

Módulo 2. El CMJ (salto con contramovimiento) como prueba básica

Este módulo tiene como objetivo desarrollar el conocimiento y la comprensión de la cinética y las variables derivadas del contramovimiento bilateral (con dos piernas). El CMJ es una de las distintas evaluaciones cinéticas que se puede realizar en un entorno deportivo o clínico, muchas de las cuales se explican en otras secciones del certificado. No obstante, el CMJ es la prueba de salto más implementada y, aunque es posible realizar otras pruebas, debe permanecer como una prueba esencial en la evaluación del atleta sano y en rehabilitación. Esta afirmación tiene justificaciones tanto prácticas como científicas. Desde un punto de vista científico, entre las pruebas de salto utilizadas en la evaluación de atletas, el CMJ es la prueba que dispone de más evidencias que respaldan el uso tanto del rendimiento (altura del salto) como de las variables derivadas de un análisis cinético exhaustivo en la elaboración de perfiles y en la monitorización. Las cinéticas excéntrica, concéntrica y de aterrizaje generadas en la evaluación del CMJ con la plataforma de fuerza, que representan diversas características neuromusculares del atleta, brindan una mayor información comparada con la obtenida únicamente con los datos de rendimiento (es decir, la altura del salto).

La cinética del CMJ proporciona información sobre las cualidades de rendimiento neuromuscular subyacentes que contribuyen al rendimiento de esa tarea de salto y puede revelar grandes diferencias entre atletas y en distintos deportes. El cuadro 1a muestra un ejemplo de esta obtención de información, en el que se observan diferencias sustanciales en las variables cinéticas de dos atletas de élite con alturas de salto muy similares.

Cuadro 1a. Altura del CMJ y variables cinéticas en dos atletas de élite

	Jugador de fútbol	Levantador de pesas olímpico
Altura de salto (tiempo de vuelo) [cm]	55	54
Tiempo de vuelo: Tiempo de contracción	1.11	0.84
Con Potencia máxima/BM [W/kg]	67.0	80.3
Potencia máxima excéntrica/BM [W/kg]	32.8	9.0

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en contraste con el considerable beneficio de las variables cinéticas en el CMJ en relación con la altura del salto por sí sola, en la actualidad existen menos pruebas que demuestren que el análisis de los datos cinéticos en el salto con caída, en cuclillas o con una sola pierna, en comparación con las alturas del salto y los tiempos de contacto obtenidos en

esas pruebas mediante otras tecnologías, aporten información adicional importante (desde el punto de vista de la elaboración de perfiles de rendimiento o de la monitorización). Tras examinar los perfiles (cuadro 1b), es evidente que si bien existen grandes diferencias entre estos dos atletas en ciertas variables como la potencia concéntrica y excéntrica y la duración de la desaceleración excéntrica, los valores en otros valores son idénticos o muestran diferencias mucho menores, como la fuerza máxima concéntrica, la duración concéntrica. Este ejemplo también demuestra que no todas las variables cinéticas se alinean o demuestran las mismas cualidades. Por ello es importante examinar una gama adecuada de variables al utilizar el CMJ en la elaboración de perfiles.

Cuadro 1b. Altura del CMJ y variables cinéticas en dos atletas de élite

	Jugador de fútbol	Levantador de pesas olímpico
Fase descendente ("excéntrica")		
Profundidad de contramovimiento[cm]	31.5	30.6
Velocidad máxima excéntrica [m/s]	-1.66.	-0.83.
Duración de la fase de desaceleración excéntrica [ms]	116	195
Deceleración excéntrica RFD [N/s/kg]	172	79.0
Fase ascendente ("concéntrica")		
Fuerza máxima concéntrica [N/kg]	28.7	30.0
Velocidad máxima concéntrica [m/s]	3.2	3.42
Impulso concéntrico-100ms [Ns]	151	120

Fuente: elaboración propia.

En los entornos de alto rendimiento o profesionales, especialmente en los deportes de equipo, no suele ser posible realizar de forma rutinaria series de pruebas extensas y frecuentes. En este contexto, el CMJ sirve para proporcionar toda la información posible sobre las cualidades

neuromusculares del atleta con la mínima exigencia para éste, en términos de demanda de carga, habilidad técnica o familiarización requerida y tiempo empleado en su realización. Es importante destacar que, en lo que respecta a la integración de los ciclos competitivos como parte del seguimiento regular, no se ha demostrado que los CMJ sean una prueba de fatiga; de hecho, a menudo se incluyen en las sesiones de calentamiento y activación, ya que existen pruebas de potenciación posterior a la activación tras los saltos con contramovimiento con dos piernas (D Tenga en cuenta que el concepto de dosis mínima de evaluación o demanda para obtener la mayor cantidad de información posible es más pertinente para el deportista profesional o de alto nivel; en la categoría juvenil, puede haber más libertad a la hora de aplicar las pruebas y se puede evaluar más fácilmente una gama más amplia de cualidades utilizando una variedad más extensa de pruebas neuromusculares y específicas del movimiento/deporte. Por otro lado, al disponer de más espacio para el entrenamiento, se puede ofrecer una gama más amplia de programas de entrenamiento, y las necesidades y los resultados de estos programas también pueden ser más amplios.

En estas pruebas, la idea de obtener más información al pasar de la altura del salto CMJ a la cinética CMJ, en comparación con la altura del salto con una sola pierna o la altura del salto con caída, el tiempo de contacto y el RSI (índice de fuerza reactiva) a la cinética, plantea dos advertencias importantes. Esto se debe en parte a que, en comparación con el número de trabajos sobre la cinética del CMJ, existen muchos menos estudios (es decir, Harper et al., 2022; Pedley et al., 2022a, b; Lloyd et al., 2022) que hayan examinado el posible beneficio añadido que puede aportar el análisis cinético de la vGRF en otras pruebas de salto comunes, como el salto con caída, es decir, más allá del examen de la fuerza máxima de aterrizaje en esta prueba, para la que existe un gran número de trabajos.

Si bien en el atleta sano, los tiempos de vuelo y contacto derivados del salto con caída parecen ser adecuados desde una perspectiva de perfil de rendimiento (Harper et al., 2021) y de control de la respuesta a la carga (Hamilton, 2009; Schmitt et al., 2015), las asimetrías cinéticas del salto con caída con dos piernas están bien documentadas y proporcionan información adicional relevante para la detección del riesgo de lesión, las deficiencias residuales posteriores a la lesión (Paterno et al., 2007) y, potencialmente, la recurrencia de lesiones del ligamento cruzado anterior (ACL) (King et al., 2018) y, por lo tanto, también en la rehabilitación y el RTS (retorno al deporte) después de esta lesión (se analiza con más detalle en el curso "Cinética y cinemática de la lesión y la rehabilitación").

Hay una serie de consideraciones prácticas y contextuales que sustentan la utilización del CMJ como prueba principal, pero no es la única prueba dentro del perfil cinético y la monitorización. Desde una perspectiva de integración o aceptación por parte del atleta, los deportistas suelen estar familiarizados con la prueba, aunque normalmente con una plataforma de contacto, un dispositivo óptico u otros medios de prueba, ya sea en un seguimiento regular o al menos como parte de la evaluación durante los itinerarios de formación de los jóvenes o en enfoques de pruebas de pretemporada o periódicas. Si bien estas consideraciones pueden definirse como prácticas, pueden afectar a la aplicación de la base empírica que respalda el uso de la herramienta CMJ de doble plataforma. Por ejemplo, la mayor familiaridad con una menor exigencia técnica del CMJ en relación con otras pruebas como el salto con una sola pierna

(SLJ) (Cohen et al., 2020) y el salto con caída (Gathercole et al., 2015). Gathercole et al. (2015), en una comparación de la fiabilidad interdiaria entre las variables cinéticas y de rendimiento del CMJ (doble pierna), el squat jump (SJ) y el DJ, informaron de un coeficiente de variación significativamente mayor en el DJ (lo que indica una menor fiabilidad) en comparación con el CMJ y el SJ. El aumento de la fiabilidad entre ensayos y entre jornadas de las variables cinéticas -menor "ruido"- combinado con respuestas significativas - "señal"- sustenta un mayor potencial para detectar un cambio significativo. Otra ventaja de la prueba del DL-CMJ en términos de aceptación de los atletas de pruebas regulares (especialmente, en temporada) es que su demanda de carga es baja en comparación con pruebas como la del DJ SLJ. De hecho, no se trata de una simple percepción; los aterrizajes con salto con caída generan mayor demanda de carga en la rodilla que un aterrizaje con DL-CMJ de la misma altura (Harry et al., 2018) y la demanda de carga relativa de un despegue con una sola pierna es mayor que la del DL-CMJ (Harry, et al., 2018). Como consecuencia de ello, existe una mayor disposición a realizar evaluaciones y pruebas más frecuentes durante la temporada competitiva, lo que se traduce en una mayor probabilidad de detectar tendencias anómalas. Durante la rehabilitación, existen una serie de consideraciones contextuales y prácticas en torno al uso del CMJ que se tratan en el curso "Cinética y cinemática de las lesiones y la rehabilitación".

El profesional también debe ser plenamente consciente tanto de los datos cinéticos como de los resultados de rendimiento obtenidos en otras pruebas. Por lo tanto, en función de la situación de rendimiento o lesión que se plantee del atleta o de las exigencias de su deporte o posición, o de la cualidad neuromuscular específica de interés, el profesional puede seleccionar con criterio estas pruebas adicionales y decidir si encajan en las evaluaciones diagnósticas de fuerza y potencia de un equipo o de individuos concretos, con el fin de fundamentar mejor la toma de decisiones. Sin embargo, al disponer de acceso a plataformas de fuerza, los profesionales deben dominar en primer lugar la adquisición de datos del CMJ, garantizando los máximos niveles de fiabilidad y validez posibles en su entorno. Luego, desarrollar un conocimiento profundo y la capacidad de interpretar un número limitado de variables cinéticas derivadas de la prueba. La comprensión más exhaustiva del alcance y los límites de la información que puede proporcionar el CMJ, combinada con una pregunta específica relacionada con el rendimiento o las lesiones, será la base para la selección de pruebas adicionales que utilicen o no plataformas de fuerza. Es importante tener en claro qué información específica se obtiene con ellas, ya que la realización de una serie más amplia de pruebas conlleva una mayor exigencia para el deportista y para los recursos del personal.

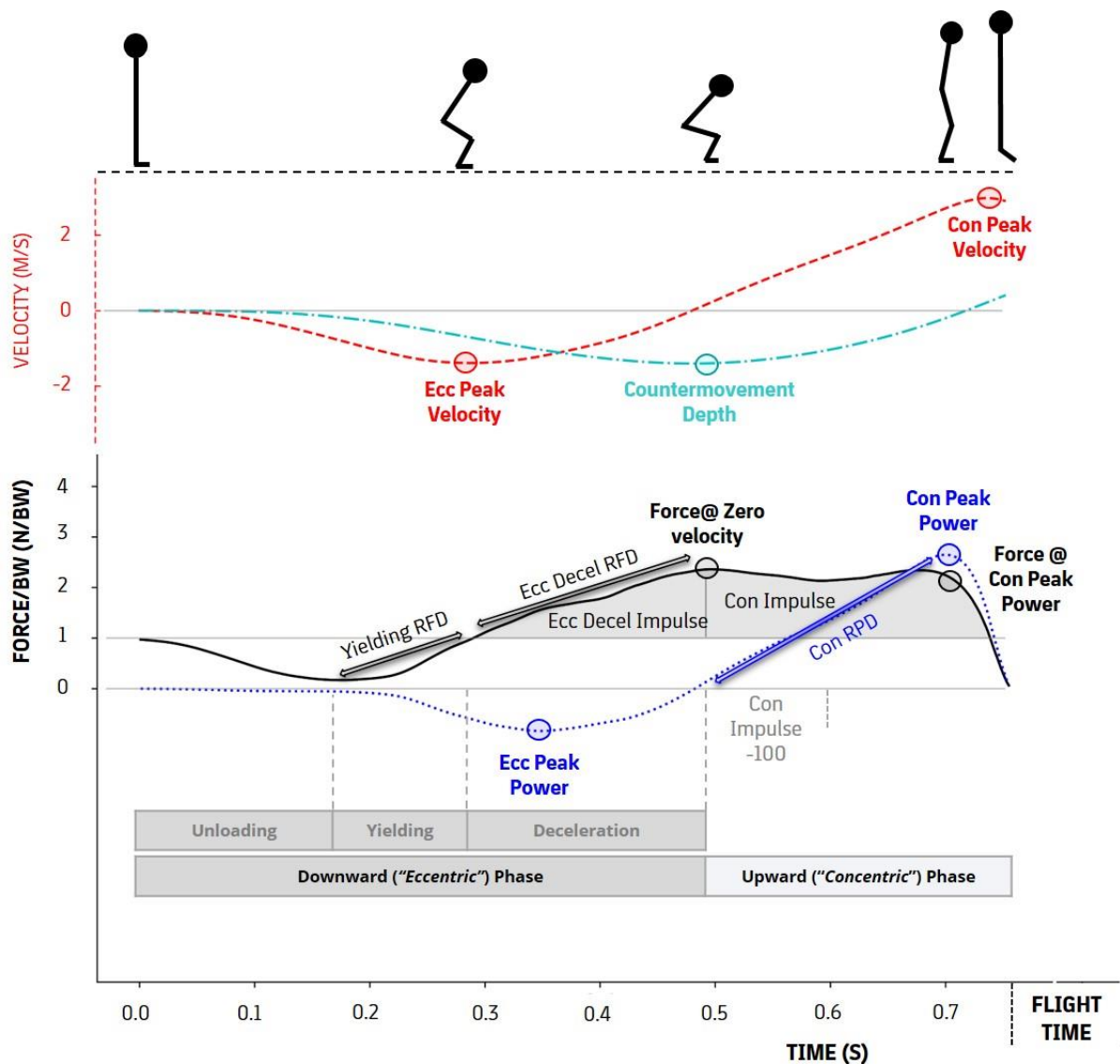
Variables o métricas

Durante el módulo 1 de este curso, se familiarizó con el proceso paso a paso mediante el cual se derivaban la curva fuerza-tiempo en bruto, la velocidad-tiempo, la potencia-tiempo y los perfiles desplazamiento-tiempo, y se calculaba el impulso a partir de un CMJ realizado con plataformas de simple o doble fuerza. A continuación, se proporciona una descripción exhaustiva de la figura resultante (figura 1) con las fases y las posiciones aproximadas del cuerpo/articulaciones superpuestas para identificarlas con las fases y subfases que se describen. El uso de variables obtenidas a partir de estos registros es el enfoque principal y más común para cuantificar el rendimiento neuromuscular o el cambio del mismo utilizando el CMJ en

entornos de alto rendimiento. A grandes rasgos, las variables cinéticas o "métricas" del CMJ representan:

- Valores discretos; valores obtenidos a partir de un único punto de una de las curvas (por ejemplo, fuerza, potencia, velocidad o desplazamiento) que coinciden con un evento específico o son valores máximos o mínimos locales (específicos de una fase) dentro de una de las curvas. Por ejemplo, fuerza, velocidad o potencia máximas concéntricas, fuerza mínima, fuerza a una potencia máxima concéntrica, fuerza a velocidad cero, desplazamiento máximo de contramovimiento o desplazamiento a una fuerza máxima de aterrizaje.
- Los valores medios (fuerza o potencia) o la suma de los valores (impulso); a lo largo de una fase, como la fuerza media concéntrica y el impulso concéntrico.
- Los valores medios o sumados; a través de una subfase específica o "períodos" limitados en el tiempo. Por ejemplo, los primeros 100 m de la fase concéntrica: impulso concéntrico-100 o fuerza de desaceleración excéntrica media
- Los valores y las inclinaciones se calculan sobre fases, subfases o períodos específicos de la curva de fuerza o de potencia. Por ejemplo, la velocidad de deceleración excéntrica del aumento de la fuerza y la inclinación de la potencia concéntrica. Tiempo o duración: la duración de una fase o subfase o el tiempo que se tarda en alcanzar un evento específico o valores máximos o mínimos. Por ejemplo, la duración concéntrica, la duración de la desaceleración excéntrica, el tiempo hasta alcanzar la fuerza máxima o la potencia máxima.
- Índices: incluyen el rendimiento en relación con la cinética, por ejemplo, el Índice de Fuerza Reactiva Modificado (altura del salto: Tiempo de contracción), o para describir la cinética a través de las fases, como la excéntrica: Fuerza concéntrica o índices de duración, o cálculos cinéticos dentro de una fase como la rigidez (cambio en la fuerza: cambio en el desplazamiento del centro de masa).

Figura 1: Fuerza, velocidad, potencia, desplazamiento-trayectos de tiempo, fases y variables seleccionadas.



Nota: Exc: Excéntrica, con: Concéntrica; RFD: velocidad de evolución de la fuerza, RPD: índice de evolución de la potencia; Decel: desaceleración; BW: peso corporal.

