudio del análisis 3D del movimiento se han utilizado cuatro videocámaras JAI M50 IR con una resolución máxima de 752 (H) × 582 (V) píxeles a una frecuencia de 50 cuadros/segundos. El modelo es monocromático con una sensibilidad especial a la radiación infrarroja para aprovechar las ventajas de este tipo de luz. El obturador se ajustó a 1/1.000, sincronizado con el PC. Las cámaras se situaron a 260 cm del suelo, separadas unas de otros 400 cm, conformando un cubo de unos 40 m³ iluminado por cuatro antorchas de luz infrarroja. Se utilizaron marcadores reflectantes de un diámetro de 15 mm. Las imágenes de las cuatro cámaras fueron procesadas automáticamente con un programa informático CLIMA[®] (STT Ingeniería y Sistemas. San Sebastián) con generación inmediata de un informe en formato *Word*. Se estudiaron los movimientos de flexión y extensión y los de flexión derecha e izquierda de la columna lumbar, así como la velocidad máxima de flexión lumbar.

Protocolo de valoración de columna lumbar

El estudio de cada sujeto se realizó en una única sesión. Las pruebas fueron realizadas por un fisioterapeuta con amplia experiencia en la realización de pruebas biomecánicas. Las instrucciones a los sujetos fueron idénticas en todos los casos.

Para el análisis 3D del movimiento (*Amov 3D*) se utilizaron 7 marcadores esféricos reflectantes pasivos de 15 mm de



Figura 1 Situación de los electrodos para valorar la movilidad lumbar en el análisis 3D.

diámetro situados en: 1) Acromión derecho, fijado con un disco adhesivo; 2, 3 y 4 fijados en los extremos y en el centro de una pieza metálica de 36 cm de longitud montada sobre una pletina que se fijó al tronco del paciente mediante un cinturón ceñido con Velcro[®], a nivel de D12; y los electrodos 5, 6 y 7 análogamente sobre otro conjunto de barra, pletina y cinturón, fijados a nivel de S1. En cada una de las piezas lumbares el marcador central sobresalía 5 cm de los dos restantes, en el plano sagital (fig. 1). Cada sujeto debía realizar un movimiento repetitivo de flexión máxima, extensión máxima, flexión lateral derecha máxima y flexión lateral izquierda máxima, desde una posición de bipedestación relajada con los pies separados unos 30 cm y los brazos cruzados sobre el pecho. La velocidad de ejecución se solicitó que fuese la máxima posible y, en caso de velocidades lentas, se estimuló verbalmente al paciente para incrementarla. Una vez que el sujeto se había familiarizado con los movimientos se procedió al registro, registrándose durante 15 segundos al menos 4 ciclos completos en cada dirección (generalmente varios más). La duración total del examen tanto en la inclinometría como en el análisis 3D del movimiento (en todos los planos), fue de menos de 20 min para cada prueba, incluyendo el posicionamiento, la instrucción, el registro y la impresión de los resultados.

Análisis estadístico

Todas las variables continuas son presentadas como medias e intervalos de confianza al 95%. El test de Shapiro-Wilks se utilizó para determinar la normalidad de las distribuciones. Las diferencias entre grupos se analizaron con el test de la T de Student y el mismo para los grupos pareados cuando era necesario. En las distribuciones no gaussianas se recurrió al test de Mann Whitney. Para los contrastes de hipótesis no paramétricos se utilizaron el de los signos y el de los rangos con signo (Wilcoxon). El test del chi cuadrado se utilizó para comparar variables categóricas entre grupos y el coeficiente de la *r* de Pearson (o alternativamente de Spearman en distribuciones no normales) y R^2 en los estudios de

correlación, según el programa estadístico Statgraphics Plus 5.0. Para precisar los valores de corte se recurrió al análisis de las curvas «receiver operating characteristic» (ROC) del paquete estadístico SPSS 14.

Resultados

Voluntarios sanos

Se trataba de 33 voluntarios sanos, sin antecedentes de dolor lumbar con una media de edad de $34,4 \pm 9,6$ años, con un rango de 21 a 62 años. Trece varones (39,4%) y veinte mujeres (60,6%). No encontramos diferencias en la edad entre ambos grupos ($p=0,37$). La movilidad lumbar estudiada por Amov 3D se presenta en la tabla 1. Los resultados obtenidos presentaron un coeficiente de variación similar, excepto el movimiento de extensión que la variabilidad entre sujetos fue superior.

El rango de movilidad fue mayor en los varones en todos los ejes del movimiento, aunque el análisis de la varianza (one-way ANOVA) permite ver que no existían diferencias significativas (tabla 2).

