

ARTÍCULO

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales.

Association between clinical measurement variables and impact and elastic index in jumping ability: Analysis of principal components.

Carlos De la Fuente C. PT, MSc.^{1,2,3,4}, Liver Priario L. MSc.¹, Roberto Peña y Lillo S. PT^{6,7}, Andrés Fuentealba P. MD⁸, Hugo Henríquez S. MD⁵, Felipe P. Carpes. PhD¹

¹Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada, Universidade Federal do Pampa, Uruguai, Brasil.

²Carrera de Kinesiología, Departamento de Ciencias de la Salud, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

³Centro de Salud Deportivo, Clínica Santa María, Santiago, Chile.

⁴Laboratorio integrativo de biomecánica y fisiología del esfuerzo. LIBFE. Escuela de Kinesiología. Universidad de los Andes, Santiago, Chile.

⁵Traumatología y Ortopedia, Instituto Traumatológico – Clínica Santa María, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

⁶Unidad de kinesiterapia y terapia ocupacional, Instituto Traumatológico, Santiago, Chile.

⁷Escuela de kinesiología, Universidad Mayor, Santiago, Chile.

⁸Traumatología, Hospital de Urgencia y Asistencia Pública (Posta Central), Santiago, Chile

Autor para correspondencia: Carlos De la Fuente; Correo electrónico: delafuente@gmail.com;
Av. Vicuña Mackenna 4860, Ed. Cs. De la Salud, Lab. Análisis del Movimiento

Recibido el 25 de enero 2020 / Aceptado el 05 de septiembre 2020

Resumen

Objetivo: Algunas mediciones clínicas son empleadas en el re-integro deportivo. No obstante, la naturaleza mecánica no siempre es conocida. Por ello, hemos determinado la asociación entre escala visual numérica de dolor, perímetro de pierna, elevación monopodal, rango de movimiento dorsiflexor, sus diferencias entre extremidades, índice de elasticidad y de impacto desarrollados durante saltos

verticales en deportistas amateur jóvenes y sanos.

Material y Métodos: 36 participantes ($20,8 \pm 2,8$ años, $65,4 \pm 11,1$ kg) fueron incluidos. Los índices elástico y de impacto fueron registrados durante una prueba de salto vertical con y sin contra-movimiento mediante una plataforma de fuerza. La asociación multivariada y reducción de dimensión lineal componentes principales junto una varianza total mínima del 70%, fue empleada.

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

Discusión: El primer, segundo y tercer componente explicó el 29,0%, 27,7% y 17,8% de la varianza total, respectivamente. La diferencia de rango dorsiflexor e índice de impacto podrían haberse asociado en el primer componente principal respecto a una función de disipación mecánica. La diferencia de elevaciones monopodal entre extremidades y el índice de elasticidad podrían haberse asociado en el segundo componente principal respecto a una función de generación mecánica. Finalmente, la diferencia de perímetro de pierna no refirió tener una asociación clara.

Palabras claves: Extremidad inferior; fuerza muscular; examinación física.

Abstract

Aim: Clinical measurements have been pointed out to favor the sport-return. However, the mechanical nature to which clinical measurements are associated has not yet been determined. This study has aimed to determine the association between the numerical visual scale of pain, calf perimeter, one-leg heel rises, dorsal range of motion, their difference between legs, elastic and impact index during a vertical jump in recreational athletes.

Materials and Methods: 36 participants (20.8 ± 2.8 years-old, 65.4 ± 11.1 kg) were included. The elastic and impact index were registered during a vertical jump with and without countermovement jump through a force platform Bertec®. The multivariate association technique and linear dimension reduction (principal components) have been used.

Discussion: The first, second, and third components explained the 29,0%, 27,7%, and 17,8% of the total variance. The first, second, and third components generated

major weight respect the impact index and dorsal range of motion, one-leg heel-rise difference between legs and elastic index, and calf circumference difference between legs, respectively. It is suggestive that the first, and second, components express mechanical dissipation, and generation. The third component was not enough to associate clear mechanical properties alone.

Key words: Lower leg, muscle strength, physical assessment.