Fuente: Adaptado de Cohen & Kennedy 2021.

Además de analizar y comparar variables entre atletas o de un mismo atleta, la visualización cualitativa y el análisis estadístico cuantitativo de la fuerza-tiempo, la velocidad-tiempo, la potencia-tiempo, el desplazamiento-tiempo o los trayectos fuerza-desplazamiento, velocidad-desplazamiento mediante la superposición de mediciones consecutivas en un individuo o en otro atleta o grupo también pueden utilizarse para caracterizar el rendimiento en salto o identificar cambios a lo largo del tiempo. Para algunos, estas curvas sin procesar son intimidantes; sin embargo, tendrá que sentirse cómodo con ellas para su uso y para poder explicárselas a colegas y deportistas. Descubrirá que algunos colegas y atletas responden mejor a este tipo de ilustraciones que a una página de números o gráficos, en otras palabras, es útil disponer de opciones en términos de comunicación de datos cinéticos. El análisis de la curva de onda y algunos otros enfoques se analizan más adelante en este módulo.

Conviene que el profesional desarrolle un buen vocabulario de variables y sus definiciones, así como una cierta comprensión de dónde y cómo se derivan. Si bien es cierto que, tradicionalmente, la mayoría de los artículos sobre plataformas de fuerza solo han informado sobre la altura del salto y la potencia pico concéntrica, en una investigación de 2016, Claudino et al. (2017) identificaron 63 variables únicas en la literatura, pero destacaron que 46 de ellas solo se habían divulgado una o dos veces. Eagle et al. destacaron que los métodos para la identificación de la fase del CMJ para el salto vertical no son consistentes en toda la literatura y que un número sustancial de estudios que reportan variables del CMJ de fuerza-tiempo lo hicieron sin identificar la fase de la que se derivan.

Además de las variaciones terminológicas existentes en la investigación y el software patentado, incluso para las fases básicas del salto, seguirán apareciendo variables en la literatura y la práctica. Está claro que no es necesario informar y controlar todas ellas, pero asumir la responsabilidad de los propios datos y comprender cómo pueden utilizarse las variables para entender la situación y el progreso de los deportistas. Esto significa ir más allá de la variable y tener más claro de **dónde** procede y **cómo** se obtiene. Eagle et al. (2015) concluyeron que la gran variación de estas variables en la literatura cuestiona lo que realmente podemos rescatar de dichas investigaciones. Sin embargo, si se tiene la capacidad de entender la descripción de una variable o una figura en la descripción metodológica de un artículo, se puede determinar qué fase o subfase se estaba evaluando y extraer datos útiles de la investigación, incluso si los términos utilizados o las definiciones no coinciden con los que se emplean actualmente. Es conveniente adquirir esta habilidad, ya que estos estudios pueden arrojar resultados importantes que, de otro modo, no se podrían interpretar.

Etapas del salto: terminología y definiciones

Obsérvese que las tres etapas principales del CMJ durante las cuales el atleta está en contacto con las plataformas se definen principalmente por el desplazamiento del centro de masa (COM). La fase descendente comienza al inicio del movimiento (se utilizan diferentes métodos para identificar el inicio del movimiento, que se resumen a continuación) y finaliza en el desplazamiento negativo máximo durante la etapa de despegue (también denominada profundidad máxima de contramovimiento), seguida de la etapa ascendente, que finaliza en el punto más alto de desplazamiento del COM antes de que el atleta abandone las plataformas (por encima del inicio del movimiento con los pies planos, ya que el atleta abandona la plataforma con flexión plantar), y la etapa de aterrizaje. En gran parte de la investigación, y en algunos *software* de plataformas de fuerza, el CMJ se divide en 3 fases: excéntrica (o de desaceleración), concéntrica (o de propulsión) y de aterrizaje. No obstante, recientemente no solo han proliferado las variables y la terminología utilizadas para describir estas fases y subfases en la literatura científica (Eagles et al., 2015), sino que también se ha puesto de relieve que existen 3 métodos comunes utilizados para identificar las fases y se ha observado que el procesamiento de un conjunto de datos brutos de muestra producía resultados diferentes con cada enfoque.

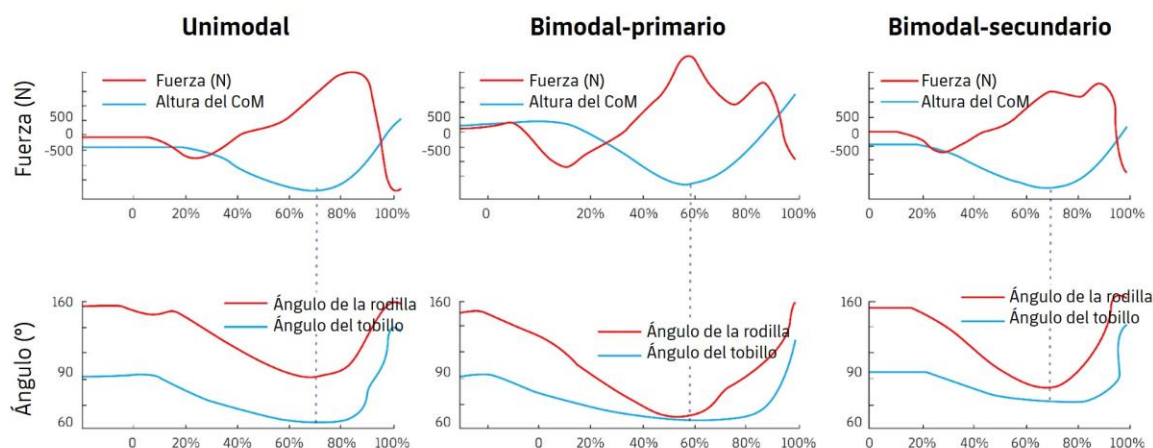
En este módulo, haremos un repaso de los diferentes enfoques, pero haremos hincapié en la descripción de las fases y las variables para asegurarnos de que no se confunda por las diferencias terminológicas en la investigación, los libros de texto, los softwares u otras fuentes

de información. Las investigaciones y los textos más antiguos, así como la terminología utilizada para denominar las variables, suelen referirse a las variables de la fase descendente como "excéntricas" (es decir, potencia máxima excéntrica, duración excéntrica) y a las de la fase ascendente como "concéntricas" (es decir, potencia máxima concéntrica, velocidad máxima concéntrica). Dado que las variables dentro de estas fases han conservado esta nomenclatura en algunos softwares y en la literatura, también se mantiene el uso de los prefijos excéntrico y concéntrico para los nombres de las variables dentro de este certificado.

El profesional puede interpretar las investigaciones actuales y futuras y cambiar de un software a otro con confianza si es capaz de reconocer a qué tramos del salto se refieren los distintos términos empleados, lo que implica comprender cómo se definen las fases, qué ocurre en cada una de ellas y cómo se calculan las variables de cada fase. Las diferencias de nomenclatura se encuentran principalmente en la literatura y el software del CMJ con dos piernas, pero parte de esta discusión también es relevante para otros saltos, particularmente aquellos que implican un contramovimiento (como el CMJ con una sola pierna y el salto con caída con una o dos piernas). Con esta información, también podrá identificar en la parte metodológica de un trabajo de investigación qué se entiende por una variable concreta y cómo se ha definido una fase y, por lo tanto, será capaz de evaluar de forma crítica la nueva información o las nuevas variables y trasladarlas eventualmente a sus procesos de evaluación y monitorización. A continuación, se exponen los términos y definiciones de fase y subfase más comunes utilizados en la bibliografía pertinente y en los softwares empleados en el ámbito deportivo, donde la mayoría de las discrepancias terminológicas están relacionadas con la fase "excéntrica" o descendente.

La primera discrepancia terminológica que hay que tener en cuenta es el cambio del término "excéntrico" y "concéntrico" en la literatura al de "descendente" y "ascendente" o "propulsivo", respectivamente. Las dos fases de la fase global de despegue (inicio del movimiento hasta la punta del pie) se definen por la dirección del desplazamiento del centro de masa (es decir, descenso o ascenso) o la velocidad (positiva o negativa), no por las acciones en las articulaciones individuales. En pocas palabras, el final de la fase "excéntrica" y el principio de la fase "concéntrica" se identifican como el instante anterior y posterior al desplazamiento máximo (negativo) que coincide con la posición más profunda al final del contramovimiento. La base de este cambio en la terminología referida a los saltos descendentes y ascendentes está relacionada con el hecho de que durante la "fase excéntrica" del salto, los músculos que intervienen en el salto y que cruzan las articulaciones de la cadera, la rodilla y el tobillo no se alargan todos durante esta fase ni se acortan todos durante la "fase concéntrica". (Bobbert & Schenau, 1988). Del mismo modo, la figura 2 que presenta datos cinético-cinemáticos sincronizados durante el CMJ (Sahrom et al. 2020) demuestra que mientras que la flexión máxima de la rodilla se alinea muy bien con el desplazamiento negativo máximo del COM, la dorsiflexión máxima del tobillo aún no se ha alcanzado.

Figura 2: Desplazamiento del centro de masa en la transición de fase descendente (*excéntrica*) a ascendente (*concéntrica*) con los ángulos de las articulaciones de rodilla y tobillo.



Fuente: Adaptada de la figura 4 Sahrom et al. 2020

Force	Fuerza
Angle	Ángulo
Unimodal	Unimodal
Heigh of CoM	Altura del CoM
Bimodal-primary	Bimodal-primario
Bimodal-secondary	Bimodal-secundario
Knee angle	Ángulo de la rodilla
Ankle angle	Ángulo del tobillo

La línea discontinua muestra el desplazamiento máximo del COM (altura del COM) que define la transición de excéntrico a concéntrico en 3 tipos de onda de salto (que se analizan más adelante) y los ángulos de las articulaciones de rodilla y tobillo en este punto temporal. Obsérvese la alineación del desplazamiento máximo del COM con la flexión máxima de la rodilla, pero no del tobillo. Por ello, se optó por el uso del término movimiento descendente (o contramovimiento) y ascendente (o propulsivo). Denominamos fase de despegue a la combinación de las fases descendente y ascendente para distinguirla de la fase de aterrizaje. También se ha utilizado el término "fase de contacto" (Warr et al., 2020).

A continuación, se describen las fases y subfases utilizadas en la investigación y los sistemas de software, con las variables y la terminología empleadas. En el caso de las métricas comúnmente expresadas en relación con la masa corporal (kg), se brinda un ejemplo de tales valores, pero tenga en cuenta que los valores absolutos (en bruto) también pueden ser reportados para estas métricas.

Tipos de variables y unidades

- *La duración (o "el tiempo") o el tiempo hasta un evento* segundos o milisegundos (por ejemplo, una duración excéntrica o el tiempo hasta el momento de máxima potencia de 0,450 s o 450 ms,)
- *Fuerza:* Newtons (por ejemplo, una fuerza concéntrica máxima de 21,7 N/kg).
- *Velocidad de evolución de la fuerza (variación de la fuerza / variación del tiempo):* Newtons por segundo (por ejemplo, una RFD excéntrica 54,5 N/s).
- *Impulso*:* Newtons x segundos (por ejemplo, un impulso concéntrico de 242 Ns).
- *Velocidad:* metros por segundo (por ejemplo, una velocidad máxima concéntrica de 2,55 m/s o una velocidad máxima excéntrica de -1,57 m/s**).
- *Potencia:* vatios o vatios/kg (por ejemplo, una potencia máxima concéntrica de 71,5 vatios/kg o una potencia máxima excéntrica de 22,7 vatios/kg**).
- *Índice de aumento de potencia (variación de potencia / variación de tiempo):* W/s/kg (por ejemplo, índice concéntrico de aumento de potencia o pendiente de potencia concéntrica de 210 W/s/kg).
- *Desplazamiento:* metros o centímetros (profundidad del contramovimiento = 34,5 cm***).

*Cuando se informa del impulso bilateral (del registro total de la vGRF), generalmente se informa del impulso "neto", lo que significa que se resta la proporción del peso corporal (como se ilustra en el módulo 1). Cuando se informa del impulso izquierdo y derecho o de las asimetrías de impulso se utilizan valores absolutos para cada extremidad (o estos valores - 50% del peso corporal).

**Como en la fase descendente la velocidad es negativa, las métricas de velocidad "excéntrica" y potencia (fuerza x velocidad) se expresan con signo negativo.

*** La profundidad del CM también se ha adaptado a la altura del atleta (Chalitsios et al., 2019).

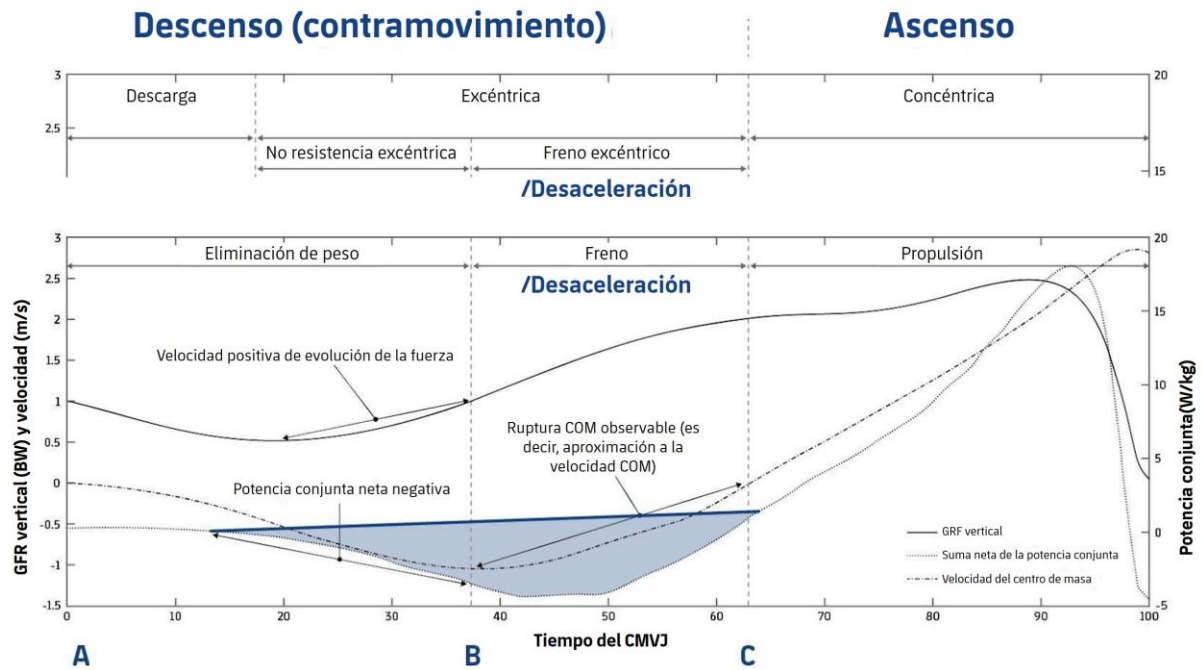
Fase descendente ("excéntrica") y subfases

En el trabajo de campo que marcó un hito y que demostró que las respuestas agudas, residuales y crónicas a la carga se revelaban con un análisis cinético integral del CMJ, pero no evaluando únicamente la altura del salto (Gathercole et al., 2015), la fase de despegue del CMJ se dividió simplemente en una fase excéntrica o "duración excéntrica", definida como la que comienza al inicio del movimiento y finaliza a velocidad cero o desplazamiento negativo máximo. Como se ha señalado, existen varias formas de identificar este inicio del movimiento, pero todas ellas tienen como objetivo conceptual definir el comienzo del descenso en el contramovimiento.

Sin embargo, los primeros trabajos de Komi & Bosco (1978) adoptaron una subdivisión dentro de la fase descendente, refiriéndose al periodo posterior al inicio del movimiento durante el cual la vGRF cae por debajo del peso corporal como fase de "eliminación del peso", y sólo definieron el periodo posterior a cuando la vGRF vuelve a este valor hasta el inicio de la fase concéntrica como "fase excéntrica". Esta última subfase "excéntrica" se denomina "desaceleración excéntrica" en trabajos más recientes (Jakobsen et al., 2012) (imágenes 3 y 4),

ya que comienza en el punto de máxima velocidad negativa ("velocidad máxima excéntrica") y el retorno de la vGRF al valor del peso corporal. No obstante, es importante señalar que algunos grupos de investigación y softwares utilizan el término "fase de freno" en lugar de "fase de desaceleración excéntrica".

Figura 3: Enfoques de la caracterización y terminología de la fase de salto (descendente/excéntrica y ascendente/concéntrica).



Fuente: Adaptada de "A Joint Power Approach to Define Countermovement Jump Phases Using Force Platforms", de J. R. Harry y otros, 2020, *Medicine and science in sports and exercise*, 52(4), 993–1000.

