



Revisión

Core stability. Concepto y aportaciones al entrenamiento y la prevención de lesiones



F.J. Vera-García*, D. Barbado, V. Moreno-Pérez, S. Hernández-Sánchez, C. Juan-Recio y J.L.L. Elvira

Centro de Investigación del Deporte, Departamento Psicología de la Salud, Universidad Miguel Hernández, Elche, Alicante, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 25 de septiembre de 2013
Aceptado el 20 de febrero de 2014

Palabras clave:

Tronco
Estabilidad articular
Rendimiento deportivo
Síndrome de dolor lumbar

Keywords:

Trunk
Joint stability
Sport performance
Low back pain

Palavras-chave:

Tronco
Estabilidade articular
Rendimento desportivo
Síndrome da dor lombar

R E S U M E N

En este trabajo presentamos una revisión de la literatura científica sobre la estabilidad de la zona central del cuerpo (*core stability*) con el objeto de clarificar el significado de este concepto y su relación con el rendimiento y las lesiones deportivas. Los resultados de la revisión indican que el uso del término *core stability* es ambiguo, existiendo una gran confusión terminológica tanto en la literatura científica como en el ámbito profesional. Diversos estudios biomecánicos y epidemiológicos sugieren que el déficit en el control neuromuscular de la *core stability* está relacionado con el síndrome de dolor lumbar y lesiones de los miembros inferiores. Sin embargo, a pesar de que los ejercicios de *core stability* son elementos habituales dentro de los programas de entrenamiento deportivo, no existen evidencias suficientes para establecer una relación clara entre la práctica de estos ejercicios y la mejora del rendimiento en el deporte.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

«Core stability». Concept and contributions to training and injury prevention

A B S T R A C T

In this work we present a scientific literature review on *core stability* with the aim of clarifying the meaning of this concept and its relation with sport performance and injury. The results of this review show that the use of the term *core stability* is ambiguous, as there is a great terminological confusion in both scientific literature and professional fields. Several biomechanical and epidemiological studies suggest that the neuromuscular control deficit of *core stability* is related to low back pain and lower limb injuries. Nevertheless, despite the fact that *core stability* exercises are key elements in sport training programs, there is not enough evidence to establish a clear relation between the practice of these exercises and the improvement in sport performance.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

«Core stability». Conceito e contribuições no treinamento e a prevenção de lesões

R E S U M O

Neste trabalho apresentamos uma revisão da literatura científica sobre a estabilidade da zona central do corpo (*core stability*), com o objetivo de esclarecer o significado do conceito e sua relação com o rendimento e lesões desportivas. Os resultados desta revisão indicam que o uso do termo *core stability* é ambíguo, existindo uma grande confusão terminológica tanto na literatura científica como no âmbito

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: fvera@umh.es (F.J. Vera-García).

profissional. Diversos estudos biomecânicos e epidemiológicos sugerem que o déficit no controle neuromuscular da *core stability* está relacionado com a síndrome da dor lombar e lesões dos membros inferiores. No entanto, apesar dos exercícios de *core stability* serem elementos habituais dentro dos programas de treinamento desportivo, não existem evidências suficientes para estabelecer uma relação clara entre a prática dos exercícios e a melhora do rendimento no esporte.

© 2013 Consejería de Educación, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Core no es un concepto descrito en los tratados clásicos de anatomía, sino un concepto funcional utilizado habitualmente para referirse de forma conjunta a las estructuras musculares y osteoarticulares de la parte central del cuerpo, sobre todo, del raquis lumbo-dorsal, la pelvis y las caderas^{1,2}. Este concepto se ha utilizado especialmente en el ámbito deportivo, ya que las estructuras referidas participan conjuntamente en el mantenimiento de la estabilidad del tronco y en la generación y transferencia de fuerzas desde la parte central del cuerpo hacia las extremidades en actividades tan diversas como correr, lanzar o golpear¹, siendo el centro de las cadenas cinéticas que participan en estas acciones³.

Core stability o estabilidad de la zona central del cuerpo es un concepto que está muy de moda sobre todo en el fitness, en el entrenamiento y en la medicina del deporte, ya que ha sido señalado como uno de los factores clave para la prevención y tratamiento del síndrome de dolor lumbar⁴⁻⁶, así como un factor destacado en la prevención de lesiones en los miembros inferiores^{1,3,6}. Aunque ambas aplicaciones son relevantes, destaca especialmente su posible rol en la prevención y tratamiento del síndrome de dolor lumbar, ya que este tiene una alta prevalencia y es una de las causas principales de los elevados costes sociosanitarios de las sociedades industrializadas⁷⁻⁹. Así, por ejemplo, según la Encuesta Nacional de Salud de España, correspondiente a los años 2011/12, la prevalencia de este síndrome en la población española mayor de 16 años es del 18,61%.