Para analizar la influencia de la edad se ha recurrido análogamente al análisis univariante de la varianza agrupando a los sujetos en doce categorías de edad, no obteniéndose diferencias significativas en los valores del Amov 3D ($p=0,17$ a $p=0,93$). Para eliminar la posible influencia de los valores extremos (outliers) se ha repetido el estudio con el Test de Kruskal Wallis que compara las medianas en lugar de las medias, obteniéndose similares resultados. La edad tampoco influyó en la velocidad de flexión ($p=0,51$).

Pacientes con lumbalgia

Se estudiaron 47 pacientes con dolor lumbar crónico (más de 3 meses de evolución), que se hallaban en situación de baja laboral de más de 4 semanas, de los cuales 28 eran hombres (59%) y 19 mujeres (40%), con una media de edad de $47,3 \pm 12,5$ años, y un rango entre 22 y 71 años. No evidenciamos diferencias significativas en la edad entre ambos sexos. Los resultados de la movilidad lumbar en pacientes con lumbalgia se presentan en la tabla 3.

Los datos presentaron además una mayor dispersión, con coeficientes de variación elevados.

Se realizó un análisis simple de la varianza (One-Way ANOVA) para cada una de las variables de la movilidad lumbar en hombres y mujeres y se compararon los valores

medios de ambas poblaciones. A excepción de la extensión, los rangos de movilidad fueron mayores en los varones, aunque sin diferencias significativas. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Para estudiar la influencia de la edad se realizaron dos análisis:

- a) ANOVA simple de cada variable en doce subgrupos (categorías) de edad, sin encontrar diferencias significativas (p entre

Tabla 2 Comparación de las medias entre sexos de la movilidad lumbar en sujetos sanos mediante el Amov 3D lumbar

Amov 3D	Hombres	Mujeres	p
Flexión	81,6	74,8	0,34
Extensión	22,2	33,3	0,12
Flexión derecha	32,3	30,2	0,54
Flexión izquierda	32,2	32,7	0,89
Velocidad de flexión	190,7	184,7	0,72

p: nivel de significación. Los valores angulares se expresan en grados sexagesimales. La velocidad se expresa en grados/segundo.

Tabla 3 Descripción de la muestra en pacientes con dolor lumbar. Valoración de la movilidad lumbar mediante Amov 3D lumbar

Amov 3D	Media	DS	Rango	CV	Intervalo de confianza	
					Superior	Inferior
Flexión	53,6	16,7	7-77	31,1	48	59
Extensión	13,0	8,1	0-36	38,8	9,5	16,5
Flexión derecha	22,8	9,3	5-32	40,7	18,8	26,8
Flexión izquierda	22,5	8,3	4-27	36,8	18,9	26,1
Velocidad de flexión	88	45,3	7-77	51,4	68,4	107,6

CV: coeficiente de variación; DS: desviación estándar. Los valores angulares se expresan en grados sexagesimales. La velocidad se expresa en grados/segundo.

Tabla 1 Descripción de la muestra de sujetos sanos. Valoración de la movilidad lumbar mediante AMOV 3D lumbar

Amov 3D	Media	DS	Rango	CV	Intervalo de confianza	
					Superior	Inferior
Flexión	77,3	15,8	42-116	20,4	70,3	84,3
Extensión	28,9	15,6	7-71	53,9	21,6	36,1
Flexión derecha	31,1	7,1	16-43	22,8	27,7	34,6
Flexión izquierda	32,5	7,5	17-49	23,0	28,9	36,1
Velocidad de flexión	187,1	35,8	108-242	19,1	170,3	203,9

CV: coeficiente de variación; DS: desviación estándar. Los valores angulares se expresan en grados sexagesimales. La velocidad se expresa en grados/segundo.

Tabla 4 Comparación de las medias entre sexos de la movilidad lumbar en sujetos con dolor lumbar mediante Amov 3D lumbar

Amov 3D	Hombres	Mujeres	p
Flexión	54,4	52,2	0,70
Extensión	12,0	14,8	0,43
Flexión derecha	23,3	21,8	0,72
Flexión izquierda	22,4	22,6	0,96
Velocidad de flexión	82,4	98,3	0,43

p: nivel de significación. Los valores angulares se expresan en grados sexagesimales. La velocidad se expresa en grados/segundo.

Tabla 5 Análisis de correlación lineal simple de las diferentes variables con la edad en el grupo de pacientes

Amov 3D	r	R ²	p
Flexión	-0,54	29,2	0,0006
Extensión	-0,66	44,5	0,005
Flexión derecha	-0,42	18,14	0,042
Flexión izquierda	-0,35	12,46	0,098
Velocidad de flexión	-0,49	24,18	0,177

p: nivel de significación; r: correlación de Pearson.

0,17 y 0,92), la extensión por Amov 3D mostró la mayor significación (0,053), sin alcanzar el umbral del 0,050.