Introducción

Mediciones de la extremidad inferior como el perímetro de pierna, rango de movimiento dorsiflexor, elevación monopodal y la valoración del dolor han sido señalados como indicadores relevantes para favorecer el re-integro de actividades deportivas tras lesiones musculo esqueléticas de la extremidad inferior,¹ pero aún más lo es el desempeño físico desarrollado durante pruebas de saltos verticales.² No obstante, a pesar de los criterios descritos respecto mediciones estáticas en la literatura, existe un vacío de información en relación como estas variables estáticas podrían asociarse a pruebas de desempeño de mayor demanda mecánica.

La capacidad de desarrollo de 5 series de 25 elevaciones de talón monopodal, diferencia menor a 5 mm de perímetro de pierna y la diferencia menor a 5° de rango de movimiento dorsiflexor respecto a la extremidad contralateral han sido determinados como factores relevantes para iniciar el reintegro a la actividad deportiva en una cohorte de 219 atletas.¹ La elevación de talón monopodal es una prueba clínica tradicionalmente empleada para medir la fuerza del mecanismo plantiflexor,^{2,3} siendo su ejecución acorde a Lundford & Perry³ de

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

25 repeticiones la referencia fisiológica para realizar actividades de la vida diaria que involucran propulsión.⁴ El perímetro de pierna es habitualmente señalado como una medición antropométrica asociada a la pérdida de fuerza muscular,⁵ pero también como un predictor de menor movilidad.⁶ La diferencia de rango de movimiento dorsiflexor principalmente ha sido asociado a acortamiento musculotendinoso.^{1,7,8}

Las pruebas de salto vertical con y sin contramovimiento son pruebas funcionales de referencia del desempeño motor en deportes donde existe un mayor uso de la extremidad inferior, por ejemplo la carrera, fútbol o voleibol.² Son pruebas útiles para determinar características mecánicas como potencia, trabajo, fuerza y alturas máximas tanto en fases de generación mecánica (propulsión), como de disipación mecánica (aterrizaje).⁹⁻¹¹ Además, las pruebas de salto vertical han permitido guiar procesos de reintegro a la actividad deportiva en deportistas una vez rehabilitados.² En los saltos verticales es posible encontrar indicadores asociados a la elasticidad del mecanismo extensor obtenidos desde la fase de vuelo mediante la diferencia relativa entre la máxima altura vertical desarrollada durante el salto vertical con contramovimiento y el salto vertical sin contramovimiento, relativo al salto vertical con contramovimiento.¹² Del mismo modo, tal cual existe el índice de elasticidad, es posible reflejar el grado de disipación de fuerza vertical generado por ciclos de estiramiento – acortamiento del mecanismo extensor durante el aterrizaje, permitiendo proponer un índice de impacto como la diferencia relativa entre la máxima fuerza vertical desarrollada durante el salto vertical con contramovimiento y el salto vertical sin

contramovimiento, relativo al salto vertical con contramovimiento.

Para conocer la naturaleza mecánica con la cual múltiples variables se asocian entre ellas habitualmente se ven limitados por la aplicación de métodos univariados, donde no es posible explicar la máxima varianza del conjunto de datos. Por este motivo, las herramientas de maximización de la varianza como el análisis de componentes principales podrían ser útiles para entender la falta de información respecto a la asociación entre predictores estáticos y pruebas de desempeño.¹³⁻¹⁵ El análisis de componentes principales ha sido empleado en diferentes tópicos en el estudio de la saltabilidad, en la determinación de patrones de fatiga o en predicción de desempeño motor.¹³⁻¹⁵ En sí, es una técnica estadística de síntesis de datos que permite generar combinaciones lineales entre valores y vectores propios obtenidos desde una matriz cuadrada de covarianza,¹⁵ donde cada componente principal representa un porcentaje de varianza de la muestra.¹⁵ Este método cumple con los principios de superposición y ortogonalidad.¹⁵ De este modo, esta herramienta podría permitir conocer si los predictores identificados previamente por la literatura poseen alguna naturaleza mecánica derivada de la ejecución de saltos verticales al asociarse a índices de elasticidad o impacto.