Downward (countermovement)	Descenso (contramovimiento)
Upward	Ascenso
Unloading	Descarga
Eccentric	Excéntrica
Concentric	Concéntrica
Eccentric yielding	No resistencia excéntrica
Eccentric braking	Freno excéntrico
Deceleration	Desaceleración
Unweighting	Eliminación de peso
Braking	Freno

Propulsion	Propulsión
Vertical GFR (BW) & velocity (m/s)	GFR vertical (BW) y velocidad (m/s)
Positive rate of force development	Velocidad positiva de evolución de la fuerza
Negative net joint power	Potencia conjunta neta negativa
Observable COM breaking (i.e. COM Velocity approaching)	Ruptura COM observable (es decir, aproximación a la velocidad COM)
Vertical GRF	GRF vertical
Met sum of joint power	Suma neta de la potencia conjunta
Center of mass velocity	Velocidad del centro de masa
CMVJ Time	Tiempo del CMVJ

Descarga, eliminación de peso y "yielding" (que cede)

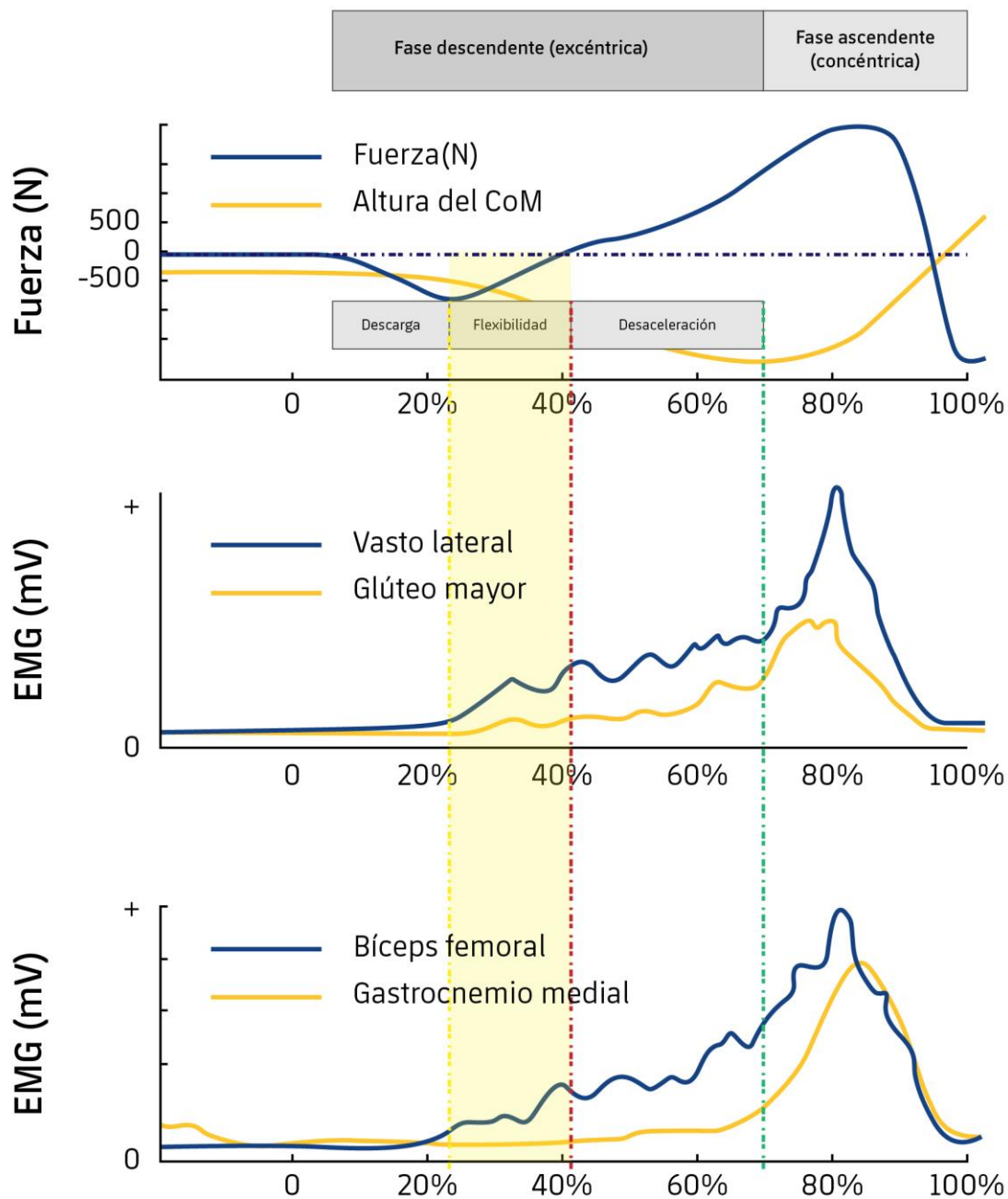
Esta fase, que comienza al inicio del movimiento, se ha denominado tanto fase de "descarga" como de "eliminación de peso", y ambas coinciden en el evento que marca el inicio de esta fase: la vGRF cae por debajo del peso corporal (A). Sin embargo, algunos autores y programas informáticos se refieren a un único periodo que finaliza en el punto en el que la vGRF vuelve al peso corporal (punto C), por lo tanto, "descarga" (es decir, McMahan et al., 2018), mientras que otros distinguen entre una fase de descarga que finaliza en la fuerza mínima (punto B), seguida de una fase no resistente (que cede) (B-C) que comienza en la fuerza mínima y finaliza en el punto en el que la vGRF vuelve al peso corporal (Harry et al., 2020). Estos dos enfoques pueden resumirse así:

1. Eliminación de peso-freno/desaceleración (fase resistente)
2. Descarga, yielding, freno/desaceleración

Obsérvese que aunque la discrepancia entre los enfoques 1 y 2 no sólo se refieren a la terminología, sino que también reflejan que en el enfoque 1 la fase no resistente no se considera una fase de interés. Por otra parte, al considerar la no resistencia como una fase no completamente pasiva, se utiliza el término "excéntrico" para referirse a la no resistencia + desaceleración (figura 3). El término "yielding" (ceder) se propuso para referirse a que el COM cede a la gravedad sin ser totalmente pasivo, distinguiéndolo de la fase de descarga durante la cual los músculos del individuo se relajan y el descenso del desplazamiento del centro de masa se produce esencialmente sin resistencia. Un artículo reciente también se refiere a este periodo como "fase de transición" (Warr et al., 2020). Se sugiere que la fase "yielding" representa el momento en que el músculo-tendón se afloja y alcanza un estado activo (Harry et al., 2020), un proceso que sustenta la transferencia eficaz de fuerza de la unidad musculotendinosa al hueso.

"Yielding" podría describirse como una "fase de pre-desaceleración" similar a cuando un vehículo que acelera en bajada empieza a pisar el freno antes del descenso observable de la velocidad del mismo que se produce durante la fase de desaceleración -identificada como el punto temporal inmediatamente posterior al punto máximo de velocidad excéntrica-. Si bien la fase "yielding" es ignorada por varios investigadores, los cálculos de la potencia articular total de la parte inferior del cuerpo (cadera + rodilla + tobillo) durante el CMJ basados en una combinación de plataforma de fuerza y datos de captura de movimiento, indican que el trabajo excéntrico se realiza durante esta fase (Harry et al., 2020), que comienza poco después de la fuerza mínima (el inicio de la fase de cedencia). La actividad EMG también se registra en los músculos de las extremidades inferiores (Sahrom et al., 2020) durante esta fase, lo que resulta evidente en la figura 4, que muestra el inicio del aumento de la actividad del bíceps femoral y del vasto lateral tras la fuerza mínima. Por lo tanto, durante la fase "yielding", la actividad muscular excéntrica evidenciada por la actividad EMG impulsa la velocidad positiva de evolución de la fuerza y el aumento de la potencia excéntrica (figura 3). En este sentido, la mecánica a nivel articular comienza antes del inicio observable de la desaceleración del COM-reflejada en la mecánica externa (Harry et al., 2020). Obsérvese que también existe interés en la magnitud de la fuerza al inicio de la fase "yielding", que se ha denominado "vGRF de descarga" o fuerza excéntrica mínima y se sugiere como indicador de la producción de energía cinética y de deformación elástica (Harry et al., 2018).

Figura 4: Activación muscular (EMG) en grupos seleccionados de músculos de las extremidades inferiores a lo largo de las fases y subfases del CMJ.



Fuente: datos de "The use of yank-time signal as an alternative to identify kinematic events and define phases in human countermovement jumping", por S. B. Sahrom et al., 2020, 7(8), 1-21, con las fases (definidas en la figura 1) superpuestas, destacando la actividad muscular durante la fase "yielding".

Downward (Eccentric) phase	Fase descendente (excéntrica)
Upward (concentric) phase	Fase ascendente (concéntrica)
Force	Fuerza

Heigh of CoM	Altura del CoM
Unloading	Descarga
Yielding	Yielding
Deceleration	Desaceleración
EMG (mV)	EMG (mV)
Vastus lateralis	Vasto lateral
Gluteus maximus	Glúteo mayor
Biceps femoris	Bíceps femoral
Medial gastrocnemius	Gastrocnemio medial

Los datos de esta fase no suelen publicarse, razón por la cual existen pocos informes que indiquen si aportan información relevante para la caracterización del estado de los atletas o sus cambios. Sin embargo, se observaron cambios significativos en esta fase tras el cese del entrenamiento inducido por el aislamiento domiciliario debido al COVID-19 en futbolistas profesionales masculinos (Cohen et al., 2021) y en evaluaciones durante la rehabilitación y la vuelta al deporte tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior correspondiente a un caso clínico en una jugadora profesional femenina (Taberner et al., 2020). Se observó que estos cambios eran de gran magnitud y no coincidían en el tiempo con los cambios observados en la fase de desaceleración, lo que sugiere que la fase "yielding" puede ser sensible a tipos específicos de carga y descarga. Por lo tanto, el autor recomienda un análisis de las fases según el enfoque 2 (descarga, "yielding", freno/desaceleración).

Cuadro 2: Variables de la fase yielding/de descarga/de eliminación de peso

Variable	Descripción
Duración de la descarga	Tiempo transcurrido desde el inicio del movimiento hasta el comienzo de la fase "yielding"
Duración de la eliminación de peso	Tiempo transcurrido desde el inicio del movimiento hasta el comienzo de la fase de desaceleración
Duración de la fase "yielding"	Tiempo transcurrido desde el momento de "fuerza mínima" hasta el inicio de la fase de desaceleración
Fuerza mínima (excéntrica) / Descarga vGRF	Fuerza mínima local instantánea durante la fase descendente (excéntrica). Define el inicio de la fase "yielding".
Yielding RFD	Cambio de fuerza entre el inicio de la fase "yielding" y el inicio de la fase de desaceleración, dividido por la duración de la fase "yielding".

Fuente: Preparada por el autor.

Fase excéntrica de desaceleración/freno

Esta última subfase descendente/excéntrica, más comúnmente denominada fase de desaceleración o de freno, comienza en el momento en el que la vGRF vuelve al peso corporal y a la velocidad máxima negativa (velocidad máxima excéntrica). Tenga en cuenta que ForceDecks - Vald Performance utiliza el término desaceleración excéntrica, mientras que otros sistemas pueden utilizar "freno". Algunas bibliografías se limitan a describir esta subfase como la fase "excéntrica" o de "estiramiento". Esta fase se ha identificado sistemáticamente como una fase relevante para analizar e informar sobre la elaboración de perfiles, la monitorización y la rehabilitación y reincorporación al deporte.

Durante esta fase, el COM está descendiendo, principalmente debido a la flexión de la rodilla, pero la desaceleración de esa masa ha comenzado y los aumentos sustanciales en la actividad EMG en los grupos musculares de las extremidades inferiores son evidentes, sobre todo hacia el final de esta fase (figura 4 de arriba) cuando se alcanza la máxima profundidad de contramovimiento y la velocidad cero momentánea antes de la fase ascendente.

Cuadro 3: Desaceleración/freno y variables generales de la fase descendente

Variable	Descripción
Subfase de desaceleración/freno	
Duración de la fase de desaceleración excéntrica*.	Tiempo transcurrido desde el inicio de la fase de desaceleración (definida por la velocidad excéntrica máxima) hasta la velocidad cero y el desplazamiento negativo máximo (profundidad del contramovimiento) .
Impulso de desaceleración excéntrica*.	Fuerza neta (por encima del peso corporal) acumulada durante la fase de desaceleración.
Desaceleración excéntrica* RFD	Variación de la fuerza durante la fase de desaceleración (fuerza a velocidad 0 - fuerza a velocidad máxima negativa) dividida por la duración de la fase.
Fuerza @ 0 velocidad	Valores de fuerza instantáneos a velocidad cero / desplazamiento negativo máximo
Profundidad del contramovimiento (Desplazamiento negativo máximo)	Desplazamiento máximo del centro de masa durante la fase de salto.
Velocidad máxima/media excéntrica*.	El punto máximo marca el inicio de la fase de desaceleración. Nótese que una EPV inadecuada y consistente tiene un impacto importante en la validez y fiabilidad de todas las demás variables excéntricas (a excepción del impulso)

Variables de subfase transversales	
Potencia excéntrica máxima / media	La potencia excéntrica comienza a acumularse en la fase de cesión o "yielding", y el punto álgido se produce en la fase de desaceleración. La media es el promedio de toda la fase descendente
Velocidad de evolución de la fuerza excéntrica	La variación de fuerza entre el inicio de la cesión y el final de la fase de desaceleración (es decir, fuerza a velocidad 0 - fuerza excéntrica mínima), dividida por el tiempo transcurrido entre estas dos subfases.
Duración excéntrica	A pesar de las diversas definiciones de lo que se entiende por "excéntrica" durante la fase descendente, la bibliografía que hace referencia a esta variable en la monitorización de la respuesta a la carga la define como el tiempo transcurrido desde el inicio del movimiento hasta la velocidad cero/desplazamiento negativo máximo

*o "freno"; RFD=velocidad de evolución de la fuerza

Fuente: Preparada por el autor.

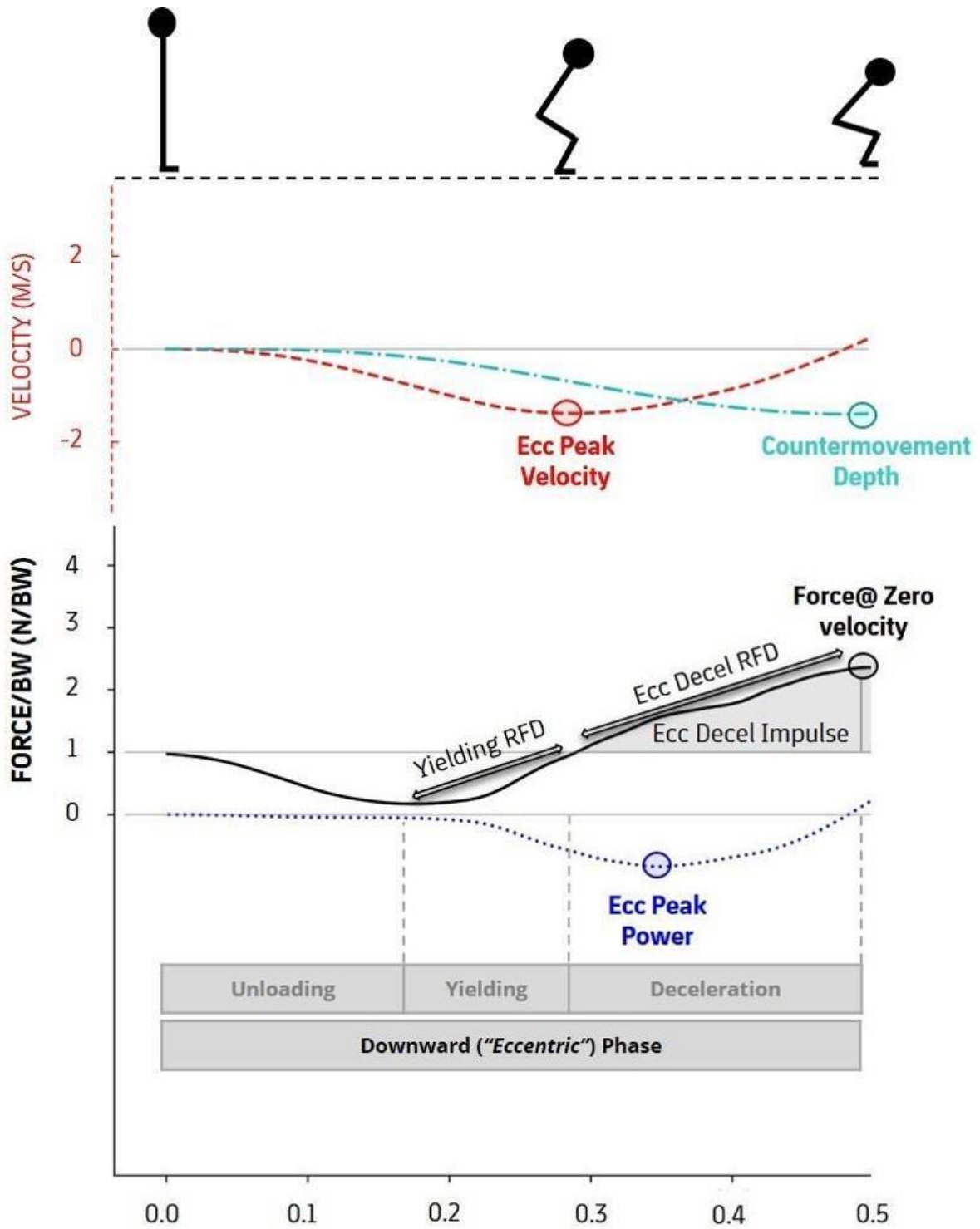
Velocidad cero/"amortización

El instante en el que la velocidad del COM es nula y se alcanza la profundidad máxima del contramovimiento (desplazamiento) no es una fase, sino un punto temporal que divide la fase descendente/excéntrica y la ascendente/concéntrica. También se ha denominado (vGRF de descarga y "amortización") cuya magnitud se sugiere que representa el almacenamiento de energía cinética y de tensión elástica (Barker et al., 2018; Bobbert et al., 1996). La fuerza bilateral (total) a velocidades 0 se ha examinado principalmente desde la perspectiva del control de la fatiga (Gathercole et al., 2015; Gathercole et al., Kennedy & Drake, 2017; Ruggiero et al., 2022) y las asimetrías de esta variable en la caracterización de deficiencias posteriores del ACL. Sin embargo, los valores más altos de fuerza a velocidades 0 (en relación con el peso corporal) también se asociaron con un mejor rendimiento en salto en una muestra de 100 atletas de división mixta de la NCAA (McHugh et al., 2020) y en atletas de Rugby 7 (Floria et al., 2016).