Sin embargo, a pesar de que entrenadores, preparadores físicos y monitores de fitness reconocen la utilidad e importancia de la *core stability* para la mejora funcional y el desarrollo de los deportistas, son pocos los estudios que han analizado la relación entre el desarrollo de la estabilidad del *core* y la mejora del rendimiento deportivo¹⁰. Además, el uso del término *core stability* es ambiguo, existiendo cierto debate sobre su correcto significado tanto en la literatura científica como en el ámbito profesional^{3,11}.

En este trabajo presentamos una revisión de la literatura científica más relevante sobre *core stability* con el objeto de clarificar el significado de este concepto y su relación con el rendimiento y la patología.

Método

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos *PubMed*, *Scopus* y *SportDiscus*, utilizando los términos *core stability*, *trunk stability*, *spine stability* y *neuromuscular control*, así como su combinación con los términos *performance*, *strength*, *injury* y/o *low back pain*. Los filtros empleados fueron: abstract disponible y fecha de publicación 1990–2013. Tras la revisión de los resúmenes obtenidos se eliminaron aquellos trabajos duplicados entre bases de datos y los que no abordaban aspectos específicos sobre la evaluación y/o entrenamiento de la estabilidad del *core* (tabla 1). Aunque se utilizaron también algunos libros de autores relevantes en la temática, este artículo se centra sobre todo en la revisión de trabajos publicados desde enero de 1990 hasta julio de 2013 en revistas indexadas

en el *Journal Citation Reports* del *ISI Web of Knowledge* (Thomson Reuters Corporation).

Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados principales de la búsqueda bibliográfica. Tras el análisis y revisión de los artículos encontrados, así como de algunos textos básicos sobre biomecánica del raquis^{4,12} la información se estructuró en 2 apartados principales que presentamos a continuación: a) concepto de *core stability*; y b) relación entre *core stability*, prevención de lesiones y rendimiento deportivo.

Concepto de *core stability*

Existen diferentes definiciones en la literatura científica de *core stability*, así como de conceptos similares, tales como estabilidad del tronco o estabilidad del raquis, que a menudo se utilizan como sinónimos.

Conceptos de estabilidad raquídea desarrollados en biomecánica e ingeniería

En mecánica, los conceptos de equilibrio y estabilidad están muy relacionados. Un cuerpo está en equilibrio cuando la suma de todas las fuerzas y momentos de fuerzas que actúan sobre él es igual a cero^{13,14}. Por otro lado, la estabilidad de un cuerpo hace referencia a la capacidad de este para mantener su estado de equilibrio ante las fuerzas (internas o externas) a las que se ve sometido¹⁴.

Una de las definiciones más clásicas de estabilidad raquídea utilizadas en biomecánica e ingeniería es la desarrollada por Bergmark¹³, quien formuló y relacionó matemáticamente los conceptos de energía, rigidez y estabilidad en relación con la columna vertebral. Según Bergmark¹³, la estabilidad raquídea es la habilidad del raquis para mantener su estado de equilibrio cuando es sometido a fuerzas perturbadoras o desequilibrantes. Si analizamos la

Tabla 1

Resumen de la estrategia de búsqueda y resultados en las bases de datos consultadas

Estrategia de búsqueda	Bases de datos	Resultados
#1 (((((((core stability OR trunk stability OR spinal stability))) AND (low back pain OR strength OR injury OR performance))) AND (neuromuscular control)))))) Filter #1 to Abstract available; Publication date from 1990/01/01 to 2013/07/31	<i>PubMed</i>	73
	<i>Scopus</i>	65
	<i>SportDiscus</i>	69
	Excluidos tras revisión:	139
	-Duplicados (120)	
	-Por título/abstract (19)	
	Total	68

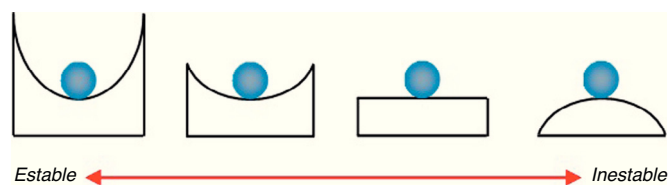


Figura 1. Continuum de estabilidad mecánica en un sistema simple formado por una bola apoyada en una superficie. La imagen de la izquierda muestra la situación de mayor estabilidad, ya que la fuerza que hay que aplicarle (o la energía que hay que utilizar) para cambiar su estado es mayor que en el resto de casos.

estabilidad de cuerpos o estructuras más simples como los presentados en la figura 1, un cuerpo está más estable cuanto mayor es la fuerza o energía necesaria para cambiar su estado. Debemos tener en cuenta que la estabilidad mecánica en sí misma ni es buena ni es mala, ya que «solo» representa el grado de resistencia del cuerpo a modificar su estado de equilibrio. Así, un cuerpo puede estar muy estable, en términos mecánicos, en un estado que clínica o funcionalmente es perjudicial, siendo muy difícil modificar su estado para llevarlo a una situación más beneficiosa.