- b) Un estudio de la correlación lineal entre las diferentes variables de la movilidad lumbar y la edad de la muestra. Los resultados se presentan en la [tabla 5](#), en la cual puede apreciarse una situación distinta a la de los voluntarios sanos. En este caso, se obtuvieron correlaciones significativas en la flexión y extensión valorados con el Amov 3D, pudiendo afirmarse una dependencia de la edad y la amplitud de tales movimientos en la población patológica. Curiosamente la velocidad de flexión no apareció como dependiente de la edad. Hay que destacar que, a diferencia de la población normal, en la población patológica se incluyeron sujetos con edades más avanzadas, siendo esta población significativamente mayor.

Comparación de los datos de la movilidad lumbar en los voluntarios sanos y sujetos con lumbalgia: capacidad discriminativa

No evidenciamos diferencias significativas en la edad y sexo en ambos grupos (voluntarios sanos y sujetos con lumbalgia), por tanto son grupos homogéneos y comparables.

La comparación entre los valores angulares de la población normal y patológica se ha realizado por el análisis de las diferencias de las medias de cada variable. Los valores medios de la población de control fueron considerablemente mayores en todas las variables, con diferencias altamente estadísticas (flexión $p=0,0001$; extensión $p=0,05$; flexión

derecha $p=0,0027$; flexión izquierda $p=0,0002$; velocidad de flexión $p=0,00001$).

Se ha realizado un análisis de la sensibilidad y especificidad de cada variable utilizando las curvas receiving operating curves (ROC) trazadas por la tabulación de la sensibilidad y especificidad. A cada variable corresponde un área bajo la curva, cuya superficie señala la capacidad discriminativa de la variable, siendo está máxima para los valores próximos a 1,00 y sin interés en los valores próximos a 0,50 o inferiores. Se observó que la variable con mayor capacidad discriminativa fue la velocidad de flexión de la columna lumbar ([tabla 6](#)).

Discusión

Los resultados del presente trabajo se han obtenido en un grupo de voluntarios sanos con el objetivo de establecer unos valores normativos. Lo primero que debe destacarse es la dispersión relativamente escasa de los rangos de movimiento en casi todos los sentidos del movimiento, en contra de lo afirmado por otro autor¹⁰. En nuestro estudio, excepto la extensión, la desviación estándar es inferior a un tercio de la media en los restantes movimientos, como puede verse por el análisis de los coeficientes de variación.

Los valores de hombres y mujeres no presentan diferencias significativas, lo cual ya ha sido señalado anteriormente^{12,13}, en contra de la previamente apuntado por otros⁸. La edad no ha influido en los resultados del grupo de sujetos normales, aunque ello puede ser debido a la escasez de voluntarios sanos de más de 50 años. Por el contrario en el grupo de pacientes, con una campana de edad más regular, aparece una disminución de los valores angulares del plano sagital con la edad, lo cual ha sido previamente destacado¹⁴. Curiosamente no aparece correlación edad-velocidad de flexión. Por lo tanto los valores presentados como normativos con nuestra técnica no merecen modificarse por razones de sexo y edad, aunque los sesgos de la muestra obligan a aceptar esta conclusión con la natural prudencia.

El hecho principal es la excelente capacidad para discriminar entre sanos y pacientes con ambas técnicas instrumentales. Aunque este hecho es bien conocido, la significación estadística del presente trabajo es muy grande y obliga a cuestionar los resultados contrarios^{8,15}. No solo las diferencias angulares son significativas en todas las variables sino que el análisis es de una gran precisión, con valores de sensibilidad y especificidad elevados, indicando una notable capacidad discriminativa. Especialmente destacable es la velocidad de flexión determinada por el análisis 3D del movimiento: un valor de corte inferior a 127°/segundo posee una capacidad de detección de patología lumbar del 95%, en tanto que un valor de corte superior a 136°/segundo permite descartar dicha patología con una probabilidad del 91%. El resultado positivo o negativo de un test depende del valor numérico que en la prueba se haya definido como punto de corte para separar enfermos de sanos. Variaciones en la elección de este punto afectarán lógicamente a la especificidad y sensibilidad de la prueba. Un punto de corte exigente aumenta la especificidad y disminuye la sensibilidad y viceversa. Por esta razón se ha preferido indicar los valores de corte de cada variable atendiendo a

Tabla 6 Puntos de corte y área bajo la curva para el estudio de las curvas ROC en las medias angulares obtenidas por Amov 3D

Amov 3D	Área	Corte que interese la sensibilidad (S)	Corte que interese la especificidad (E)
Flexión	0,877	66° (S: 86%; E: 81%)	70° (S: 73%; E: 86%)
Extensión	0,842	15° (S: 85%; E: 70%)	19° (S: 75%; E: 87%)
Flexión derecha	0,752	26° (S: 79%; E: 70%)	30° (S: 63%; E: 74%)
Flexión izquierda	0,809	27° (S: 84%; E: 65%)	29° (S: 68%; E: 78%)
Velocidad de flexión	0,945	127°/s (S: 95%; E : 87%)	136°/s (S: 90%; E: 91%)