La "fase de amortización" es un término que se ha utilizado en el ámbito de la fuerza y el entrenamiento físico para describir una pausa o retardo de tiempo entre estas dos fases en los ejercicios pliométricos, que teóricamente refleja la capacidad del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) lo que significa que una pausa más corta es un resultado positivo de esta forma de entrenamiento. Sin embargo, cuando se examinan los trazos de desplazamiento y velocidad en el CMJ en atletas, generalmente es difícil discernir "una pausa". De hecho, McMahan et al.(2018) sugirieron que una fase de amortización puede no ser identificable si la frecuencia de muestra es inadecuada o el atleta transita muy rápidamente de la fase descendente a la ascendente. Según el conocimiento de los autores, la única propuesta de variable es la de Barker et al. (2018), que definen esta fase como el periodo de tiempo en el que el COM estaba

dentro de un umbral de 1 cm en relación con el COM más bajo, un umbral potencialmente útil pero arbitrario que es independiente del desplazamiento general del salto.

Figura 5: Representación de la fase descendente y de las subfases y variables seleccionadas



Fuente: adaptado de Cohen y Kennedy, 2021.

Force/sw (N/BW)	Fuerza/sw (N/BW)
Velocity (M/S)	Velocidad (M/S)
Ecc Peak Velocity	Pico de Velocidad Ecc
Yielding RFD	Rendimiento RFD
Exx Decel RFD	Decel RFD Exx
Force @ Zero Velocity	Fuerza - Velocidad cero
Ecc Peak power	Potencia máxima Ecc
Unloading	Descarga
Yielding	Cediendo
Deceleration	Desaceleración
Downward ("Eccentric") Phase	Fase descendente ("excéntrica")
Countermovement Depth	Profundidad del contramovimiento

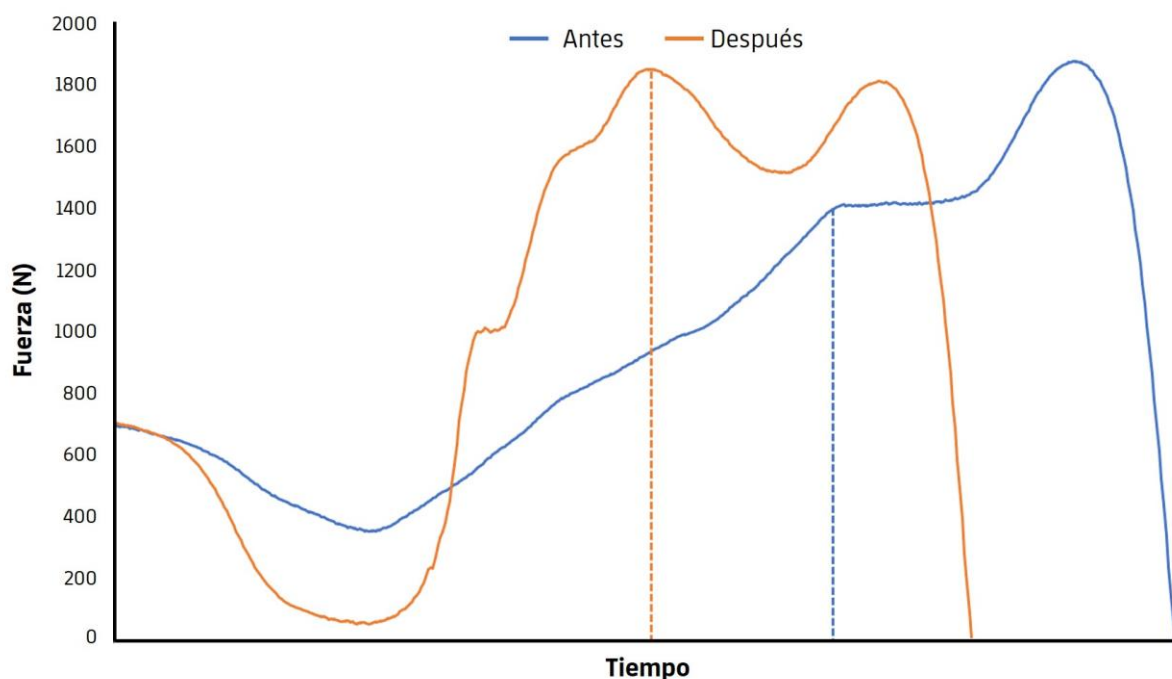
Fase ascendente ("concéntrica")

La fase ascendente comienza tras la velocidad cero (máxima profundidad de contramovimiento/desplazamiento negativo) y finaliza en el despegue de la punta del pie, se la conoce comúnmente como fase concéntrica, pero también se la denomina en la investigación y en algunos programas informáticos de plataformas de fuerza como fase propulsiva o de despegue (Owen et al., 2014). Se puede definir a partir de la curva de velocidad que comienza en el primer punto temporal de velocidad COM positiva ($> 0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y no se puede identificar con precisión a partir del trazo fuerza-tiempo únicamente, aunque en muchos atletas, un pico de fuerza coincide con este final de la fase excéntrica/comienzo de la concéntrica (McHugh et al, 2020). Algunas de las variables de rendimiento más comunes, como la potencia y la fuerza máximas, se derivan de esta fase, y es el impulso total generado durante esta fase y la velocidad alcanzada en el despegue lo que más se correlaciona con la altura del salto (Winter, 2005). Aun así, el examen más detallado de su cinética durante esta fase y sus subfases (y como se comenta más adelante, la forma de onda o la forma del trazo fuerza-tiempo) puede aportar mayores conocimientos diagnósticos en la elaboración de perfiles y la monitorización de atletas sanos y en rehabilitación.

Al igual que en la fase de desaceleración excéntrica en la que se calcula el impulso neto, el impulso a lo largo de la fase representa la integración o suma de la fuerza en todos los puntos temporales y se expresa en newtonsegundos (Ns), por lo tanto es posible que los aumentos no representen un aumento de la fuerza aplicada en un punto temporal determinado o incluso un aumento de la fuerza media, sino que ambos podrían mostrar que el atleta está produciendo una menor magnitud de fuerza en puntos temporales determinados pero acumulando el mismo impulso, al hacerlo durante un período de tiempo más largo (debido a una mayor amplitud de

movimiento o desplazamiento del COM). En consecuencia, los cambios opuestos en la duración concéntrica y la magnitud de la fuerza podrían enmascarar un cambio positivo (es decir, disminución de la duración y aumento de la magnitud) o negativo (es decir, aumento de la duración y disminución de la magnitud) en la magnitud máxima o la distribución de la fuerza aplicada, es decir, se puede observar un impulso concéntrico estable a pesar de los cambios sustanciales subyacentes en la cinética o estrategia. Esto se ilustra a continuación en la figura 6 y el cuadro 4, que muestra un ejemplo de un futbolista profesional evaluado en dos momentos diferentes (el inicio de la pretemporada y 5 semanas después) en los cuales manifiesta un impulso concéntrico casi idéntico de 216-217 Ns. Sin embargo, en la segunda evaluación, la duración de la fase es sustancialmente menor y una mayor magnitud y proporción de ese impulso se produce antes en la fase; como se refleja en el impulso concéntrico-100 y en la relación entre el impulso concéntrico-100 y el impulso concéntrico total.

Figura 6: Impulso concéntrico estable con alteraciones de la forma e impulso concéntrico-100



La mejor prueba de CMJ antes (azul) y después (naranja) de la pretemporada. Las líneas de puntos verticales indican el final de la fase descendente (excéntrica)/el inicio de la fase ascendente (concéntrica). Datos seleccionados en el cuadro 4.

Fuente: Preparada por el autor.

Pre	Antes
Post	Después
Force	Fuerza

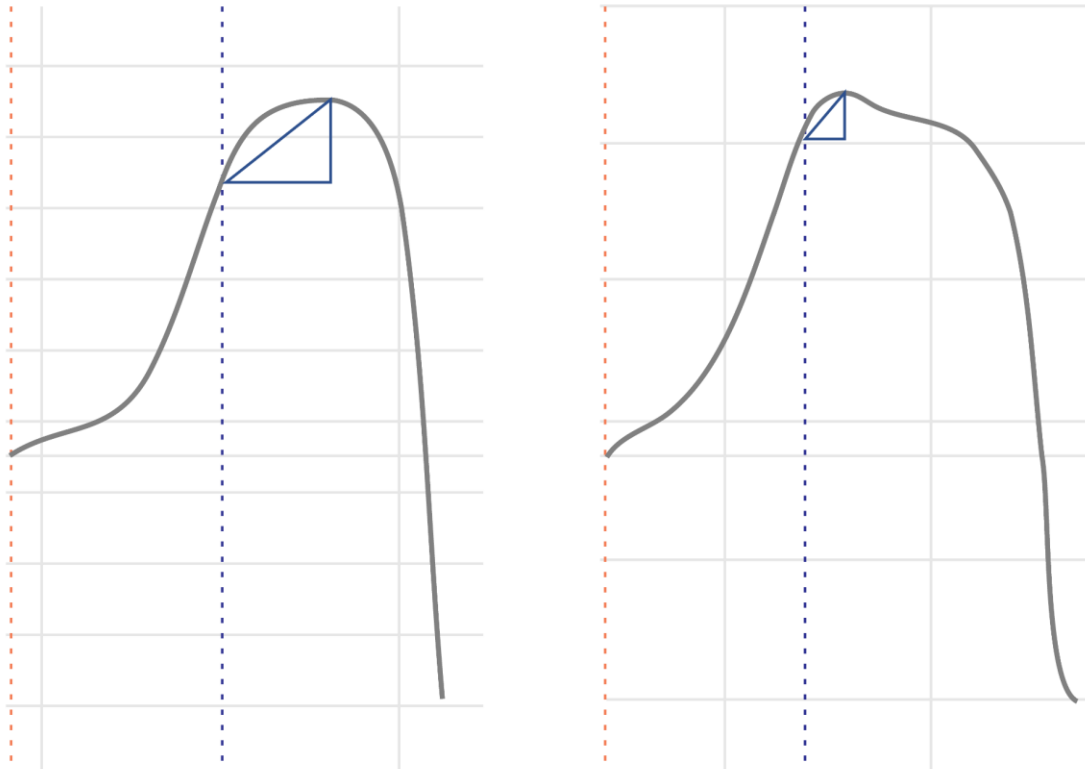
Time	Tiempo
------	--------

Cuadro 4. Cinética concéntrica seleccionada en dos momentos en un futbolista profesional

	Pretemporada (Grupo A)	Inicio de la temporada (Grupo B)
Impulso concéntrico (Ns)	215	216
Impulso concéntrico-100 ms (Ns)	63.6	93.7
Impulso concéntrico -100ms: índice de impulso total	0.30	0.43
Duración concéntrica (ms)	302	262
Fuerza máxima concéntrica (N)	1854	1844

Estos trazos de fuerza-tiempo también demuestran el principal problema del uso de la RFD en la fase concéntrica. La asociación más fuerte entre la velocidad de evolución de la fuerza y el rendimiento de sprint/aceleración que la fuerza máxima en otras pruebas de diagnóstico de rendimiento neuromuscular o fuerza, subraya el interés de obtener también la RFD concéntrica del CMJ. Varios investigadores han destacado la importancia de tener en cuenta la forma de la curva fuerza-tiempo durante la fase ascendente. Teóricamente, la velocidad concéntrica de evolución de la fuerza, (cambio de fuerza en función del cambio de velocidad) se utilizaría para describir la capacidad de aumentar rápidamente la producción de fuerza en la fase. En las pruebas isométricas, la velocidad de evolución de la fuerza se calcularía normalmente sobre períodos de tiempo como 0-50 o 0-100 ms, 100-200 o 0-200, otro enfoque consiste en calcular el valor medio desde el inicio de la fase hasta el punto máximo. Una RFD alternativa es la máxima/pico, normalmente calculada como la RFD más alta en una ventana corta, por ejemplo un período de 5 ms en cualquier parte de la fase. Los siguientes registros muestran ejemplos en los que puede determinarse una RFD positiva a lo largo de periodos de tiempo.

Figura 7: Curvas fuerza-tiempo de fase ascendente (concéntricas) que permiten cálculos de RFD positiva.

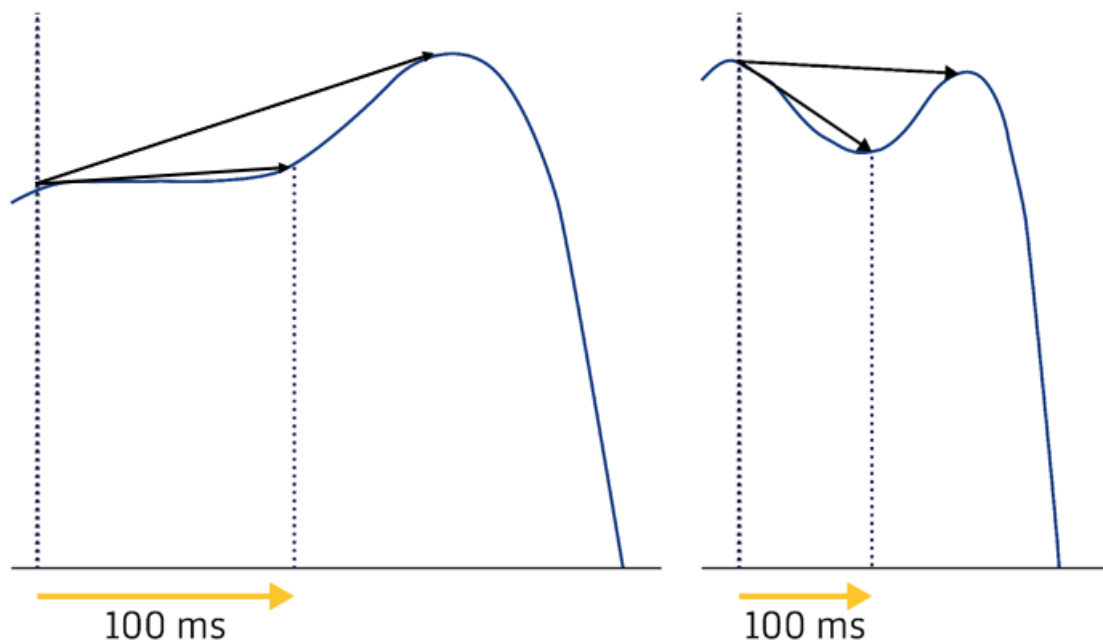


Fuente: Preparada por el autor.

La figura 7 presenta dos ejemplos de pruebas de CMJ en las que se puede calcular la RFD concéntrica positiva. Sin embargo, tras el inicio de la fase concéntrica se observa a menudo una disminución de la fuerza vertical que da lugar a una RFD negativa. Esto y las variaciones sustanciales en la forma de la curva que se observan no solo entre atletas (Kennedy & Drake, 2018), sino también en atletas a lo largo del tiempo (como se muestra en la figura 6) o incluso a lo largo de una serie de pruebas (McMahon et al., 2018), dificultan la determinación consistente de las RFDs concéntricas. Debido a esto, no se recomienda el uso sistemático de la RFD concéntrica, aunque podría utilizarse con atletas que presenten formas de onda concéntricas sistemáticamente positivas, para lo cual es necesario tomar decisiones en función de cada atleta e inspeccionar sistemáticamente las curvas de FT.