Partiendo de las bases teóricas y matemáticas desarrolladas por Bergmark¹³, Cholewicki y McGill¹⁵ fundamentaron su concepto de estabilidad raquídea a partir del concepto de energía potencial. En el sistema musculoesquelético la energía potencial representa principalmente la energía elástica almacenada durante la deformación x de una estructura de rigidez k (fig. 2). En términos mecánicos, cuando el sistema está sometido a una fuerza, la estabilidad articular está asociada a la magnitud de la deformación, de modo que a mayor rigidez, menor es la deformación y por tanto más estable es la columna vertebral. Si volvemos al ejemplo de la figura 1, la rigidez del sistema vendrá representada por la pendiente de la superficie que rodea la bola. A mayor pendiente (imagen de la izquierda), mayor rigidez y estabilidad.

Las articulaciones de la columna vertebral poseen un cierto nivel de rigidez que les proporcionan sus estructuras osteoligamentosas. Sin embargo, estudios *in vitro* realizados en columnas de cadáveres demuestran que las estructuras pasivas de la columna no son capaces de mantener una posición erguida frente a fuerzas compresivas de tan solo 90 N¹⁶, es decir, fuerzas muy inferiores a las que soporta la columna vertebral en tareas de la vida cotidiana o en actividades deportivas¹⁷. En este sentido, la estabilidad del raquis

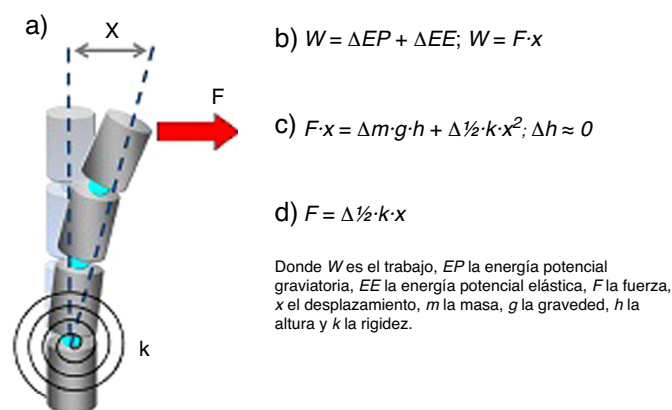


Figura 2. a) Modelo mecánico de una columna vertebral de rigidez k sometida a una fuerza externa (F); b) El trabajo es igual a la variación de la energía potencial y también al producto de la fuerza por el desplazamiento o deformación en la dirección de la fuerza; c) Asumiendo que no hay cambios significativos en la altura del sistema, la energía potencial gravitatoria se puede eliminar de la ecuación (en el sistema musculoesquelético la energía potencial representa principalmente la energía elástica almacenada durante la deformación); d) A mayor rigidez de la columna, mayor será la fuerza necesaria para deformarla.

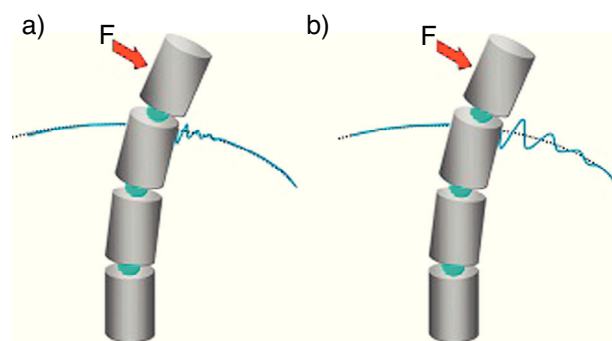


Figura 3. Diferentes respuestas ante una alteración durante la realización de un movimiento de flexión del raquis. La línea discontinua representa la trayectoria deseada y la línea continua la trayectoria realizada antes y después de la alteración. La columna presentada en la imagen a) responde mejor que la presentada en la imagen b), ya que tarda menos en recuperar la trayectoria deseada y describe una trayectoria más precisa o parecida a la que se pretendía realizar.

depende tanto de sus elementos osteoarticulares y ligamentosos, como de la activación muscular y de su adecuado funcionamiento bajo la coordinación del sistema de control motor¹⁸, que modula la respuesta muscular en función del feedback obtenido del contexto y de las estructuras raquídeas y musculares.

La rigidez de las articulaciones raquídeas aumenta rápidamente y de forma no lineal con el incremento de la activación muscular, de modo que, niveles bajos de activación muscular, son capaces de generar niveles de rigidez suficientes para asegurar la estabilidad del raquis en personas sin patología raquídea en una gran variedad de actividades^{15,19,20}. Para ello, todos los músculos del tronco deben participar de forma coordinada⁵, desde los más pequeños y próximos a las articulaciones, que actúan localmente generando momentos de fuerza pequeños (*sistema de estabilización local* según Bergmark¹³), hasta los más grandes y superficiales, que actúan sobre una gran cantidad de articulaciones y generan grandes momentos de fuerza, a través de brazos de palanca largos y secciones fisiológicas grandes (*sistema de estabilización global* según Bergmark¹³). En este sentido, estudios biomecánicos han demostrado que patrones de coactivación muscular inadecuados, afectan negativamente al control de la estabilidad mecánica del raquis²¹.