Por ello, el objetivo del presente estudio ha sido determinar la asociación entre la escala visual numérica de dolor, perímetro de pierna, elevación monopodal, rango de movimiento dorsiflexor, sus diferencias entre extremidades, índice de elasticidad y de impacto desarrollados durante saltos verticales en deportistas amateur jóvenes y sanos.

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

Participantes y métodos

Diseño del estudio

Este estudio de diseño transversal se llevó a cabo durante la feria de salud “Elije vivir sano y sustentable UC”. De modo previo, se obtuvo la autorización del comité institucional local (Santiago, Chile) que reguló la feria acorde a los principios de la declaración de Helsinki. Finalmente, para formar parte del estudio, cada participante debió dar su consentimiento informado escrito cumpliendo criterios de inclusión y exclusión.

En primer lugar, se contempló la adquisición de variables de medición estática (escala visual numérica de dolor, perímetro de pierna, elevación monopodal y rango de movimiento dorsiflexor), para luego ejecutar pruebas de saltabilidad sobre una plataforma de fuerza (salto con y sin contramovimiento). Posteriormente, por medio de reducción de dimensiones lineal y criterios de maximización de varianza, fue posible determinar los niveles de asociación multivariada entre indicadores de reintegro deportivo e indicadores mecánicos durante pruebas de salto vertical con y sin contramovimiento como una combinación lineal.

Participantes

Treinta y seis deportistas amateur de $20,8 \pm 2,8$ años de edad, masa corporal de $65,4 \pm 11,1$ kg pertenecientes a la Pontificia Universidad Católica de Chile (Santiago, Chile), corredores de 10 kilómetros con práctica regular los últimos 3 años, práctica de actividad física al menos 3 veces por semana por 30 minutos los últimos 6 meses y sin tener lesiones de extremidad inferior, fueron incorporados al estudio.

Mediciones

Cada participante fue sometido a una evaluación estática por un mismo terapeuta físico donde se registraron las variables contempladas para el inicio del retorno deportivo: elevación monopodal, diferencia de perímetro y diferencia de rango de movimiento dorsiflexor.¹ Además se contempló la escala visual numérica de dolor, diferencia de elevación monopodal entre extremidades, perímetro de pierna y rango de movimiento dorsiflexor. Las medidas de perímetro se realizaron con los participantes en posición bípeda empleando una cinta métrica graduada milimétricamente con medida mínima de 1 mm, siendo efectuadas tres mediciones en cada extremidad. El rango de movimiento dorsiflexor de tobillo fue obtenido de modo pasivo en la articulación de tobillo en posición supina con flexión de rodilla obteniendo el valor máximo de tres mediciones, el instrumento empleado tuvo una graduación de medida mínima de 1°. La prueba de elevación monopodal fue realizada en posición bípeda con rodilla en extensión y extremidad contralateral en 90° de flexión de rodilla mientras existió apoyo de falanges en la pared para mantener el equilibrio. La prueba fue indicada ser realizada en máximo rango plantiflexor siendo controlado con un ritmo de ejecución por medio de metrónomo online a 45 pulsos por minuto (Google, USA).

En el presente estudio se consideró la dominancia de extremidad inferior como la extremidad descrita por los participantes para realizar tareas deportivas con facilidad de golpear un balón y desarrollar tareas finas.

Prueba de salto vertical

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

Cada participante realizó una prueba de salto vertical con y sin contra-movimiento para obtener el índice elástico¹² y de impacto. Las pruebas de salto iniciaron con un calentamiento en cicloergómetro 535U (SportsArt, USA) por 10 minutos seguido de pruebas de adaptación para ejecutar correctamente el salto vertical con y sin contra-movimiento. La correcta ejecución de los saltos fue aceptada si cumplían el criterio de similitud geométrica con las curvas fuerzas – tiempo descritas por Bosco et al.,¹⁰ es decir, para el salto sin contra-movimiento fue aceptado el registro frente a la ausencia de la fase de descarga y para con contra-movimiento fue aceptado el registro solo frente a la presencia de la fase de descarga. Por cada tipo de salto, 3 ejecuciones fueron registradas y promediadas para el análisis de los datos.