Observe las dos trayectorias correspondientes al jugador que se muestran arriba en la figura 6, con la fase concéntrica aislada debajo para mayor claridad:

Figura 8: Curvas fuerza-tiempo ascendentes (concéntricas) en dos puntos - que destacan los posibles cálculos de la RFD.



Línea discontinua oscura=inicio de la fase ascendente/concéntrica. Línea clara=100 ms después del inicio de la fase. El gráfico de la izquierda muestra el perfil de pretemporada durante el cual se pudieron determinar dos momentos de RFD positivos (0-100 ms y 0 a fuerza máxima), mientras que después de la pretemporada ambos fueron negativos.

Fuente: Preparada por el autor.

Curvas de fuerza-tiempo en fase ascendente (*concéntrica*) y cálculos de la RFD en un jugador que se muestran arriba en la figura 6 y en el cuadro 4, en dos pruebas separadas por 5-6 semanas. Gráfico A: RFD positiva de pequeña magnitud 0-100 ms, RFD media mayor (0 a punto máximo). Gráfico B: se observan RFD negativas 0-100 y promedio (hasta el punto máximo) en el jugador a pesar de las mejoras en otras medidas/indicadores de producción rápida de fuerza (es decir, aumento del impulso concéntrico-100).

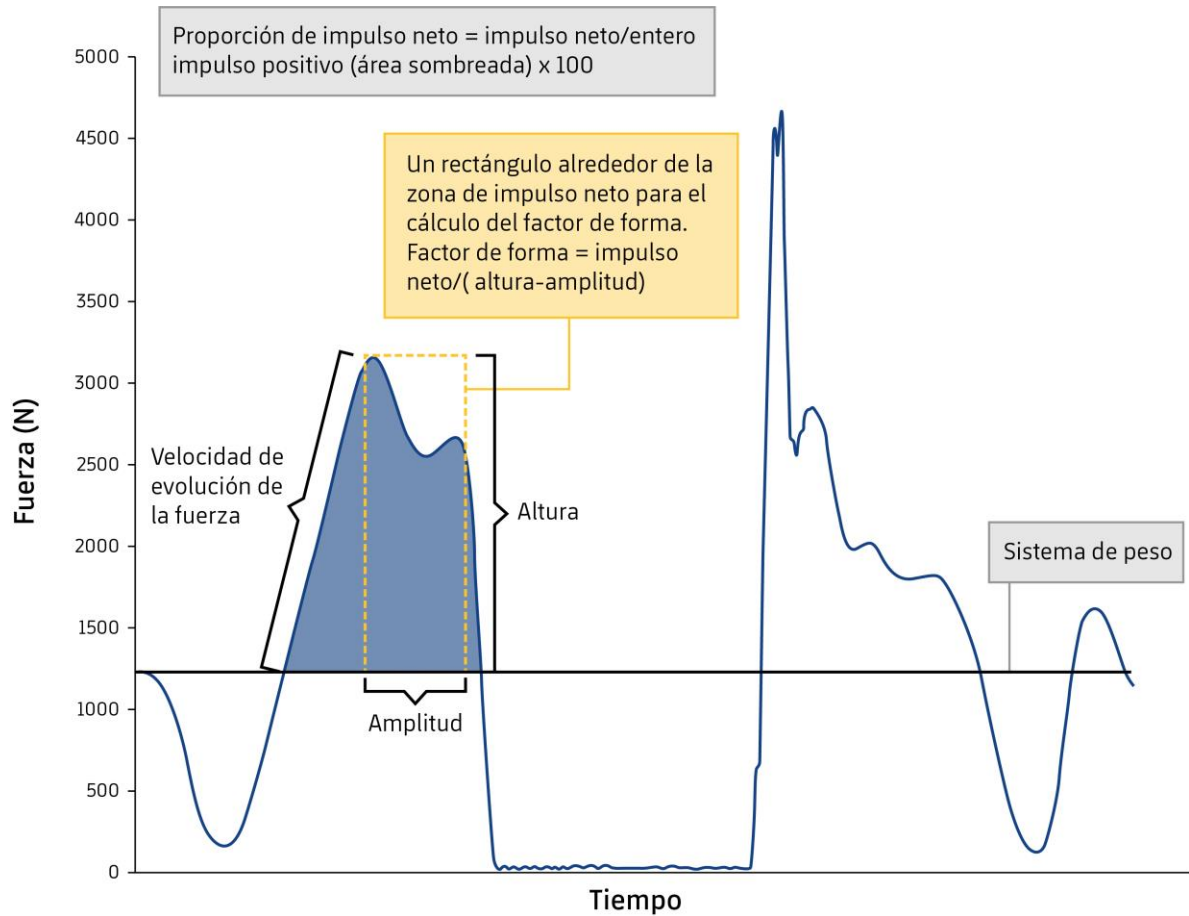
En la primera valoración de la prueba, hay una RFD ligeramente positiva sobre 50 y 100 ms y un valor mayor a la fuerza máxima, pero está claro que en la valoración ambas se basan en periodos (0-50/100 y otros) o el inicio del máximo son pendientes negativas. Además, estos perfiles fuerza-tiempo (con RFD negativas) son relativamente frecuentes. A continuación se analiza la clasificación de los perfiles fuerza-tiempo o "formas de onda". Sin embargo, estas clasificaciones proporcionan un análisis descriptivo del tipo de onda o "modo", no un valor numérico. Por lo tanto, se recomiendan otros enfoques para obtener un valor numérico que caracterice la forma o distribución de la fuerza/impulsos dentro de esta fase y la capacidad del atleta para producir una fuerza rápidamente / manifestar "explosividad" durante la fase ascendente (concéntrica). Estas medidas no solo muestran una mejor fiabilidad que la RFD concéntrica (Merrigan et al., 2020), sino que, lo que es más importante, también han demostrado ser eficaces al discriminar entre la capacidad atlética (Cormie et al., 2009), la respuesta residual a corto plazo (Taberner et al., 2020) y la respuesta crónica (Kijowksi et al., 2015) a la carga o a la descarga relacionada con una lesión:

- Impulso concéntrico limitado en el tiempo durante los primeros 0-50 o 0-100 ms de la fase ascendente (concéntrica).
- Variables de velocidad concéntrica de evolución de la potencia, que representan la pendiente del registro potencia-tiempo durante la fase (Cormie et al., 2009) media (desde el inicio de la fase hasta el máximo de potencia) o durante períodos específicos, por ejemplo 0-50 o 0-100 ms).

Estas y otras variables dentro de la fase ascendente (concéntrica) se muestran a continuación en la figura 9.

Si bien no están dirigidos a caracterizar específicamente la fase concéntrica temprana, el "factor de forma" (Dowling & Vamos, 1993) y la proporción de impulso neto son análisis diseñados para cuantificar la forma de impulso positivo (por encima del peso corporal). En la práctica, sin embargo, en la mayoría de los casos, el ingreso para ambas variables será el impulso de fase concéntrica (figura 9). Con el fin de calcular la forma o el impulso neto, se determinan primero la altura (magnitud de la fuerza) y la amplitud (duración de la aplicación de la fuerza) del impulso, y se determina el impulso total por encima del peso corporal que se alcanzaría si esa altura máxima se mantuviera durante todo el tiempo (dibujando un rectángulo alrededor de esta zona). Ambas variables (las fórmulas aparecen en la figura) denotan el índice entre el impulso real producido durante ese periodo y el impulso máximo que podría alcanzarse (representado por el rectángulo).

Figura 9: Factor de forma y proporción de impulso neto



Fuente: “A new approach to determining net impulse and identification of its characteristics in countermovement jumping: reliability and validity.” Por S. Mizuguchi et al., 2015, *Sports Biomechanics*, 14(2), 258–272.

Net impulse proportion = net impulse/entire positive impulse (shaded area) x 100	Proporción de impulso neto = impulso neto/entero impulso positivo (área sombreada) x 100
A rectangle around the net impulse portion for the calculation of shape factor. Shape factor = net impulse/(Height-Width)	Un rectángulo alrededor de la zona de impulso neto para el cálculo del factor de forma. Factor de forma = impulso neto/(altura-amplitud)
Force	Fuerza
Rate of force development	Velocidad de evolución de la fuerza
Height	Altura
Width	Amplitud
System weight	Sistema de peso

Time	Tiempo
------	--------

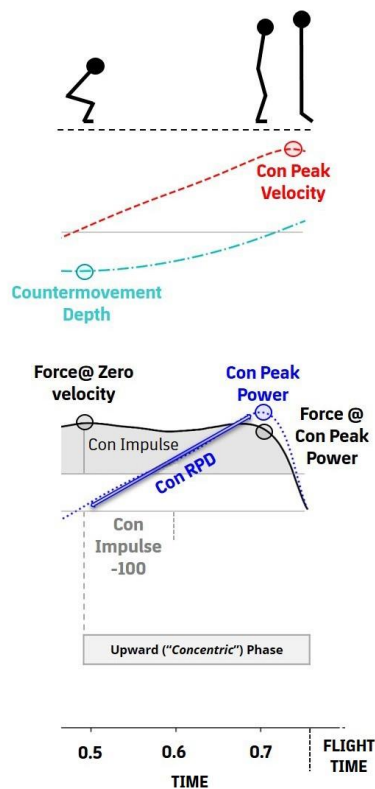
Al intentar cuantificar la explosividad en la fase ascendente (concéntrica) del CMJ, es importante recordar que, en contraste con el salto en cuclillas, la fase concéntrica del CMJ está influenciada por y refleja el rendimiento durante la fase excéntrica y la función del SSC. Esto ocurre de forma transversal, pero las intervenciones que se centran en la fuerza excéntrica o la potencia mejoran el rendimiento concéntrico y la altura del salto (Cormie et al., 2009). En concreto, la parte inicial de la fase concéntrica está influenciada por la fase excéntrica tardía (Sole et al., 2018). También observamos una fuerte correlación entre la RFD de desaceleración excéntrica y el impulso concéntrico-100 en una extensa selección de futbolistas de élite: $r=0,956$ ($p<0,001$), mientras que la asociación con el impulso concéntrico total fue mucho más débil ($r=0,13$, $p=0,046$).

La función neuromuscular no solo se refleja en las fuerzas (o impulsos) máximos o medios, sino también en la velocidad de producción de la fuerza, las métricas de impulso limitadas en el tiempo y las duraciones de fase, que reflejan la capacidad de producir o iniciar la producción de fuerza con mayor rapidez y alcanzar magnitudes más elevadas o llegar a un punto máximo en un periodo de tiempo más corto. Existen algunas pruebas de evaluaciones isométricas, como el tirón de medio muslo, que indican que las características de la RFD pueden estar más relacionadas que la fuerza máxima con algunos aspectos del rendimiento del sprint (Wang et al., 2016; Townsend et al., 2019).

Con respecto a las asociaciones entre el rendimiento en el CMJ u otro salto y otros aspectos del rendimiento dinámico, los pocos estudios que han examinado las asociaciones entre la cinética del CMJ en general, o más específicamente, que han comparado las correlaciones métricas entre el punto máximo del CMJ y la RFD con el sprint, el cambio de dirección o la agilidad, no sugieren que la RFD derivada del CMJ esté asociada más estrechamente con estos rendimientos motores que los valores máximos. En jugadores profesionales de fútbol reglamentario australiano, Morris et al. (2020) informaron de correlaciones significativas entre la fuerza máxima concéntrica relativa (N/kg) y los tiempos parciales durante un sprint de 40 m-5 m, 10 m y 20 m, mientras que las correlaciones no fueron significativas para los tiempos de 30 ó 40 m. Markstrom & Olsson (2013) evaluaron una serie de variables cinéticas del CMJ en corredores de élite (N=5), incluyendo fuerza y RFD/fuerza e impulso y modelaron componentes del rendimiento del sprint. Descubrieron que solo la altura del salto y la fuerza máxima concéntrica (solo las variables relativas a la masa corporal fueron significativas en una regresión): fuerza máxima /kg y velocidad máxima sobre 10m y 60m y la altura del salto en la velocidad máxima sobre 10m.

A continuación, se presentan las variables de la fase ascendente/concéntrica comúnmente mencionadas y otras de interés para la monitorización del deportista sano y/o en rehabilitación, pero menos citadas en la literatura, pero también se representan de forma visual (figura 10) y se resumen (cuadro 5).

Figura 10: Variables de la fase ascendente (*concéntrica*)



Variable	Descripción
Impulso concéntrico	Impulso neto (por encima del peso corporal) en toda la fase
Impulso concéntrico-50/100 ms	Impulso neto durante los primeros 50/100 ms de la fase
Fuerza principal concéntrica	La diferencia con el impulso es que solo refleja la magnitud media de la fuerza en todos los puntos temporales a lo largo de la fase concéntrica y no la acumulación. Por lo tanto, no se ve afectado directamente por el tiempo sobre la fuerza.
Impulso concéntrico PI P2	Impulso neto durante el primer 50% y el segundo 50% del tiempo de la fase concéntrica.
Fuerza máxima concéntrica	Puntos máximos locales instantáneos durante la fase ascendente El momento en que se produce varía según los atletas y dentro de cada atleta (según la prueba y longitudinalmente, en función de las formas de onda).
Potencia máxima de fuerza concéntrica	Fuerza instantánea en el punto temporal de la potencia máxima y, por lo tanto, está más anclada en el tiempo y en el desplazamiento que la fuerza máxima.
Potencia máxima	Puntos máximos locales instantáneos en el registro potencia-tiempo..
Potencia media de flexión plantar	Potencia media del punto temporal en el que se alcanza el desplazamiento cero hasta el despegue. Obsérvese que la validez de esta variable depende de la calidad del registro del desplazamiento.
Velocidad de evolución de la potencia RPD - 50/100 ms	Trazado de la potencia desde el inicio de la fase concéntrica hasta la potencia máxima 0... Desde el inicio hasta 50ms o 100ms después del inicio de fase.
Velocidad máxima	El punto máximo se produce alrededor del momento en que el desplazamiento del centro de masa vuelve a cero En ese momento la velocidad disminuye hasta el despegue.
Velocidad a potencia máxima	Dependiendo de la forma de la onda, la velocidad a potencia máxima puede ser también velocidad máxima.
Velocidad de despegue	Velocidad en el último punto de tiempo antes del despegue, utilizada para estimar el salto mediante la ecuación del impulso.