Aunque el concepto de estabilidad basado en la rigidez de la columna vertebral es útil para el estudio de la estabilidad en condiciones estáticas, el incremento de la co-activación muscular, y el consiguiente aumento de la rigidez, no parece la mejor estrategia para controlar el movimiento del tronco a lo largo de una trayectoria predeterminada o para realizar ajustes posturales rápidos y precisos^{22,23}. Como se muestra en la figura 3, para analizar la estabilidad del raquis en condiciones dinámicas, es necesario medir la habilidad del sistema de control motor, para mantener una trayectoria determinada, ante fuerzas internas o externas aplicadas sobre el raquis²², es decir, ante perturbaciones de diferentes características.

A diferencia de los estudios clásicos de estabilidad mecánica del raquis^{13,15}, en los que se intenta establecer diferentes niveles o índices de estabilidad, autores como Reeves et al.¹¹ abogan por una visión dicotómica de la estabilidad (fig. 4), en la que un cuerpo o sistema es estable o no lo es, pero no es más o menos estable. Para analizar de forma detallada la conducta (estática o dinámica) de un cuerpo o sistema estable ante las perturbaciones, Reeves et al.¹¹ proponen la utilización de otros 2 conceptos: la robustez y el rendimiento. Básicamente, el rendimiento haría referencia a la precisión y rapidez con la que el sistema es capaz de volver a la posición o trayectoria que tenía antes de la alteración (fig. 3). Por otra parte, la robustez mediría la capacidad de un cuerpo o sistema para permanecer estable ante fuerzas tanto

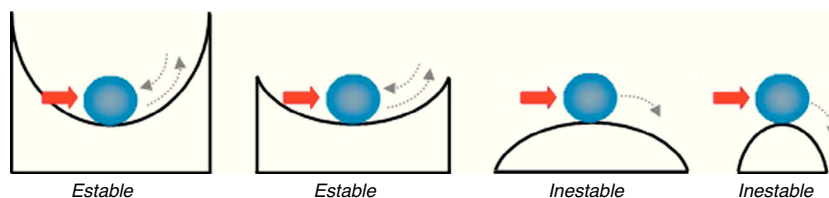


Figura 4. Estabilidad mecánica como concepto dicotómico. Un sistema formado por una bola apoyada sobre una superficie será estable si al aplicarle una fuerza relativamente pequeña la bola vuelve a su posición original tras un periodo de oscilación respecto al punto de equilibrio. Por el contrario, el sistema será inestable si la misma fuerza saca al sistema del estado de equilibrio. Aunque en esta figura hay 2 imágenes que muestran sistemas estables, la imagen situada más a la izquierda presenta un sistema más robusto, ya que este sería capaz de permanecer estable ante fuerzas de mayor intensidad.

grandes como pequeñas (fig. 4). Partiendo de esta definición, no deberíamos hablar de diferentes niveles o índices de estabilidad, sino de diferentes niveles de robustez¹¹. El uso del término robustez no es habitual en ámbitos como la rehabilitación, el entrenamiento o la fisioterapia deportiva, donde por ejemplo, el objetivo de los programas de ejercicios de estabilización es conseguir una columna más estable, no más robusta. Por ello, aunque en biomecánica los términos robustez y rendimiento pueden ser útiles para el estudio de la estabilidad mecánica del raquis, en ámbitos más aplicados su uso podría incrementar la confusión terminológica.

Conceptos de inestabilidad raquídea desarrollados en el ámbito clínico

Según Panjabi²⁴ mientras el concepto de inestabilidad mecánica está relacionado principalmente con la incapacidad del raquis para soportar cargas internas o externas, el concepto de inestabilidad clínica incluye también el déficit neurológico y/o el dolor, que pueden ser consecuencia de dicha incapacidad. Así, desde un punto de vista clínico, la estabilidad ha sido definida como la habilidad del raquis, sometido a cargas fisiológicas, de limitar su desplazamiento para no producir lesiones o dañar la médula espinal o las raíces nerviosas, así como para prevenir alteraciones morfológicas que produzcan incapacidad o dolor¹².

Partiendo de este concepto clínico de estabilidad y de los resultados de estudios electromiográficos^{25,26} y experimentales²⁷⁻²⁹, algunos autores^{30,31} abogan por el desarrollo de programas de rehabilitación para pacientes con inestabilidad lumbopélvica basados en la mejora de la función de los músculos profundos del tronco, especialmente el transversal del abdomen y el multífido, en detrimento de la musculatura más superficial, como el recto del abdomen. Este enfoque ha recibido críticas importantes, sobre todo desde grupos de investigación en biomecánica del raquis⁵, ya que no parecen existir evidencias suficientes que demuestren que los músculos profundos del tronco son los más importantes para el desarrollo de la estabilidad lumbopélvica^{19,32-34}.