Las fuerzas de reacción del suelo generada por los saltos fueron obtenidas por medio de una plataforma de fuerza Bertec FP 4060-10-2000 (Bertec Corporation, OH, EEUU). Todas las señales fueron adquiridas y almacenadas por medio del software Bertec corporation digital acquire 4 (Bertec corporation, OH, EEUU) a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Todos los registros de salto fueron llevados a cabo por un segundo terapeuta físico.

Variables

La escala visual numérica del dolor contempló una **línea horizontal de 10 centímetros en cuyo extremo izquierdo se encontró la ausencia de dolor y en su extremo derecho se encontró la máxima intensidad de dolor siendo expresada la intensidad del dolor en centímetros**. El perímetro de pierna contempló la máxima

circunferencia obtenida en postura bipodal por medio de una cinta métrica milimetrada siendo **expresada en centímetros**. El rango de movimiento dorsiflexor contempló el máximo ángulo de dorsiflexión obtenido en posición supina con flexión de rodilla y generada de modo pasivo en la articulación de tobillo siendo expresado **en grados sexagesimales**. La elevación monopodal contempló el máximo número de elevaciones de talón con rodilla en extensión máxima y apoyo de una falange para asistir el equilibrio siendo **expresada en número de repeticiones**. La diferencia de perímetro de pierna contempló la diferencia entre extremidades de la máxima circunferencia siendo **expresada en centímetros**. La diferencia de rango de movimiento dorsiflexor contempló la diferencia entre extremidades del máximo ángulo de dorsiflexión siendo **expresada en grados sexagesimales**. La diferencia de elevaciones monopodal entre extremidades contempló la diferencia entre extremidades del máximo número de elevaciones de talón siendo **expresada en número de repeticiones**. El índice elástico durante salto vertical contempló el porcentaje de la diferencia entre altura máxima del salto vertical con contra-movimiento y altura máxima del salto vertical sin contra-movimiento, dividido por la altura máxima obtenida durante el salto vertical sin contra-movimiento, tal como expresa la ecuación No.1.

$$\begin{aligned} & \text{Índice elástico} \\ &= \frac{(h_{\max_{cmj}} - h_{\max_{sqj}}) \times 100\%}{h_{\max_{sqj}}}, \end{aligned} \quad (\text{Ec. 1})$$

El índice de impacto durante salto vertical contempló el porcentaje de la diferencia entre fuerza máxima del salto vertical con

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

contra-movimiento y fuerza máxima del salto vertical sin contra-movimiento, dividido por la fuerza máxima obtenida durante el salto vertical sin contra-movimiento, tal como expresa la ecuación No.2.

$$\begin{aligned} & \text{Índice de impacto} \\ &= \frac{(F_{max_{cmj}} - F_{max_{sqj}}) \times 100\%}{F_{max_{sqj}}}, \end{aligned} \quad (\text{Ec. 2})$$

Análisis Estadístico

Los datos (escala visual análoga del dolor, perímetro de pierna de extremidad dominante y no dominante, rango de movimiento dorsiflexor dominante y no dominante, elevaciones monopodal de extremidad dominante y no dominante, diferencia de perímetro de pierna, diferencia de rango de movimiento dorsiflexor, diferencia de elevaciones monopodal de extremidades, índice elástico e impacto durante salto vertical) fueron expresados como media $\pm$ desviación estándar. Luego, para determinar las tres primeras combinaciones lineales, se estandarizó la matriz de datos originales con el puntaje Z,

se obtuvo la matriz cuadrada de covarianza y obtuvo los valores y vectores propios.¹⁴⁻¹⁶ En base a los coeficientes de la matriz de valores propios los primeros componentes principales que contuvieran al menos el 70% de la varianza total fueron incluidos (grandes dimensiones de datos pueden ser expresados por matrices de baja dimensión).¹⁵ Enseguida se extrajeron los valores absolutos de la matriz de valores propios para asociar cada componente principal al o los vectores propios que tuvieron un peso mayor a 0.5, siendo este valor indicativo de una relación superior al superior al 50% con el respectivo componente principal. Todos los cálculos fueron realizados por medio el software Matlab 7.10.0.499 (Mathworks inc., MA, USA).