La sensibilidad y especificidad correspondientes a dicho valor, expresadas en porcentaje. La columna de valores de la izquierda señala los correspondientes cuando interesa dar mayor importancia a la sensibilidad (facilitar la detección de pacientes) y en la derecha que nos interesa más especificidad (confirmar el diagnóstico de afectación).

sensibilidad y especificidad más que a indicar rangos de normalidad y patología, tal como habitualmente se tienden a presentar los resultados de este tipo de test. Los valores de corte con alta sensibilidad se preferirán para la detección (diagnóstico) de los pacientes con lumbalgia; por el contrario cuando lo que prime es asegurar el poder facilitar la vuelta al trabajo se utilizarán los valores con elevada especificidad. Ello también puede ser de utilidad para descartar sujetos que reclaman indebidamente una compensación por una situación magnificada.

Un resultado importante a destacar es el incremento de los coeficientes de variación encontrados en nuestra muestra tanto en los sujetos sanos como en los patológicos, este incremento del coeficiente se ha relacionado con un trabajo submáximo en las diferentes técnicas biomecánicas. No obstante, nuestros resultados demuestran que coeficientes elevados pueden ser provocados por múltiples causas, siendo el dolor una de las más importantes, por lo que consideramos este dato como de escaso interés cuando se trata de valorar el grado de colaboración. Estos resultados coinciden con los publicados por otros autores.

En resumen, en nuestro estudio podemos afirmar:

- No existen diferencias en la movilidad de la columna lumbar en relación al sexo en la población sana adulta.
- El estudio de la movilidad lumbar mediante Amov 3D es una técnica excelente para discriminar una población sana y patológica.
- La velocidad de flexión de la columna lumbar es la variable más importante para la discriminación entre la población sana y patológica.

Bibliografía

1. Haslock I. In: Weatherall DJ, Ledingham JGG, Warrell DA, editores. Oxford: Oxford Textbook of Medicine; 1987, p. 2993-97.
2. Deyo RA. Measuring the functional status of patients with low back pain. Arch Phys Med Rehabil. 1988;69:1044-53.
3. Beurskens AJ, De Vet HC, Koke AJ, Van Der Heijden GJ, Knipschild PG. Measuring the functional status of patients with low back pain. Assessment of the quality of four disease-specific questionnaires. Spine. 1995;20:1017-28.
4. Waddell G, Sommerville D, Henderson I, Newton M. Objective clinical evaluation of physical impairment in chronic low back pain. Spine. 1997;17:617-28.
5. Lehman GJ. Biomechanical assessment of lumbar spinal function. How low back pain sufferers differ from normals. Implications for outcome measures research. Part I. Kinematic assessment of lumbar function. J Manip Physiol Ther. 2004;27: 57-62.
6. Borobia Fernández C. Valoración del daño corporal. Legislación, Metodología y Prueba Pericial Medica. Masson. 2006: 156-9.
7. Aso Escario J, Cobo Plana JA. Valoración de las lesiones causadas a las personas en accidentes de circulación. 2.ª ed. Barcelona; 2006. p.345-67.
8. Gracovetsky S, Newman N, Pawlowsky M, Lanzo V, Davey B, Robinson L. A database for estimating normal spinal motion derived from noninvasive measurements. Spine. 1995;20:1036-46.
9. Mayer T, Tabor J, Borasso E, Gatcher RJ. Physical progress and residual impairment quantification after functional restoration. Part I: Lumbar mobility. Spine. 1994;19:389-94.
10. Ferguson SA, Marras WS. Revised protocol for the kinematic assessment of impairment. Spine J. 2004;4:163-9.
11. Esola MA, McClure PW, Kelly Fitzgerald G, Siegler S. Analysis of lumbar spine and hip motion during forward bending in subjects with and without a history of low back pain. Spine. 1996;21: 71-8.
12. Burton AK, Tillotson KM, Troup JDG. Variation in the lumbar sagittal mobility with low back pain trouble. Spine. 1984;14: 584-90.
13. Paquet N, Malouin F, Richards CL. Hip-spine movement interaction and muscle activation pattern during sagittal trunk movement in low back patients. Spine. 1994;19: 596-605.
14. Sullivan MS, Dickinson CE, Troup JDG. The influence of age and gender on lumbar sagittal plane range of motion. Spine. 1994;19:682-6.
15. Zuberbier OA, Kozlowski AJ, Hunt DG, Berkowitz J, Schultz I, Crook JM. Analysis of the convergent and discriminant validity of published lumbar flexion, extension and lateral flexion scores. Spine. 2001;26:472-8.