Conceptos de core stability desarrollados dentro del entrenamiento y la medicina del deporte

Partiendo de los conceptos básicos de estabilidad mecánica del raquis, se han desarrollado varios conceptos funcionales de *core stability* aplicados a los ámbitos del entrenamiento y la medicina del deporte. Uno de los más utilizados es el desarrollado por Kibler et al.¹. Según estos autores, *core stability* es la capacidad para controlar la posición y el movimiento del tronco sobre la pelvis, permitiendo una óptima producción, transferencia y control de fuerza y movimiento hacia los elementos distales o terminales de las cadenas cinéticas desarrolladas en actividades atléticas o deportivas. Por otro lado, Liemohn et al.³⁵ utilizaron la conceptualización de estabilidad desarrollada por Panjabi¹⁸ para definir *core stability* como la integración funcional de las estructuras pasivas de la columna

vertebral, los músculos o elementos activos y el control neural, de manera que permite al individuo mantener las *zonas neutrales* intervertebrales (parte del rango de movimiento articular dentro del cual la resistencia al movimiento intervertebral es mínimo) dentro de los límites fisiológicos, mientras se realizan actividades de la vida diaria.

El concepto de *core stability*, denominado en ocasiones como *core strength*^{32,36-38}, es entendido a veces como un constructo amplio que incluye el control propioceptivo, la fuerza, la potencia y la resistencia de los músculos del *core*³⁹. Sin embargo, aunque los términos *core stability* y *core strength* están relacionados, no se deben utilizar como sinónimos, ya que esto incrementa la confusión terminológica. Según Reed et al.¹⁰, *core strength* hace referencia a la capacidad de los músculos del *core* para generar y mantener la producción de fuerza (capacidades que conocemos como fuerza y resistencia muscular), mientras que el concepto de *core stability* está relacionado con el control del *core* durante la generación de fuerza muscular o en respuesta a una alteración.

Como se desprende de lo expuesto hasta el momento, la definición de *core stability* está claramente vinculada al contexto donde ha sido desarrollada y utilizada, es decir, laboratorios de biomecánica, clínicas de rehabilitación y centros deportivos, principalmente. Ante la existencia de numerosas definiciones de *core stability*, estabilidad del tronco, estabilidad del raquis y estabilidad lumbopélvica, algunos de los grupos de investigación más relevantes^{6,11} han resaltado la necesidad de que la comunidad científica elija una única definición de estabilidad^{6,11}. Esta definición debería partir de la fundamentación básica desarrollada en ingeniería y biomecánica, así como de las características morfológicas y funcionales de las estructuras que forman el *core*. Además, sería conveniente que el concepto de *core stability* se pudiera aplicar en diferentes contextos (entrenamiento deportivo, fitness, medicina del deporte, etc.), por lo que debería ser útil tanto en situaciones estáticas como dinámicas⁶. Atendiendo a estas consideraciones, se propone la siguiente definición de *core stability*: capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco, cuando este es sometido a fuerzas internas o externas.

Si aplicamos el concepto referido al entrenamiento o la medicina del deporte, la estabilidad del *core* puede ser entendida como una cualidad física, modificable con el entrenamiento o la rehabilitación. Cuando analizamos la estabilidad de un deportista debemos tener en cuenta que esta es dependiente del contexto¹¹, por lo que se puede manifestar de forma distinta en función de las condiciones en las que es evaluada. Así, del mismo modo que un deportista puede tener una gran fuerza isométrica máxima, a pesar de no presentar valores muy elevados de fuerza explosiva, también puede destacar por tener una gran capacidad de estabilización del *core* en bipedestación y ante fuerzas aplicadas en dirección transversal, pero no así ante fuerzas aplicadas en otras direcciones, ante fuerzas de mayor duración o ante fuerzas aplicadas en sedestación⁴⁰. Por

tanto, para poder analizar adecuadamente la estabilidad del *core* es necesario utilizar una batería de test que nos permita conocer la respuesta de las estructuras del *core* ante una gran variedad de fuerzas de diferentes características (magnitud, dirección, duración, etc.).

Core stability, prevención de lesiones y rendimiento deportivo

En el deporte profesional y amateur son habituales los programas de ejercicios para el acondicionamiento de la musculatura del tronco, conocidos como programas de *core training*^{41–42}. Los objetivos de estos programas suelen ser la mejora del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, mediante el desarrollo de las diferentes cualidades de los músculos del tronco, especialmente, la resistencia, la fuerza y la capacidad de estabilización de las estructuras del *core*.