Resultados

Las características de los participantes son resumidas en la Tabla 1. Los tres primeros componentes principales explicaron el 74,5% de la varianza total de la muestra, tal como resume la Figura 1. La Tabla 2 resume los coeficientes obtenidos por los 5 atributos que generaron coeficientes mayores a 0,5.

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

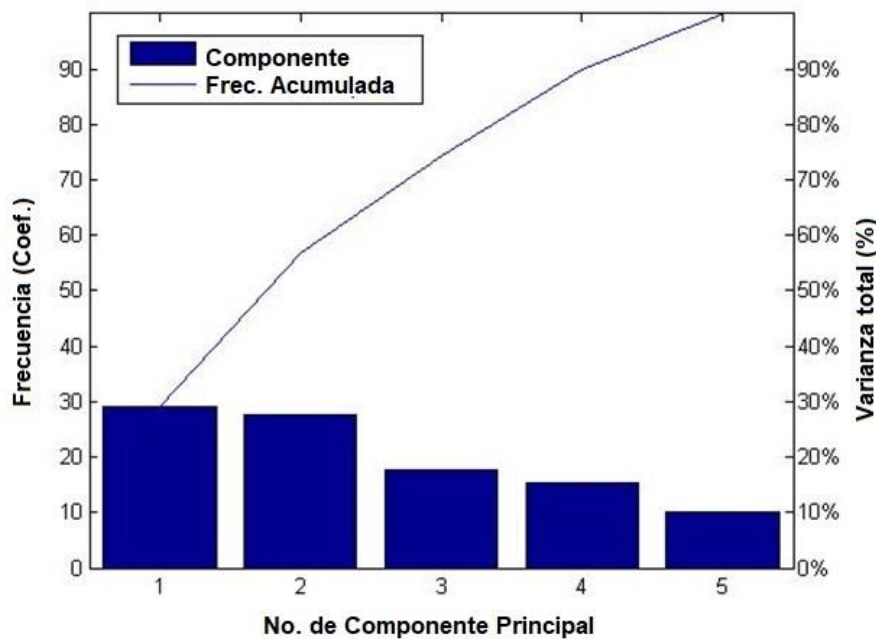


Figura 1. Componentes principales obtenidos. La figura muestra los componentes principales encontrados junto a su respectiva varianza acumulada, donde los primeros tres componentes explican el 74,5 % de la varianza total de los datos.

Tabla1. Características clínicas de los participantes (n=36).

Características Clínicas de las diferencias:		
Diferencia de perímetro de pierna, media ± ds, cm	0,76 ± 0,79	
Diferencia de rango de movimiento dorsiflexor, media ± ds, °	5,5 ± 3,4	
Diferencia de elevación monopodal, media ± ds, repeticiones	6,6 ± 6,9	
Índices de saltos verticales:		
Índice elástico, media ± ds, %	14,2 ± 12,4	
Índice de impacto, media ± ds, %	201,9 ± 66,5	
Características Clínicas entre extremidades:		
	E. dominante	E. no-dominante
Escala visual análoga del dolor, media ± ds, intensidad	0,22 ± 0,04	0,00 ± 0,00
Perímetro de pierna, media ± ds, cm	35,3 ± 2,9	36,6 ± 2,9
Rango de movimiento dorsiflexor, media ± ds, °	19,0 ± 5,0	18,8 ± 5,8
Elevación monopodal, media ± ds, repeticiones	61,9 ± 18,2	61,8 ± 19,8

E. Dominante = Extremidad dominante; E. no-dominante = Extremidad no dominante; ds = desviación estándar; cm = centímetro; ° = grados sexagesimales.

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

Tabla 2. Pesos absolutos de los tres primeros componentes principales.

	CP ₁	CP ₂	CP ₃
Índice de Impacto	0.659*	0.254	0.225
Índice elástico	0.175	0.584*	0.354
Diferencia de rango de movimiento dorsiflexor	0.533*	0.318	0.245
Diferencia de elevación monopodal	0.275	0.674*	0.082
Diferencia de perímetro de pierna	0.418	0.198	0.870*

CP₁= componente principal 1; CP₂= componente principal 2; CP₃= componente principal 3; *= valores absolutos mayores a 0,5.