Fuente: adaptado de Cohen & Kennedy, 2021

Variable	Variable
Description	Descripción
Concentric Impulse Concentric Impulse-50/100 ms	Impulso concéntrico Impulso concéntrico-50/100 ms
Net impulse (above bodyweight) across the whole Phase Net Impulse during the first 50/100 ms of the phase	Impulso neto (por encima del peso corporal) en toda la Fase Impulso neto durante los primeros 50/100 ms de la fase
Concentric main force	Fuerza principal concéntrica
The difference with impulse is that it only reflects the average magnitude of force at all time points across the concentric phase and not the accumulation. Therefore, it is not directly affected by time over force	La diferencia con el impulso es que solo refleja la magnitud media de la fuerza en todos los puntos temporales a lo largo de la fase concéntrica y no la acumulación. Por lo tanto, no se ve afectado directamente por el tiempo sobre la fuerza

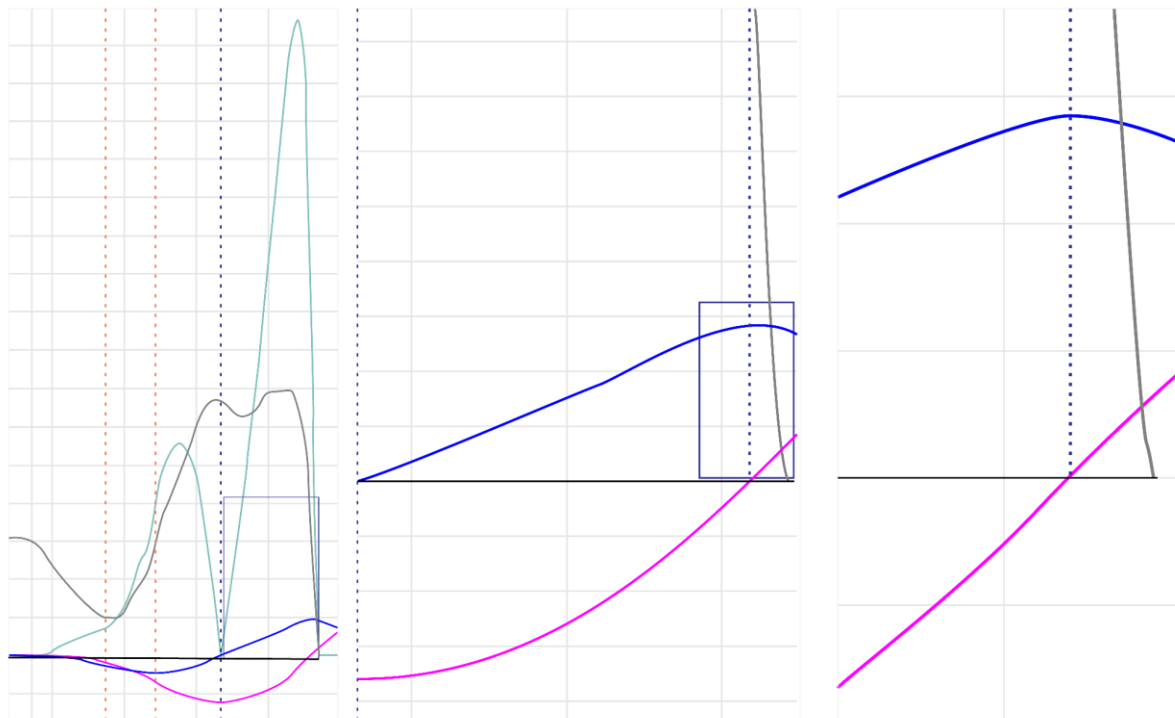
<p>Pl P2 Concentric impulse</p> <p>Net impulse during the first 50% and second 50% timewise of the concentric phase</p>	<p>Impulso concéntrico Pl P2</p> <p>Impulso neto durante el primer 50% y el segundo 50% del tiempo de la fase concéntrica</p>
<p>Concentric peak force</p> <p>Instantaneous local maxima during the upward Phase. Timepoint at which it occurs varies across and within athletes (trial-wise and longitudinally depending on waveform shapes)</p>	<p>Fuerza máxima concéntrica</p> <p>Puntos máximos locales instantáneos durante la fase ascendente El momento en que se produce varía según los atletas y dentro de cada atleta (según la prueba y longitudinalmente, en función de las formas de onda).</p>
<p>Force Concentric peak power</p> <p>Instantaneous force at the timepoint of peak power and therefore it is more anchored time and displacement-wise than peak force</p>	<p>Potencia máxima de fuerza concéntrica</p> <p>Fuerza instantánea en el punto temporal de la potencia máxima y, por lo tanto, está más anclada en el tiempo y en el desplazamiento que la fuerza máxima.</p>
<p>Peak Power</p> <p>Instantaneous local maxima on power-time trace.</p>	<p>Potencia máxima</p> <p>Puntos máximos locales instantáneos en el registro potencia-tiempo.</p>
<p>Mean Plantar flexion power</p> <p>Mean power of the timepoint at which zero displacement is reached until take-off, Note that the validity of this variable relies on the quality of the displacement trace</p>	<p>Potencia media de flexión plantar</p> <p>Potencia media del punto temporal en el que se alcanza el desplazamiento cero hasta el despegue. Obsérvese que la validez de esta variable depende de la calidad del registro del desplazamiento</p>
<p>Rate of power development RPD - 50/100 ms</p> <p>Slope of power trace from start of concentric phase to peak power O... From start to 50ms or 100ms after start of phase</p>	<p>Velocidad de evolución de la potencia RPD - 50/100 ms</p> <p>Trazado de la potencia desde el inicio de la fase concéntrica hasta la potencia máxima O... Desde el inicio hasta 50ms o 100ms después del inicio de fase</p>
<p>Peak Velocity</p>	<p>Velocidad máxima</p>

Peak occurs around the timepoint at which centre of mass displacement returns to zero. At which point velocity declines until take-off	El punto máximo se produce alrededor del momento en que el desplazamiento del centro de masa vuelve a cero En ese momento la velocidad disminuye hasta el despegue
Velocity at peak power Depending on the shape of the waveform, the velocity at peak power may also be peak velocity	Velocidad a potencia máxima Dependiendo de la forma de la onda, la velocidad a potencia máxima puede ser también velocidad máxima
Take of velocity Velocity at the last timepoint prior to take-off used to estimate jump using the impulse momentum equation	Velocidad de despegue Velocidad en el último punto de tiempo antes del despegue, utilizada para estimar el salto mediante la ecuación del impulso.

En la fase ascendente/concéntrica del salto se produce una actividad de triple extensión (de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo) que implica una dominancia temporal proximal a distal (cadera-tobillo) de la articulación de la extremidad inferior en términos de contribución a la vGRF total. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la vGRF también se ve influida por la musculatura del pie. Esta dominancia articular secuencial también se refleja en los patrones de activación muscular de estas articulaciones (figura 12). Si bien los patrones específicos varían entre los atletas, el registro de desplazamiento-tiempo permite definir una subfase de flexión plantar/dominante del tobillo, a partir del punto en que la curva de desplazamiento se vuelve positiva (figura 11), es decir, un centro de masa más alto que al inicio del movimiento cuando se pesó al atleta (posición de pie plano/neutral del tobillo). Aquí, la altura adicional o el desplazamiento positivo en el despegue representa un desplazamiento adicional del centro de masa debido a la flexión plantar, y se ha denominado altura de contacto (Riggs & Sheppard, 2009). Se sugiere que la pérdida de velocidad durante esta fase puede ser un factor limitante en el salto altura - determinada en última instancia por la velocidad de despegue. Es importante señalar que la validez de esta variable depende en gran medida de la precisión de la medición del peso corporal y de la estabilidad, ya que se deriva de la curva de desplazamiento y, por lo tanto, es muy vulnerable a errores relacionados con estos factores. Jakobsen et al. (2012) definieron las variables "potencia plantar" y un ratio entre la velocidad pico concéntrica y el despegue que refleja la pérdida de velocidad durante esta fase que comienza cuando el desplazamiento y la fuerza del centro de masa es igual a la del inicio del movimiento/la velocidad del centro de masa en bipedestación disminuye desde su punto máximo a medida que el peso de la pierna y los segmentos del pie se suman a la masa efectiva que está siendo

acelerada (Peterson et al., 2017), como tal esta fase ha sido descrita como la fase de propulsión-deceleración, en contraste con la propulsión-aceleración antes de este momento.

Figura 11: "Fase de flexión plantar"

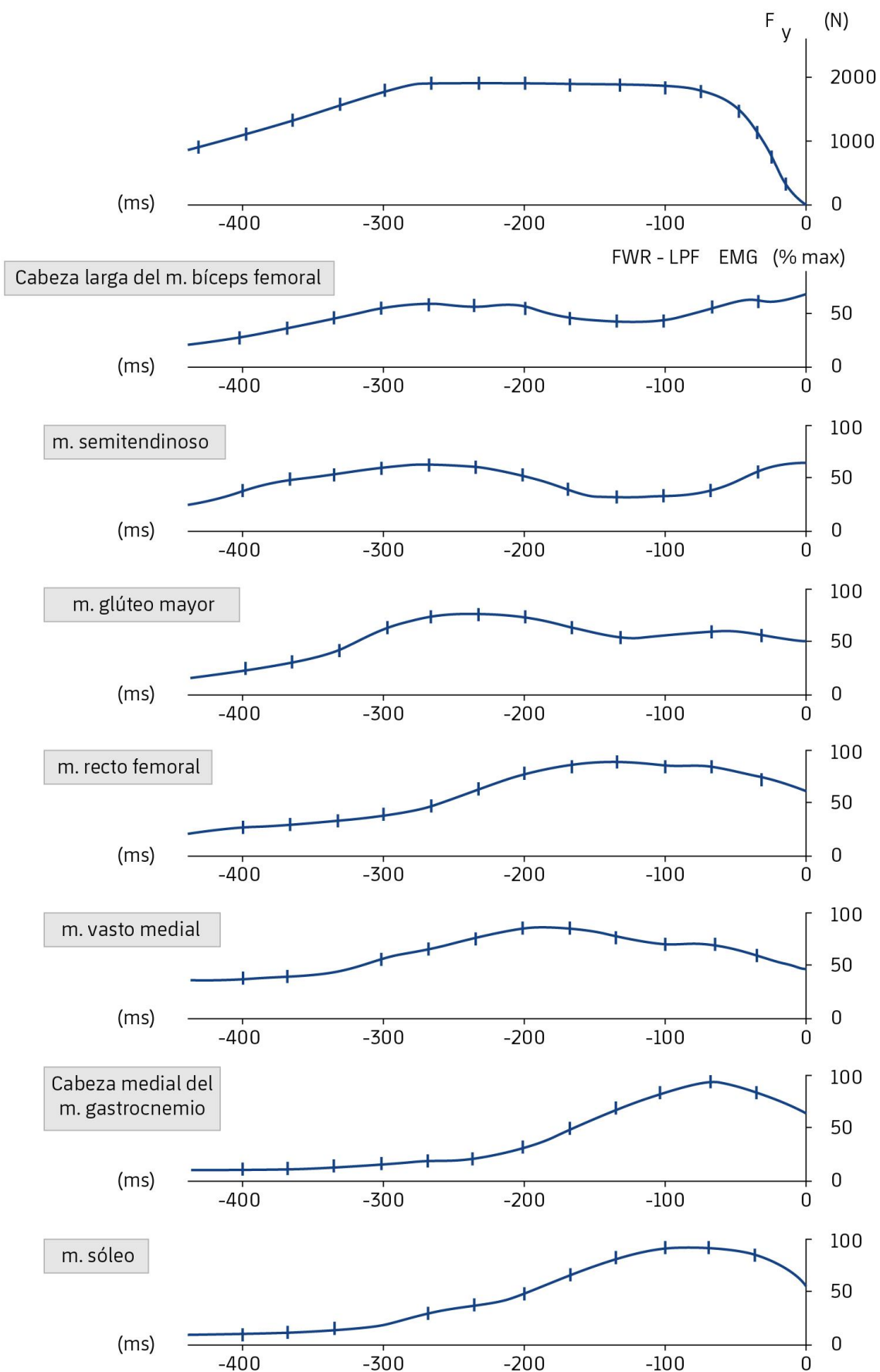


Fuente: Preparada por el autor.

Nota: Curvas fuerza-tiempo (negro), potencia-tiempo (turquesa), velocidad-tiempo (azul), desplazamiento-tiempo (rosa). Gráfico de la izquierda: perspectiva general de la fase de salto con recuadro alrededor de la fase ascendente (concéntrica). Los gráficos del centro y de la derecha muestran la fase ascendente tardía ampliada. La línea vertical de puntos en los gráficos central y derecho indica el inicio de la "subfase de flexión plantar", definida como el punto en el que el desplazamiento del centro de masa supera al del inicio del movimiento.

El predominio de la articulación del tobillo y la flexión plantar durante esta subfase sugiere una influencia sustancial en la magnitud de la disminución de la velocidad entre el punto máximo y el despegue en relación con las articulaciones y la musculatura de la rodilla y la cadera, aspecto que resulta de interés para el profesional. Nótese, sin embargo, que los estudios de EMG indican que el pico de actividad del gastrocnemio se produce antes del punto máximo de potencia, mientras que el punto máximo del extensor de la rodilla se produce antes que éste, ya que un patrón de activación de proximal a distal caracteriza la fase de despegue, tal y como se muestra en la figura 12. Sin embargo, la clasificación de la forma de onda o del modo puede permitir una caracterización adicional de las contribuciones relativas y de los tiempos de la musculatura implicada en el CMJ, ya que estas formas de onda se han correlacionado con patrones de activación específicos, como se explica a continuación.

Figura 12: Activación EMG de las extremidades inferiores durante el salto con contramovimiento



Fuente: “Coordination in vertical jumping,” por M. F. Bobbert & G. J. Schenau, 1988, *Journal of Biomechanics*, 21(3), 249–262.

Long head of m. biceps femoris	Cabeza larga del m. bíceps femoral
m. semitendinosus	m. semitendinoso
m. gluteus maximus	m. glúteo mayor
m. rectus femoris	m. recto femoral
m. vastus medialis	m. vasto medial
Medial head of m. gastrocnemius	Cabeza medial del m. gastrocnemio
m. soleus	m. sóleo

Fase de vuelo

Determinar el inicio y el final de esta fase y, por lo tanto, el tiempo de vuelo -uno de los métodos utilizados para estimar la altura del salto- es conceptualmente sencillo; comienza en el despegue o en la punta del pie y termina en el primer contacto que se produce en el aterrizaje. En la práctica, sin embargo, los umbrales para definir esos dos puntos deben definirse manualmente, en su script de Excel/Matlab o por los proveedores de software de la plataforma de fuerza, y como se señaló con respecto al inicio del movimiento, diferentes métodos pueden influir en el valor determinado para el tiempo de vuelo. Esto se suma a los problemas de posición de las articulaciones antes mencionados, que repercuten en el cálculo de la altura de salto a partir del tiempo de vuelo una vez determinado.

La altura del salto se estima principalmente utilizando el método del tiempo de vuelo o el método del impulso-momento. Ninguno de los dos mide directamente el desplazamiento del centro de masa y, por lo tanto, ambos están sujetos a error cuando sus cálculos se basan en suposiciones que se han incumplido de alguna manera. No obstante, el método del impulso-momento se considera generalmente "superior" al método del tiempo de vuelo, debido principalmente a la posibilidad de que existan diferencias en la posición de las articulaciones en el despegue y el aterrizaje, lo que puede perjudicar la precisión de este método al socavar su hipótesis fundamental: que el desplazamiento máximo del COM durante el vuelo se produce en el punto medio (en relación con el tiempo) de la fase de vuelo. Esto depende de la suposición adicional de que el desplazamiento del COM en el despegue (que es superior a cero debido a la flexión plantar) y en el aterrizaje son igual. Por lo tanto, si durante el vuelo el atleta flexiona los tobillos, las rodillas o las caderas o despega con las puntas de los pies y aterriza con los pies planos, se debilitará este supuesto; la distancia entre el centro de masa y el punto de contacto en el despegue y el aterrizaje cambiará. El atleta debe extenderse completamente durante el vuelo, pero los atletas más jóvenes o los saltadores inexpertos pueden flexionar las rodillas, caderas o tobillos durante el vuelo/aterrizaje, una práctica que debe ser corregida por el entrenador. Esto, a su vez, invalida las hipótesis sobre el tiempo de vuelo. Debido a esta susceptibilidad al error, se ha sugerido que es preferible la (estimación impulso-momento) que

calcula la altura de salto a partir de la velocidad de despegue (Hara et al., 2008). Este método, que no se ve afectado por los problemas de posición de las articulaciones antes mencionados, puede ser más preciso. En la práctica, sin embargo, la desventaja del método impulso-momento es que puede verse afectado por otros aspectos de la evaluación, principalmente la medición del peso corporal y la inestabilidad previa al salto, que pueden acumular errores en la velocidad y, por lo tanto, en la determinación precisa de la velocidad de despegue, a partir de la cual se estima la altura de salto con este método.

Aterrizaje

El inicio de la fase de aterrizaje es conceptualmente obvio, al igual que el despegue, a menos que se defina manualmente en una hoja de cálculo o gráfico, este evento se detectará utilizando un valor umbral, normalmente 10 o 20 N. La razón de no utilizar un número inferior es para reducir el riesgo de que se detecte un falso aterrizaje debido a las vibraciones del entorno. Actualmente, el análisis cinético de la fase de aterrizaje (duración del aterrizaje) abarca el período de tiempo desde el impacto del aterrizaje/contacto con el suelo hasta la velocidad cero como en la profundidad del contramovimiento en la fase de salto, y como en la fase de salto, este último es también el punto temporal en el que se alcanza el desplazamiento más bajo del centro de masa durante el aterrizaje, en otras palabras, el correspondiente a la posición en cuclillas/flexión de rodilla más profunda durante el aterrizaje. La fase de aterrizaje también se ha subdividido en una fase de "carga", que comienza en el momento del contacto con el suelo y finaliza con la fuerza máxima de aterrizaje, y una fase de "atenuación", desde la fuerza máxima de aterrizaje hasta el final de la fase de aterrizaje (Harry et al.) (figura 14). Estas fases también se han denominado "de impacto" y "de estabilización", respectivamente.

Por lo general, tras un salto vertical bilateral se observan aterrizajes con el pie plano o con el antepié hacia atrás, con excepción del ballet u otros deportes con limitaciones estéticas. Se sugiere que el apoyo del pie delantero/trasero es más común cuando el atleta es consciente del aterrizaje y se asocia con una fuerza máxima menor que la de la variante de pie plano (Bressel & Cronin, 2005). En ambos casos, la mayoría de los aterrizajes dan lugar a dos momentos de fuerza máxima, el primero de los cuales está asociado al impacto de las cabezas metatarsianas (F1) y el segundo al impacto del calcáneo (F2) (figura 15). Éstos ocurren típicamente 10-15 y 30-70 ms después del primer contacto (Ortega et al. 2008) con un tiempo influenciado por factores como la longitud del pie y los patrones de activación muscular.