Los resultados de estudios publicados en los últimos 15 años han relacionado deficiencias en el control neuromuscular de la estabilidad del tronco con lesiones de la columna vertebral y las extremidades⁶. En este sentido, un estudio biomecánico realizado por Cholewicki et al.⁴³ encontró alteraciones en la respuesta refleja de los músculos del tronco ante fuerzas externas (aplicadas sobre el tórax de forma controlada) en deportistas que habían finalizado su recuperación tras una lumbalgia aguda. Asimismo, estudios que han comparado la respuesta de los músculos del tronco de pacientes con dolor lumbar crónico y personas asintomáticas, han encontrado una mayor latencia en la respuesta muscular de los pacientes con dolor lumbar ante fuerzas externas^{44–46} e internas^{25,26}, así como un menor control postural tanto de pie^{47–50} como en sedestación^{45,51}. Con base en los resultados de los estudios referidos, se considera que el déficit en el control neuromuscular de la estabilidad del tronco es un factor de riesgo de lesión del raquis lumbar^{3,6}, aunque es difícil establecer si estas deficiencias son causa o consecuencia de la lesión lumbar.

En cuanto a las lesiones de las extremidades, estudios prospectivos realizados por Zazulak et al.^{52,53} mostraron correlaciones entre diversos factores relacionados con el control neuromuscular de la estabilidad del tronco (desplazamiento del tronco ante una fuerza externa, control propioceptivo de la posición del tronco, historia de dolor lumbar, etc.) y lesiones deportivas ocurridas durante un periodo de 3 años en diferentes estructuras de la rodilla, principalmente en mujeres deportistas. Asimismo, en un estudio realizado con jugadores de baloncesto y corredores de *cross*, Leetun et al.³⁷ encontraron que la fuerza de los rotadores externos de la cadera (variable relacionada con el concepto de *core strength*) fue un predictor de lesiones en los miembros inferiores a lo largo de una temporada. No obstante, es necesario realizar estudios de intervención para profundizar en la relación entre déficits de *core stability* y/o *core strength* y el riesgo de lesión en las extremidades, ya que los estudios transversales y de cohortes no permiten inferir si ha existido o no causalidad⁵⁴.

Además de los posibles beneficios del desarrollo del *core stability* sobre la prevención de lesiones en el aparato locomotor, autores como Kibler et al.¹ sugieren que es posible optimizar el rendimiento de los deportistas, a través del desarrollo de la parte central de las cadenas cinéticas implicadas en la mayoría de las acciones deportivas, facilitando la transmisión de las fuerzas, generadas por los miembros inferiores, hacia los miembros superiores y viceversa. Se ha demostrado en estudios electromiográficos que la activación de los músculos del tronco precede a la activación de los músculos que movilizan las extremidades⁵⁵, lo que ha sido interpretado como una forma de crear una base estable para el movimiento de los miembros. Este fenómeno es lo que se denominó *proximal stability for distal mobility*⁵⁶. Asimismo, teniendo en cuenta que la parte superior del cuerpo constituye las 2 terceras partes del peso

corporal total⁵⁷ y que esta masa se encuentra generalmente elevada en relación con el suelo, un control adecuado de los movimientos y la postura del tronco, es considerado un factor importante para el equilibrio corporal^{50,58,59}, capacidades que son claves para el rendimiento en muchos deportes⁶⁰.

Por otro lado, los estudios experimentales y/o descriptivos que han analizado la posible contribución de la *core stability* al rendimiento deportivo son escasos y presentan resultados controvertidos^{34,38,39,54}. El origen de esta controversia puede encontrarse en diversas limitaciones de los estudios referidos. Generalmente, los ejercicios de *core stability* no son el único componente de los programas de entrenamiento, por lo que es difícil aislar directamente sus efectos sobre el rendimiento¹⁰. Además, muchos de los estudios que han encontrado los mayores efectos, han sido realizados con individuos que practicaban deporte a nivel universitario o amateur y no pueden ser generalizables al deporte de élite o profesional¹⁰. Otra limitación es la falta de especificidad de los test utilizados para medir el rendimiento deportivo. Generalmente se utilizan test de saltos, levantamiento de pesas, lanzamientos, golpes, sprint, cambios de dirección y control postural, que miden capacidades físicas importantes para el rendimiento de los deportistas, como la agilidad, la velocidad, la fuerza, la potencia y el equilibrio^{10,34,38,39,54}. Sin embargo, estas pruebas son genéricas y no suelen estar basadas en los movimientos y las técnicas utilizadas de forma específica en cada deporte. Finalmente, una de las limitaciones más importantes de estos estudios está relacionada con la ambigüedad existente en relación con el concepto de *core stability*⁵⁴, ya que la existencia de múltiples definiciones de estabilidad ha provocado la utilización de medidas muy diversas para evaluar esta capacidad, como por ejemplo, test isométricos de fuerza o resistencia muscular³⁸ y test de control postural del raquis lumbar y la pelvis^{34,39}. Desafortunadamente, se desconoce la validez de estas pruebas como medidas de *core stability*, lo que pone en entredicho los resultados obtenidos en los estudios referidos y deja una gran cantidad de preguntas sin resolver. Futuros estudios deben superar estas limitaciones, lo cual permitirá resolver preguntas importantes, como por ejemplo: ¿es necesario un nivel determinado de *core stability* para rendir en un deporte?, ¿tiene algún beneficio seguir desarrollando esta capacidad si alcanzamos dicho nivel?, ¿es más importante la utilización de ejercicios de *core stability* en fases de formación deportiva o en el rendimiento deportivo?, ¿qué elementos, componentes o características de la *core stability* son más importantes para el rendimiento?, etc.