Discusión

En este estudio el principal hallazgo ha sido la asociación entre índice de impacto con el rango de movimiento en dorsiflexión y la asociación entre el índice de elasticidad con la diferencia de elevación monopodal. Estas asociaciones se agruparon en el primer y segundo componente principal respectivamente en corredores de 10 kilómetros jóvenes y sanos. Los tres primeros componentes principales generaron el 74,5% de la varianza total de los datos analizados existiendo un tercer componente conformado principalmente por la diferencia de perímetro. Estos hallazgos han podido ser obtenido por medio del análisis de componentes principales, herramienta que permite resumir datos de larga dimensionalidad y en los cuales los datos son proyectados de modo ortogonal reteniendo la mayor parte de la variabilidad original de estos.¹³ De este modo es posible interpretar la naturaleza mecánica de variables estáticas previamente indicadas como relevantes para un retorno a actividades deportivas al conocer sus relaciones con los indicadores de impacto y de elasticidad.

El primer componente principal generó el 29,0% de la varianza total asociando dentro de este componente el índice de impacto y la

diferencia de rango de movimiento dorsiflexor. El índice de impacto durante el aterrizaje establece una diferencia relativa entre el valor máximo de impacto de un salto de contra-movimiento y sin este. En base a ello, es sugerente que este componente contenga información referente a la disipación mecánica que ocurre durante el aterrizaje. En corredores descalzos, donde el contacto inicial es desarrollado con antepié generalmente es posible ver esta atenuación en la fuerza de impacto otorgado por la acción excéntrica plantiflexora¹⁷ necesaria para controlar la masa efectiva que colisiona con el suelo.¹⁸ Posiblemente en la muestra estudiada la presencia de diferencia de rango de movimiento se asoció en relación a los aumentados índices de impacto (mayor masa efectiva).¹⁸ Una asimetría en la complacencia de la articulación de tobillo denota una limitación del rango de movimiento de una extremidad existiendo una peor capacidad de almacenamiento elástico.¹⁹ Ello explica el aumento de la masa efectiva y mayor reacción del suelo obtenida durante el aterrizaje.¹⁸ Luna et al.²⁰ comprobaron que sujetos que practican carreras de larga distancia desarrollan mayores valores máximos de fuerzas de reacción del suelo junto a un menor desarrollo de fuerza plantiflexora excéntrica

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

a velocidades angulares de 180 °/s por un aumento de la rigidez articular en el tiempo (disminución de la complacencia). Ello sugiere que el primer componente principal contiene información de la capacidad de disipación de energía mecánica sobre una plataforma de fuerza causada por el aumento de masa efectiva de un salto de contra-movimiento, lo cual se ve incrementado en sujetos con mayores asimetrías de rango dorsiflexión. Esta información es relevante respecto a los hallazgos de Saxena et al.,¹ quien refirió al rango de movimiento plantiflexor como un indicador relevante de retorno deportivo posterior a lesiones tendinosa del tendón calcáneo.

El segundo componente principal generó el 27,7% de la varianza total asociando dentro de este componente el índice elástico y la diferencia de elevación monopodal entre extremidades. El índice de elástico, principalmente permite obtener información de capacidades de generación de energía elástica del aparato extensor de la extremidad inferior al ser una medida relativa de la diferencia de alturas máximas obtenidas en salto vertical con y sin contra-movimiento.^{9,12} Por su parte, la elevación monopodal es una herramienta común de exploración de la unidad musculotendinea plantiflexora que establece ciclos de acciones concéntricas – excéntricas³ junto a la acción del reflejo de estiramiento.²¹ Macaluso et al.²² define que un ciclo de estiramiento (fase excéntrica) seguidos de un rápido desarrollo de un ciclo de acortamiento (fase concéntrica) de la misma musculatura (en este estudio el ritmo de ejecución de la tarea motora ha sido controlado a 45 pulsos por minuto mediante metrónomo). Por otra parte, la arquitectura