La magnitud de la fuerza máxima y la forma del registro fuerza-tiempo durante la fase de aterrizaje se ven afectadas por la biomecánica de la articulación, la activación muscular y la técnica (Aerts et al., 2013) (cuyos aspectos específicos se tratan más adelante en la sección de perfiles). Es importante ser consciente de que el corpus de investigación relacionado con los aterrizajes es mucho más amplio en lo que respecta a los aterrizajes con salto (primer aterrizaje en particular) y los aterrizajes con caída que en el caso de los aterrizajes del CMJ y que, si bien existen algunas similitudes entre los aterrizajes en todas estas evaluaciones, los resultados de la investigación o la medición de uno de ellos no son totalmente aplicables a la interpretación de los demás. Por ejemplo, el primer aterrizaje del salto con caída crea una demanda distinta a la de un aterrizaje del CMJ, incluso si ambos se realizan desde la misma altura. En el salto con caída, el atleta tiene como objetivo desacelerar lo más rápidamente posible en el primer

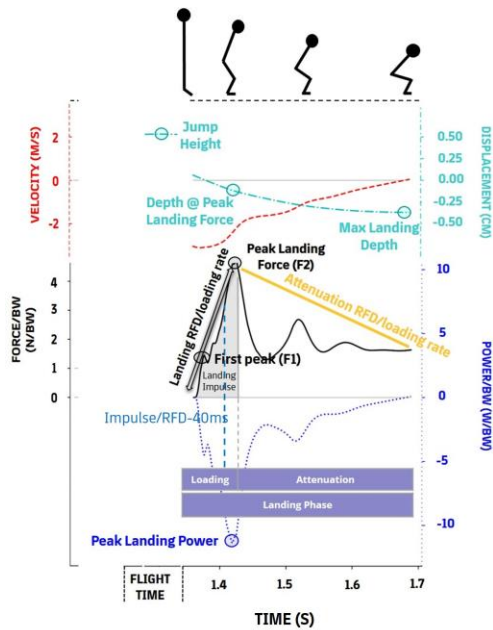
aterrizaje para crear una aceleración positiva con el fin de minimizar al máximo el tiempo en el suelo y realizar inmediatamente un salto máximo. En el aterrizaje de un CMJ convencional (o de un segundo aterrizaje de un SJ, DJ), el atleta también debe absorber las fuerzas del impacto y reducir la velocidad descendente a cero, aunque sin necesidad de hacerlo rápidamente. El impulso neto general necesario para desacelerar desde la velocidad en el momento del impacto hasta la velocidad cero es igual al impulso generado en la fase ascendente/concéntrica del salto, ya que este impulso neto depende del peso corporal del atleta y de la velocidad de su centro de masa, que viene determinada por la altura desde la que el atleta ha aterrizado (la altura de su salto). La velocidad de aterrizaje viene determinada, por lo tanto, por la altura del salto (a cualquier masa corporal dada) un salto más alto (y por lo tanto una mayor velocidad de despegue) significa una mayor velocidad en el aterrizaje y requiere un mayor impulso neto para atenuar esta fuerza de desaceleración y frenar completamente el movimiento descendente (alcanzar la velocidad cero). Obsérvese, sin embargo, que en un grupo de atletas, mientras que F1 se correlaciona con la altura del salto, el punto máximo de fuerza de aterrizaje (que en la gran mayoría de los casos se produce en F2) no lo hace. Esto puede resultar paradójico basándose en los principios físicos descritos, y es importante señalar que, si bien la altura de salto no es un determinante significativo de la F2 (fuerza máxima de aterrizaje) en un grupo de atletas, en un individuo (suponiendo que la técnica no haya cambiado) una mayor altura de salto se asocia con una F2 significativamente mayor. En futbolistas de élite, observamos un aumento significativo del 15% en la fuerza máxima de aterrizaje en un grupo de jugadores que realizaron tres saltos submáximos de (altura media: 33,2 cm) seguidos de tres saltos máximos (altura media: 38,2 cm), aunque el rango de cambio fue de una disminución del 44% a un aumento del 13%. Esto pone de relieve que, si bien la fuerza total absorbida en el tiempo (impulso) viene determinada por la altura del salto y la masa corporal, las diferencias interindividuales en la técnica/biomecánica del aterrizaje [patrón de activación muscular, flexibilidad y rigidez musculoesquelética (Baus et al., 2020)] ejercen una influencia importante en la magnitud de este punto máximo. De hecho, la fuerza máxima de aterrizaje y la forma de los registros de FT en el aterrizaje pueden alterarse de forma aguda mediante instrucciones sobre la técnica de aterrizaje (Milner et al., 2012), y de forma crónica mediante intervenciones de entrenamiento neuromuscular. El autor prefiere no indicar el aterrizaje en las evaluaciones del CMJ a menos que el propósito específico de la evaluación sea entrenar y brindar feedback sobre la técnica y las fuerzas de aterrizaje. La razón de esto es que al no dar señales y no centrarse en el aterrizaje sino en lograr la altura del salto, el salto está más alineado con lo que es la estrategia típica del atleta en el campo de juego/cancha y es más probable que revele su estrategia normal en estas condiciones (Bates et al., 2013).

Si se considera la magnitud de la carga; 6,6 múltiplos del peso corporal (SD 2.1), que se absorbe durante un periodo de aproximadamente 350ms (SD: 140), se puede prever cómo las diferentes estrategias de aterrizaje podrían afectar a la carga de los ligamentos y otros tejidos blandos e influir en el riesgo de microtraumatismos en cargas repetitivas o sobrecargas mecánicas traumáticas y en el riesgo de lesiones agudas. En base a esto, la fase de aterrizaje de los saltos ha sido de interés principalmente desde una perspectiva de diagnóstico de fuerza y potencia relacionada con el riesgo de lesiones y la recuperación de las mismas, ya que las fuerzas de impacto o aterrizaje estresan los tejidos blandos de las extremidades inferiores y, por lo tanto,

son un factor potencial de riesgo de lesiones, especialmente en deportes con aterrizajes frecuentes repetitivos y de gran fuerza (Bressel & Cronin, 2005). El aterrizaje bilateral y las asimetrías en rehabilitación y el RTS se analizan en el módulo "Marco y herramientas para la cinética y cinemática en la rehabilitación y el retorno al deporte" del curso "Herramientas para la evaluación del rendimiento, las lesiones y la rehabilitación".

VARIABLES DE LA FASE DE ATERRIZAJE

Figura 13: Variables y subfases clave del aterrizaje



Variable	Descripción
1ª Fuerza de impacto máxima (F1)	Las fuerzas máximas de aterrizaje suelen indicarse en relación con el peso corporal (/kg o múltiplos del peso corporal), lo que resulta útil para comparar atletas de un mismo grupo. Además, cuando se realiza el seguimiento de una persona, también puede ser útil informar sobre la altura de salto, si se esperan cambios en la altura de salto (durante la rehabilitación), para tener en cuenta la relación directa entre la altura de salto y la fuerza máxima de aterrizaje en las personas.
Fuerza máxima (F2) (fuerza máxima de aterrizaje)	Fuerza máxima de aterrizaje (F2) o fuerza a la potencia máxima de aterrizaje dividida por el tiempo transcurrido desde el impacto hasta el punto temporal de fuerza máxima o potencia máxima (pendiente media entre puntos ignorando la F1).
Carga RFD ("velocidad de carga")	Fuerza máxima de aterrizaje (F2) menos la fuerza en el desplazamiento máximo/velocidad cero dividido el tiempo desde la fuerza máxima hasta este punto (pendiente media, ya que hay oscilaciones en la fuerza entre estos dos puntos).
Atenuación de la RFD	Impulso desde el impacto hasta el final de la fase de aterrizaje (impulso de aterrizaje) o hasta la fuerza máxima (impulso de carga).
Impulso de aterrizaje/carga	Impulso o RFD durante los primeros 40-70 ms.
Impulso "inicial" de la RFD	El tiempo transcurrido desde el impacto hasta el desplazamiento máximo/velocidad cero.
Duración	Los componentes temporales de las RFD de aterrizaje (hasta el punto máximo de aterrizaje/potencia máxima) equivalentes a la duración de la fase de carga.
Tiempo hasta alcanzar la fuerza máxima de aterrizaje / potencia máxima de aterrizaje	Desplazamiento del COM estimado en el punto de tiempo en cualquiera de los dos puntos máximos, que representa el desplazamiento inicial/al final de la fase de carga.
Desplazamiento en el punto máximo de aterrizaje o en el punto máximo de potencia	Desplazamiento máximo (a velocidad cero)
Desplazamiento máximo (a velocidad cero)	COM estimado al final de la fase de aterrizaje (velocidad cero).

Fuente: Adaptado de Cohen & Kennedy 2021.

1st Peak impact force (F1)	1ª Fuerza de impacto máxima (F1)
Peak force (F2) (peak landing force)	Fuerza máxima (F2) (fuerza máxima de aterrizaje)
Peak landing forces are typically reported relative to bodyweight (/kg or multiples of bodyweight-useful in comparing athletes across a group. Also when monitoring an individual it can also be useful to report relative to jump height, if changes in jump height are expected (during rehabilitation), to account for the direct relationship between jump height and peak landing force within individuals	Las fuerzas máximas de aterrizaje suelen indicarse en relación con el peso corporal (/kg o múltiplos del peso corporal), lo que resulta útil para comparar atletas de un mismo grupo. Además, cuando se realiza el seguimiento de una persona, también puede ser útil informar sobre la altura de salto, si se esperan cambios en la altura de salto (durante la rehabilitación), para tener en cuenta la relación directa entre la altura de salto y la fuerza máxima de aterrizaje en las

	personas
Loading RFD (“loading rate”)	Carga RFD ("velocidad de carga")
Peak landing force (F2) or force at peak landing power divided by time from impact to the time point of peak force or peak power (average slope between points ignoring F1)	Fuerza máxima de aterrizaje (F2) o fuerza a la potencia máxima de aterrizaje dividida por el tiempo transcurrido desde el impacto hasta el punto temporal de fuerza máxima o potencia máxima (pendiente media entre puntos ignorando la F1).
Attenuation RFD	Atenuación de la RFD
Peak landing force (F2) minus force at maximum displacement/zero velocity divided time from peak force to this point (average slope-as there oscillations in force between these two points)	Fuerza máxima de aterrizaje (F2) menos la fuerza en el desplazamiento máximo/velocidad cero dividido el tiempo desde la fuerza máxima hasta este punto (pendiente media, ya que hay oscilaciones en la fuerza entre estos dos puntos).
Landing/loading impulse	Impulso de aterrizaje/carga
impulse from impact to end of landing phase (landing impulse) or to peak force (loading impulse)	impulso desde el impacto hasta el final de la fase de aterrizaje (impulso de aterrizaje) o hasta la fuerza máxima (impulso de carga)
“Early” impulse of RFD	Impulso "inicial" de la RFD
impulse et RFD during the first 40-70 ms	impulso o RFD durante los primeros 40-70 ms
Duration	Duración
The time from impact to the maximum displacement/zero velocity	El tiempo transcurrido desde el impacto hasta el desplazamiento máximo/velocidad cero.
Time to peak landing force / landing peak power	Tiempo hasta alcanzar la fuerza máxima de aterrizaje / potencia máxima de aterrizaje
The time components of the landing RFDs (to peak landing/peak power) equivalent to the loading phase duration	Los componentes temporales de las RFD de aterrizaje (hasta el punto máximo de aterrizaje/potencia máxima) equivalentes a la duración de la fase de carga.

Displacement at peak landing or peak power	Desplazamiento en el punto máximo de aterrizaje o en el punto máximo de potencia
Estimated COM displacement at the timepoint at either peak-representing early displacement/at end of loading phase	Desplazamiento del COM estimado en el punto de tiempo en cualquiera de los dos puntos máximos, que representa el desplazamiento inicial/al final de la fase de carga.
Maximum displacement (at zero velocity]	Desplazamiento máximo (a velocidad cero)
Estimated COM at end of landing phase (zero velocity)	COM estimado al final de la fase de aterrizaje (velocidad cero)

Obsérvese que hasta hace relativamente poco, el análisis cinético del aterrizaje del CMJ con plataforma de fuerza consistía principalmente en el punto máximo de aterrizaje (F2) y la velocidad media de evolución de la fuerza (o "velocidad de carga") eran las únicas variables registradas dentro de la fase de aterrizaje, y apenas se describían los subcomponentes de las fases. Sin embargo, al igual que durante la fase de despegue, en la que la profundidad del contramovimiento puede estimarse a partir de la curva de desplazamiento, también puede estimarse la profundidad del desplazamiento del centro de masa en puntos como la fuerza máxima de aterrizaje y el desplazamiento máximo en el aterrizaje, registrándose alteraciones tras la pérdida de entrenamiento (Cohen et al., 2020). Estos datos son un indicador indirecto de la flexión de la rodilla en el aterrizaje, que resultan interesantes desde el punto de vista del riesgo de lesión del LCA y de su recuperación. Además, dado que se calcula que la rotura del LCA en el aterrizaje se produce entre 40 y 70 ms después del impacto, se ha empezado a examinar la velocidad de evolución de la fuerza y el impulso del impacto a lo largo de estos períodos en relación con el riesgo de lesión y la rehabilitación. Cabe señalar que los profesionales también deben ser conscientes de la existencia de una fase previa al aterrizaje/preparatoria, que representa las estrategias de activación previa (cuantificadas con EMG y captura del movimiento) utilizadas antes del impacto (Lida et al., 2011). Durante el vuelo, por definición, no se puede medir la GRF, pero las diferencias entre atletas (Baus et al., 2020) o los cambios en la cinética de la fase de carga (vGRF y desplazamiento estimado del COM, en particular) tras intervenciones agudas o crónicas pueden deberse a diferencias o alteraciones, respectivamente, en la activación de los músculos de las extremidades inferiores y de la bota antes del aterrizaje (Lida et al., 2011) y en la cinemática articular (Horita et al., 2002).

Facilitar instrucciones en el aterrizaje para absorber la fuerza y crear un aterrizaje "suave" mediante el aumento de la flexión de cadera y rodilla (Milner et al., 2012) es eficaz para repartir la demanda de absorción de fuerza durante más tiempo, creando un impulso de menor magnitud, pero mayor duración y más uniforme con un punto máximo de fuerza más bajo (F2). Este aterrizaje más flexionado contrasta con un aterrizaje rígido, con un punto máximo alto y

de menor duración. El feedback sobre las fuerzas de aterrizaje y las asimetrías y la eficacia de las alteraciones de la estrategia sobre estos valores podrían proporcionarse de inmediato, y este enfoque que recurre al feedback cinemático ha demostrado su eficacia en las intervenciones de entrenamiento correctivo (Ford et al., 2015). No obstante, la preferencia del autor es que, como parte del proceso de evaluación, no se den indicaciones sobre el aterrizaje para conocer primero la estrategia de aterrizaje habitual del deportista, cuando no se centra en la técnica de aterrizaje, sino en el despegue y en alcanzar la altura máxima de salto, lo cual representa mejor la situación dentro del terreno de juego.