Recomendaciones finales

Los ejercicios de *core stability* son tareas habituales dentro de los programas de *core training* diseñados para la prevención de lesiones, el incremento de la función de los músculos del tronco y/o la mejora del rendimiento deportivo. No obstante, el uso del término *core stability* es ambiguo, existiendo una gran confusión terminológica en diferentes ámbitos profesionales y científicos. Ante la necesidad de consenso, en relación con la utilización de un único concepto de estabilidad, se propone la siguiente definición de *core stability*: capacidad de las estructuras osteoarticulares y musculares, coordinadas por el sistema de control motor, para mantener o retomar una posición o trayectoria del tronco ante las perturbaciones.

Según los resultados de estudios biomecánicos y epidemiológicos, el déficit de control neuromuscular de la estabilidad del tronco está relacionado, tanto con el síndrome de dolor lumbar como con lesiones en los miembros inferiores. Por otro lado, aunque desde un punto de vista teórico se acepta la relación entre *core stability* y rendimiento deportivo, no existen evidencias claras de la mejora del rendimiento de los deportistas a través del entrenamiento de

la *core stability*. Esto se debe principalmente a que los estudios que han analizado dicha relación son relativamente pocos y presentan limitaciones importantes.

Financiación

Este trabajo es resultado de un Proyecto de Investigación (Ref.: DEP2010-16493) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Plan Nacional de I+D+i).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

El estudiante Casto Juan Recio ha podido participar en este estudio gracias a una beca predoctoral (Val i+D) concedida por la Generalidad Valenciana. Los autores agradecen a D. Luis Cortes Barbado (Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC, Granada) la revisión de este trabajo.