de la unidad musculotendinea plantiflexora permite el almacenamiento de energía elástica dentro del tendón de Aquiles para retornar cerca del 90% de esta energía para el desarrollo de tareas motoras como la carrera o saltos (modelo de resorte-masa).³ Bosco et al.²³ demostraron que existe entre un 20 a 30% de una menor eficiencia mecánica entre saltos con sólo ciclos de acortamiento frente a saltos con ciclos con un estiramiento previo, permitiendo interpretar que el segundo componente principal sugiere contener información de generación mecánica. Por ello, la medición de diferencia de elevaciones monopodal entre extremidades asociada con el índice elástico sugiere estar en coherencia con los hallazgos de factores relevantes de reintegro a actividades deportivas posterior a lesiones musculo esqueléticas del tendón de Calcáneo descritas por Saxena et al.¹ De modo complementario, esta capacidad también se ha señalado influir en las mejoras en la disminución del impacto durante tareas motoras.²⁴

El tercer componente principal generó el 17,8% de la varianza total siendo constituido principalmente por la diferencia de perímetro de pierna. El perímetro de pierna es una medida antropométrica sugerida para la medición de la masa muscular, no obstante, es un indicador indirecto de la masa muscular de alta variabilidad.^{5,6,25} Rosso et al.²⁶ determinó que la máxima circunferencia de pierna es un buen predictor del torque plantar máximo, pero en nuestro estudio no se encontró asociación con índices mecánicos, a diferencia del primer o segundo componente principal. Esto podría sugerir que debido a la variabilidad de la medición del perímetro de pierna, esta medida puede tener una

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

capacidad limitada para representar características de generación mecánica durante saltos verticales. Por ello, nosotros pensamos que otras medidas de mayor sensibilidad como la de arquitectura muscular podrían serian mejores mediciones en relación al re-integro deportivo.

Finalmente, el presente estudio no está exento de limitaciones. Entre ellas podemos mencionar que las variables consideradas en este estudio se podrían extrapolar principalmente para el retorno deportivo tras lesiones músculo tendinosas del tobillo y no para otras lesiones. Además, el estudio se ha organizado de modo descriptivo en base a la metodología de valoración multivariada

empleada. Finalmente, el diseño transversal del presente estudio no permite establecer asociaciones causa-efecto de las variables exploradas.

Conclusión

El presente estudio sugiere que la diferencia de rango dorsiflexor junto al índice de impacto expresan propiedades respecto disipación mecánica, que la diferencia de elevaciones monopodal entre extremidades junto al índice de elasticidad expresan propiedades de generación mecánica y la diferencia de perímetro de pierna por sí sólo no ha sido capaz de tener una asociación a los primeros dos componentes principales.

Referencias

1. Saxena A, Ewen B, Maffulli N. Rehabilitation of the operated achilles tendon: parameters for predicting return to activity. *J Foot Ankle Surg.* 2011;50(1):37-40.
2. Padulo J, Tabben M, Attene G, Ardigò LP, Dhahbi W, Chamari K. The Impact of Jumping during Recovery on Repeated Sprint Ability in Young Soccer Players. *Res Sport Med.* 2015;23(3):240–52.
3. Lunsford BR, Perry J. The Standing Heel-Rise Test for Ankle Plantar Flexion: Criterion for Normal. *Physical Therapy.* 1995;75(8):694–98.
4. Hébert-Losier K, Schneiders AG, Newsham-West RJ, Sullivan SJ. Scientific bases and clinical utilisation of the calf-raise test. *Phys Ther Sport.* 2009;10(4):142-49.
5. Bostick GP, Jomha NM, Suchak AA, Beaupré LA. Factors associated with calf muscle endurance recovery 1 year after achilles tendon rupture repair. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(6):345-51.
6. Safer U, Terekeci HM, Kaplan M, Top C, Binay Safer V. Calf circumference for diagnosis of sarcopenia. *Geriatr Gerontol Int.* 2015;15(8):1103.
7. Pérez-Zepeda MU, Gutiérrez-Robledo LM. Calf circumference predicts mobility disability: A secondary analysis of the Mexican health and ageing study. *Eur Geriatr Med.* 2016;7(3):262-66.
8. Hauraix H, Nordez A, Dorel S. Shortening behavior of the different components of muscle-tendon unit during isokinetic plantar flexions. *J Appl Physiol (1985).* 2013;115(7):1015-24.
9. Gao F, Ren Y, Roth EJ, Harvey R, Zhang LQ. Effects of repeated ankle stretching on calf muscle-tendon and ankle biomechanical properties in stroke survivors. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26(5):516-22.
10. Bosco C, Tihanyi J, Komi PV, Fekete G, Apor P. **Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles.** *Acta Physiol Scand.* 1982;116(4):343-49.
11. Finni T, Komi PV, Lepola V. In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *Eur J Appl Physiol.* 2000;83(4 -5):416-26.
12. Hackney JM, Clay RL, James M. Force-displacement differences in the lower extremities of young healthy adults between drop jumps and drop landings. *Hum Mov Sci.* 2016;49:79-86.

Asociación entre variables de medición clínica e índice de impacto y elástico en saltabilidad: Análisis de componentes principales

13. Borràs X, Balias X, Drobic F, Galilea P. Vertical **jump** assessment on volleyball: a follow-up of three seasons of a high-level volleyball team. *J Strength Cond Res*. 2011;25(6):1686-94.
14. Bruce O, Moull K, Fischer S. Principal components analysis to characterise fatigue-related changes in technique: Application to double under jump rope. *J Sports Sci*. 2016 24:1-10.
15. Colyer SL, Stokes KA, Bilzon JL, Cardinale M, Salo AJ. Physical Predictors of Elite Skeleton Start Performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;24:1-23.
16. Lee M, Roan M, Smith B. An application of principal component analysis for lower body kinematics between loaded and unloaded walking. *J Biomech*. 2009;42:2226-30
17. Fong Yan A, Sinclair PJ, Hiller C, Wegener C, Smith RM. Impact attenuation during weight bearing activities in barefoot vs. shod conditions: a systematic review. *Gait Posture*. 2013;38(2):175-86.
18. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, et al. **Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners**. *Nature*. 2010;463(7280):531-35.
19. Rao S, Riskowski J, Hannan MT. Musculoskeletal Conditions of the Foot and Ankle: Assessments and Treatment Options. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2012; 26(3): 345-68.
20. Luna NM, Alonso AC, Brech GC, Mochizuki L, Nakano EY, Greve JM. **Isokinetic analysis of ankle and ground reaction forces in runners and triathletes**. *Clinics (Sao Paulo)*. 2012;67(9):1023-8.
21. Donoghue OA, Shimojo H, Takagi H. Impact Forces of Plyometric Exercises Performed on Land and in Water. *Sports Health*. 2011; 3(3): 303-9.
22. Macaluso M, Isaacs AW, Myburgh KH. Preferential Type II Muscle Fiber Damage From Plyometric Exercise. *J Athl Train*. 2012; 47(4): 414-20.
23. Bosco C, Montanari G, Tarkka I, Lattari F, Cozzi M, Iachelli G, et al. The **effect of pre-stretch on mechanical efficiency of human skeletal muscle**. *Acta Physiol Scand*. 1987;131(3):323-29.
24. Jurado-Lavanant A, Fernández-García JC, Pareja-Blanco F, Alvero-Cruz JR. Efectos del entrenamiento pliométrico acuático vs. Seco sobre el salto vertical / Effects of Land vs. Aquatic Plyometric Training on Vertical Jump. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* 2017; 17(65):73-84.
25. Rolland Y, Lauwers-Cances V, Cournot M, Nourhashemi F, Reynish W, Rivière D, et al. **Sarcopenia, calf circumference, and physical function of elderly women: a cross-sectional study**. *J Am Geriatr Soc*. 2003;51(8):1120-124.
26. Rosso C, Vavken P, Polzer C, Buckland DM, Studler U, Weisskopf L, et al. Long-term outcomes of muscle volume and Achilles tendon length after Achilles tendon ruptures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(6):1369-77.