Bibliografía

- Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med.* 2006;36(3):189-98.
- Escamilla RF, Lewis C, Bell D, Bramblett G, Daffron J, Lambert S, et al. Core muscle activation during Swiss ball and traditional abdominal exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(5):265-76.
- Borghuis J, Hof AL, Lemmink KA. The importance of sensory-motor control in providing core stability: Implications for measurement and training. *Sports Med.* 2008;38(11):893-916.
- McGill SM. Low back disorders. Evidence-based prevention and rehabilitation. Champaign, Illinois: Human Kinetic; 2002.
- McGill SM, Grenier S, Kavcic N, Cholewicki J. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):353-9.
- Zazulak B, Cholewicki J, Reeves NP. Neuromuscular control of trunk stability: Clinical implications for sports injury prevention. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(9):497-505.
- Becker A, Held H, Redaelli M, Strauch K, Chenot JF, Leonhardt C, et al. Low back pain in primary care: Costs of care and prediction of future health care utilization. *Spine.* 2010;35(18):1714-20.
- Dagenais S, Caro J, Haldeman S. A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *Spine J.* 2008;8(1):8-20.
- Gómez-Conesa A, Valbuena Moya S. Lumbalgia crónica y discapacidad laboral. *Fisioterapia.* 2005;27(5):255-65.
- Reed CA, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. The effects of isolated and integrated 'core stability' training on athletic performance measures: A systematic review. *Sports Med.* 2012;42(8):697-706.
- Reeves NP, Narendra KS, Cholewicki J. Spine stability: The six blind men and the elephant. *Clin Biomech.* 2007;22(3):266-74.
- White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine. 20nd ed. Philadelphia: Lippincott; 1990.
- Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand.* 1989;230 Suppl1:S1-54.
- Elvira JLL. Control y análisis del equilibrio y la estabilidad en la actividad física y el deporte. En: Izquierdo M, editor. *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte.* Buenos Aires: Panamericana; 2008. p. 259-80.
- Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech.* 1996;11(1):1-15.
- Crisco JJ 3rd, Panjabi MM. Euler stability of the human ligamentous lumbar spine Part I: Theory. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1992;7(1):19-26.
- Cholewicki J, McGill SM, Norman RW. Lumbar spine loads during the lifting of extremely heavy weights. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;23(10):1179-86.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord.* 1992;5(4):383-9.
- Vera-García FJ, Elvira JL, Brown SH, McGill SM. Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *J Electromyogr Kinesiol.* 2007;17(5):556-67.
- Vera-García FJ, Brown SH, Gray JR, McGill SM. Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads. *Clin Biomech.* 2006;21(5):443-55.
- Brown SH, Vera-García FJ, McGill SM. Effects of abdominal muscle coactivation on the externally preloaded trunk: Variations in motor control and its effect on spine stability. *Spine.* 2006;31(13):E387-93.
- Granata KP, England SA. Stability of dynamic trunk movement. *Spine.* 2006;31(10):E271-6.
- Reeves NP, Everding VQ, Cholewicki J, Morrisette DC. The effects of trunk stiffness on postural control during unstable seated balance. *Exp Brain Res.* 2006;174(4):694-700.
- Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):371-9.
- Hodges PW, Richardson CA. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *J Spinal Disord.* 1998;11(1):46-56.
- Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine.* 1996;21(22):2640-50.
- Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine.* 1996;21(23):2763-9.
- Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine.* 2001;26(11):E243-8.
- O'Sullivan PB, Twomey L, Allison GT. Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998;27(2):114-24.
- Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? *Man Ther.* 1995;1(1):2-10.
- Jull GA, Richardson CA. Motor control problems in patients with spinal pain: A new direction for therapeutic exercise. *J Manipulative Physiol Ther.* 2000;23(2):115-7.
- Akuthota V, Nadler SF. Core strengthening. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85 3 Suppl 1:S86-92.
- Grenier SG, McGill SM. Quantification of lumbar stability by using 2 different abdominal activation strategies. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88(1):54-62.
- Mills JD, Taunton JE, Mills WA. The effect of a 10-week training regimen on lumbo-pelvic stability and athletic performance in female athletes: A randomized-controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2005;6(2):60-6.
- Liemohn WP, Baumgartner TA, Gagnon LH. Measuring core stability. *J Strength Cond Res.* 2005;19(3):583-6.
- Abt JP, Smoliga JM, Brick MJ, Jolly JT, Lephart SM, Fu FH. Relationship between cycling mechanics and core stability. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1300-4.
- Leetun DT, Ireland ML, Willson JD, Ballantyne BT, Davis IM. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):926-34.
- Nesser TW, Huxel KC, Tincher JL, Okada T. The relationship between core stability and performance in division I football players. *J Strength Cond Res.* 2008;22(6):1750-4.
- Sharrock C, Cropper J, Mostad J, Johnson M, Malone T. A pilot study of core stability and athletic performance: Is there a relationship? *Int J Sports Phys Ther.* 2011;6(2):63-74.
- López-Valenciano A, Juan-Recio C, Barbado D, López-Elvira JL, Montero C, Vera-García FJ. Perfil de la estabilidad mecánica del tronco en judocas de elite. I Congreso Internacional de Judo De Frutos-UMH; San Juan (Alicante): 27-30 de Junio de 2013.
- Vera-García FJ, Flores-Parodi B, Llana Belloch S. El entrenamiento de la zona central (core training) en la natación de competición. *NSW.* 2008;30(2):7-16.
- Weston M, Coleman NJ, Spears IR. The effect of isolated core training on selected measures of golf swing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(12):2292-7.
- Cholewicki J, Greene HS, Polzhofer GK, Galloway MT, Shah RA, Radebold A. Neuromuscular function in athletes following recovery from a recent acute low back injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2002;32(11):568-75.
- Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, Patel TC. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine.* 2000;25(8):947-54.
- Radebold A, Cholewicki J, Polzhofer GK, Greene HS. Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine.* 2001;26(7):724-30.
- Reeves NP, Cholewicki J, Milner TE. Muscle reflex classification of low-back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2005;15(1):53-60.
- Ham YW, Kim DM, Baek JY, Lee DC, Sung PS. Kinematic analyses of trunk stability in one leg standing for individuals with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010;20(6):1134-40.
- Henry SM, Hitt JR, Jones SL, Bunn JY. Decreased limits of stability in response to postural perturbations in subjects with low back pain. *Clin Biomech.* 2006;21(9):881-92.
- Ruhe A, Fejer R, Walker B. Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: A systematic review of the literature. *Eur Spine J.* 2011;20(3):358-68.
- Sung PS, Yoon B, Lee DC. Lumbar spine stability for subjects with and without low back pain during one-leg standing test. *Spine.* 2010;35(16):E753-60.
- Van Dieen JH, Koppes LL, Twisk JW. Low back pain history and postural sway in unstable sitting. *Spine.* 2010;35(7):812-7.
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: A prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(7):1123-30.
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. The effects of core proprioception on knee injury: A prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med.* 2007;35(3):368-73.
- Jamison ST, McNeilan RJ, Young GS, Givens DL, Best TM, Chaudhari AM. Randomized controlled trial of the effects of a trunk stabilization

- program on trunk control and knee loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44(10):1924–34.
55. Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther.* 1997;77(2):132–42.
 56. Putnam CA. Sequential motions of body segments in striking and throwing skills. *J Biomech.* 1993;26:125–35.
 57. Dumas R, Cheze L, Verriest JP. Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters. *J Biomech.* 2007;40(3):543–53.
 58. Van der Burg JC, van Wegen EE, Rietberg MB, Kwakkel G, van Dieen JH. Postural control of the trunk during unstable sitting in Parkinson's disease. *Parkinson Rel Disord.* 2006;12(8):492–8.
 59. Preuss R, Fung J. Musculature and biomechanics of the trunk in the maintenance of upright posture. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(5):815–28.
 60. Van Dieen JH, Luger T, van der Eb J. Effects of fatigue on trunk stability in elite gymnasts. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(4):1307–13.