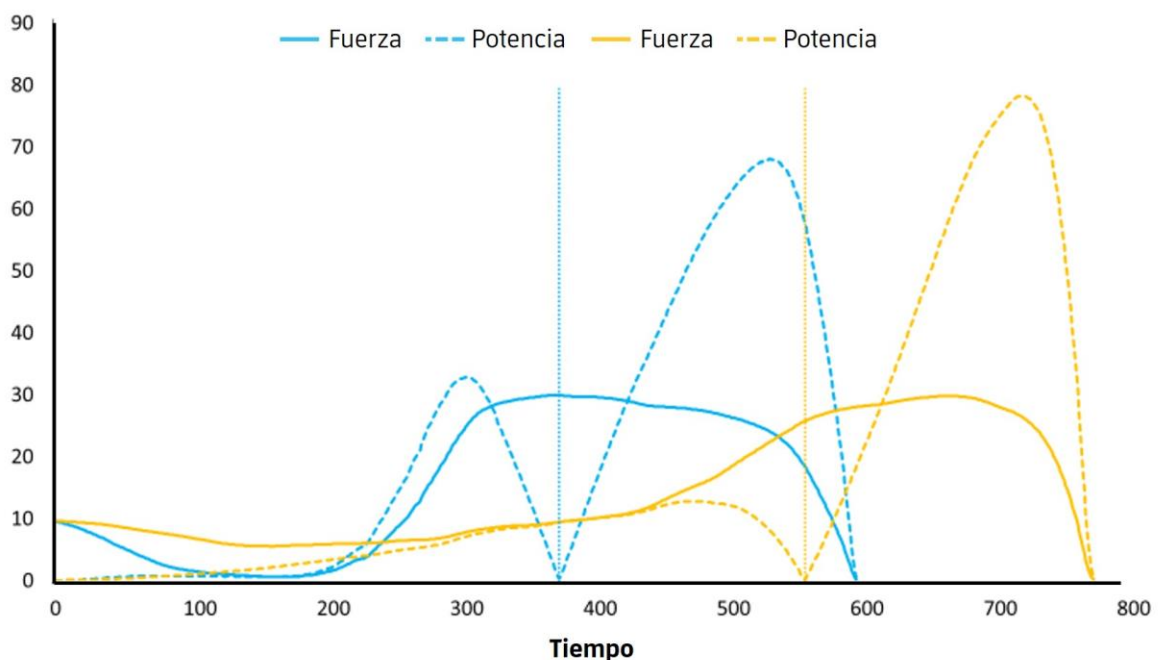
Análisis de la forma de onda

Es posible que el lector se sorprenda de que, tras considerar el gran número de variables calculadas en las curvas de fuerza, velocidad, potencia y desplazamiento en el CMJ a través y dentro de las fases y subfases, los investigadores manifiesten su preocupación por el hecho de que se descartan una gran cantidad de datos cinéticos dentro de la curva fuerza-tiempo (Richter et al., 2014). Una forma de conservar todos los datos de fuerza-tiempo en el análisis es realizar un análisis de "forma de onda" o "fase temporal", una comparación del registro completo entre grupos de atletas en un punto temporal o a lo largo del tiempo e identificar áreas de diferencia o cambio en lugar de, o además del análisis de variables derivadas de los registros cinéticos. Está demostrado que los antecedentes deportivos, los niveles de fuerza y el entrenamiento influyen en la forma de las curvas fuerza-tiempo, potencia-tiempo y desplazamiento-tiempo, y no solamente en los valores de las variables discretas (Cormie et al., 2009; Cormie et al., 2010). Sin embargo, algunos trabajos más recientes han tenido como objetivo clasificar estas diferentes formas u ondas (Richter et al., 2014) y comprender su posible influencia en el rendimiento (Kennedy & Drake, 2018) y sus asociaciones con la activación muscular y la cinemática de la articulación y la respuesta a la fatiga. Como se señaló anteriormente en este módulo, las formas de ondas concéntricas se caracterizan y cuantifican en cierta medida por las variables de velocidad y de tiempo limitado ya descritas (es decir, el tiempo limitado o la forma del impulso en la fase concéntrica). No obstante, como se ha señalado anteriormente, existen aspectos específicos de la curva concéntrica fuerza-tiempo que convierten a los enfoques generales en inadecuados o incapaces de caracterizar completamente esta fase. Y como tal, la descripción y el análisis cualitativo tienen una función que desempeñar y la capacidad de contribuir a la comprensión diagnóstica del estado del atleta en un momento determinado, y su respuesta a la carga, más allá de lo que aportan los datos de las variables. En este módulo, hemos centrado nuestra atención en la elaboración de perfiles del estado del atleta en un único punto temporal (análisis transversal) utilizando variables derivadas de los registros cinéticos durante las fases del salto. En esta sección, examinamos cómo las formas de onda/perfiles pueden contribuir a ese tipo de caracterización.

El análisis de forma de onda se utiliza principalmente en investigaciones para comparar grupos en un único punto o a lo largo del tiempo para intentar determinar diferencias o un cambio utilizando métodos estadísticos; también puede utilizarse para observar tendencias en un deportista individual, aunque actualmente no se utiliza mucho en contextos prácticos. Por el contrario, la clasificación de las formas de onda puede proporcionar cierta información cualitativa adicional asociada a los patrones de activación subyacentes, aunque se base en

investigaciones realizadas en otras situaciones/individuos, por lo que debe considerarse en ese contexto. Obsérvese también que las investigaciones publicadas relacionadas con las formas de onda implican predominantemente el análisis y la observación de registros de tiempo normalizado en lugar de curvas de fuerza-tiempo en bruto, en las que el tiempo de salto absoluto de cada prueba se convierte en un porcentaje, en el que cero es el inicio del movimiento y 100% el despegue. Este paso facilita la comparación estadística de saltos "ensamblados" con diferentes duraciones. Las curvas normalizadas en el tiempo se utilizan generalmente en investigaciones que muestran datos obtenidos de varios individuos. Este enfoque es útil para visualizar e identificar áreas de interés y determinar diferencias estadísticas entre extremidades en la producción de fuerza. También se utiliza para comparar la fuerza vertical bilateral/combinada total en grupos de atletas a lo largo del tiempo. Si bien la normalización permite comparar saltos con duraciones muy distintas, por definición elimina la duración del análisis y la representación. Debido a la capacidad discriminatoria de las duraciones al comparar en un mismo punto temporal y a lo largo del tiempo, es fundamental que esta información también se tenga en cuenta en el análisis, mediante variables o representaciones visuales. Las representaciones de trayectorias superpuestas no normalizadas en el tiempo pueden ser informativas, como se muestra en la figura 6 para destacar la diferencia entre el impulso concéntrico total y el impulso concéntrico-100. La figura 14 a continuación proporciona un ejemplo de comparación visual no normalizada de los datos de los saltos descritos en el cuadro 1 realizados por un futbolista de élite y un levantador de pesas mencionados anteriormente, en un único punto temporal.

Figura 14: Fuerza y potencia no normalizadas en el tiempo, trayectorias de dos atletas de élite con la misma altura de salto.



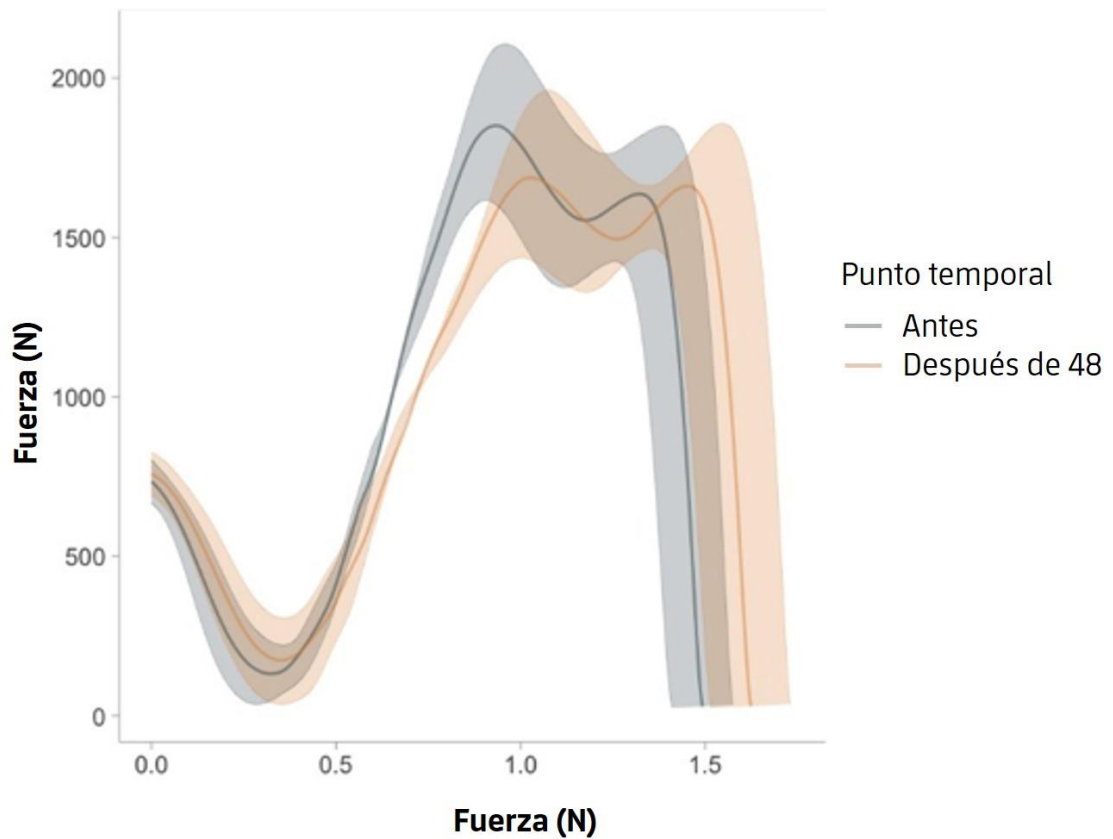
Futbolista (azul) y levantador de pesas olímpico (naranja): peso corporal relativo (/kg), fuerza (perfiles continuos) y potencia (perfiles discontinuos) - perfiles temporales. El final de la fase descendente (excéntrica) y el inicio de la fase ascendente (concéntrica) se indican con líneas azules verticales (futbolista) y naranjas (levantador de pesas), respectivamente. Obsérvese que los valores positivos se muestran para la potencia de la fase descendente ("excéntrica"), con el fin de facilitar la visualización y el contraste; obsérvese las grandes diferencias en la producción de potencia excéntrica frente a la concéntrica en los dos atletas (es decir, el levantador de pesas muestra una mayor potencia máxima concéntrica pero una potencia máxima excéntrica sustancialmente menor que el futbolista). Tenga en cuenta también las diferencias en la duración de las fases. Los valores numéricos de las dos pruebas figuran en el cuadro 1a y b)

Fuente: preparada por el autor.

Force	Fuerza
Power	Potencia
Time	Tiempo

Un enfoque alternativo para visualizar los datos de múltiples atletas, conservando los datos de fuerza y tiempo (duración) es el método spline. La figura 15 muestra la media y la desviación estándar del CMJ en 8 futbolistas en dos momentos (antes y después de un protocolo de fatiga). Esta representación también podría utilizarse para comparar dos grupos de atletas. También podría utilizarse para comparar a un solo atleta a lo largo del tiempo.

Figura 15: Visualización de la forma de onda del CMJ con fuerza retenida y características temporales en futbolistas antes y después del protocolo de fatiga



Las visualizaciones se generaron utilizando una función de spline (R). Datos brutos de las pruebas de salto interpolados a 2000 unidades de datos, lo que permite calcular la media (las dos líneas) y la desviación estándar (DE) por debajo (media -1 DE) y por encima (media +1 DE) de la media, representada por el área sombreada alrededor de la línea.

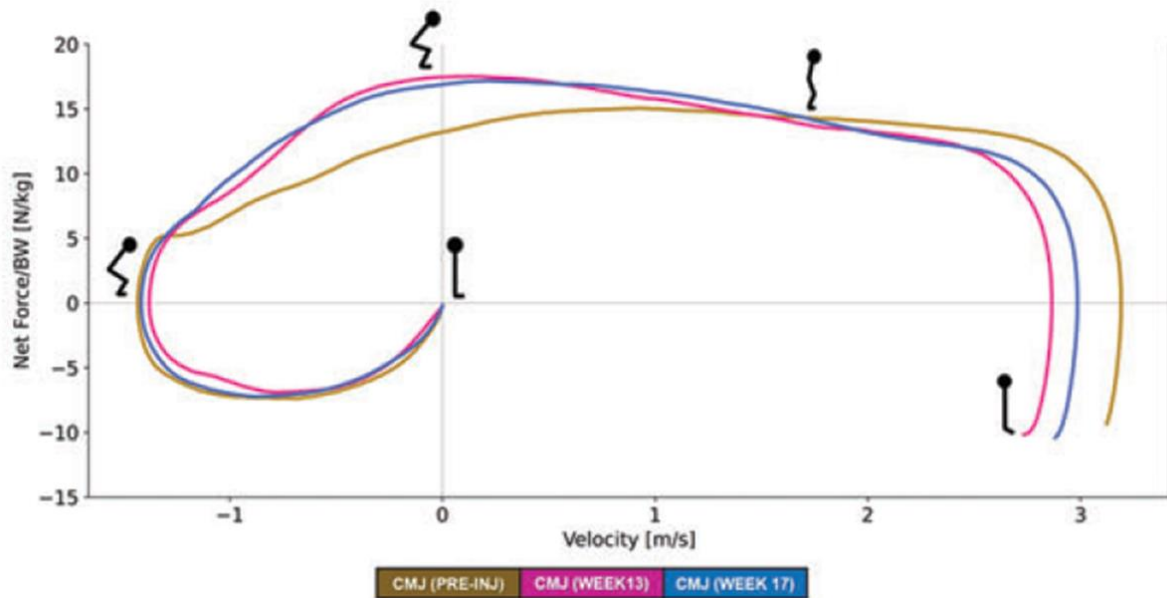
Adaptado de: Cohen, D.D, Spineti, J., Neto, A.P.F., Vianna, G., De Souza, D.F., Gathercole, R., Harper, D.J., Taberner, M. (2022). Los efectos de los sprints repetidos con y sin desaceleraciones horizontales rápidas sobre la fatiga neuromuscular residual en futbolistas profesionales masculinos. Sports (abstract). 10,93: 8

Force	Fuerza
Timepoint	Punto temporal
Time	Tiempo
Per	Antes
Post_48	Después de 48

Otra forma de examinar visual y estadísticamente los cambios o diferencias en el rendimiento del CMJ (para comparar un individuo a lo largo del tiempo, o datos de un grupo en un punto temporal o de un grupo a lo largo del tiempo) es la creación de gráficos separados de fuerza-

velocidad, potencia-tiempo, velocidad-tiempo o desplazamiento-tiempo (Cormie et al., 2009). Visualmente, los "bucles" de fuerza-velocidad (llamados así por su forma), pueden ser especialmente útiles en el análisis grupal o individual, con un ejemplo que se muestra a continuación en un atleta individual (figura 16).

Figura 16: Bucle de fuerza-velocidad en futbolistas de élite antes, durante y después de la rehabilitación



Las figuras ayudan a comprender la posición del atleta, comenzando con la posición de velocidad cero de pie, seguida de la fase descendente (valores de velocidad negativos), hasta alcanzar la velocidad cero al final de la fase descendente, seguida de los valores de velocidad positivos durante la fase ascendente.

Fuente: Taberner, M., Haddad, F.S., Dunn, A., Newall, A., Parker, L., Betancur, E., Cohen, D.D. (2020)b. Managing the return to sport of the elite footballer following semimembranosus reconstruction. *BMJ Open Sport Exerc Med.* Oct 26;6(1):e000898. doi: 10.1136/bmjsem-2020-000898.

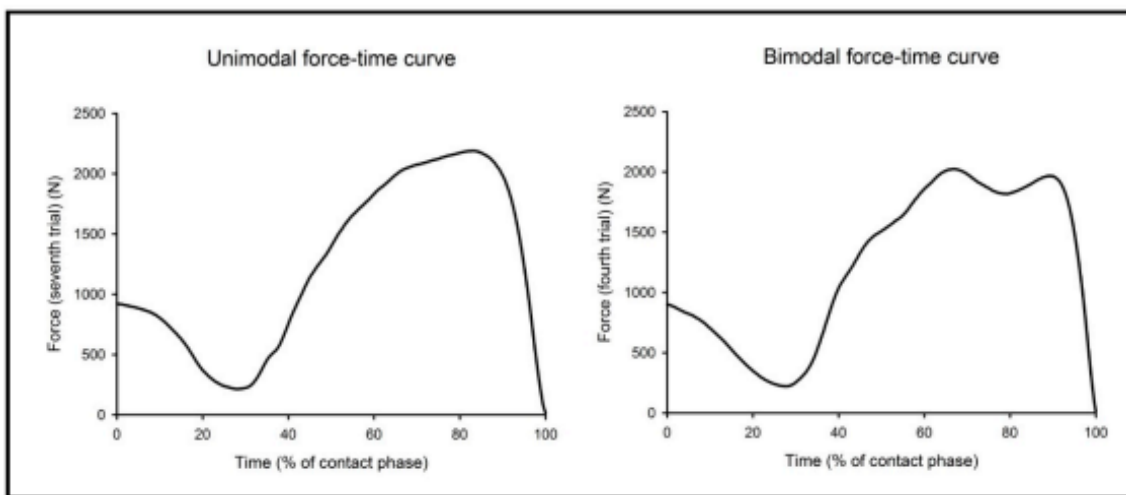
Net force/BW	Fuerza neta/peso corporal
Velocity	Velocidad
CMJ (pre-inj)	CMJ (antes de la lesión)
CMJ (week 13)	CMJ (semana 13)
CMJ (week 17)	CMJ (semana 17)

Clasificación de las formas de onda

Como se ha destacado anteriormente, la clasificación de las formas de onda puede ser útil para proporcionar información adicional sobre un atleta específico en un momento dado y examinar los cambios agudos/residuales y crónicos. También se ha afirmado que, antes de realizar el

análisis de las formas de onda, se debe realizar primero una clasificación de las mismas y realizar el análisis por separado de los grupos que pertenecen a cada grupo de formas de onda. Richter et al. (2014) sugirieron que la variación en las formas de onda dentro de un grupo de atletas significa que un análisis de un solo grupo podría enmascarar factores relacionados con el rendimiento que se ven afectados por la "forma" de la curva fuerza-tiempo. En las investigaciones sobre este tema se han descrito hasta 4 formas de onda. La clasificación más básica que puede definirse visualmente con facilidad es una forma unimodal (un solo punto máximo) y una forma bimodal (dos puntos máximos) (figura 17).

Figura 17: forma de onda unimodal vs bimodal. Una comparación del mismo atleta

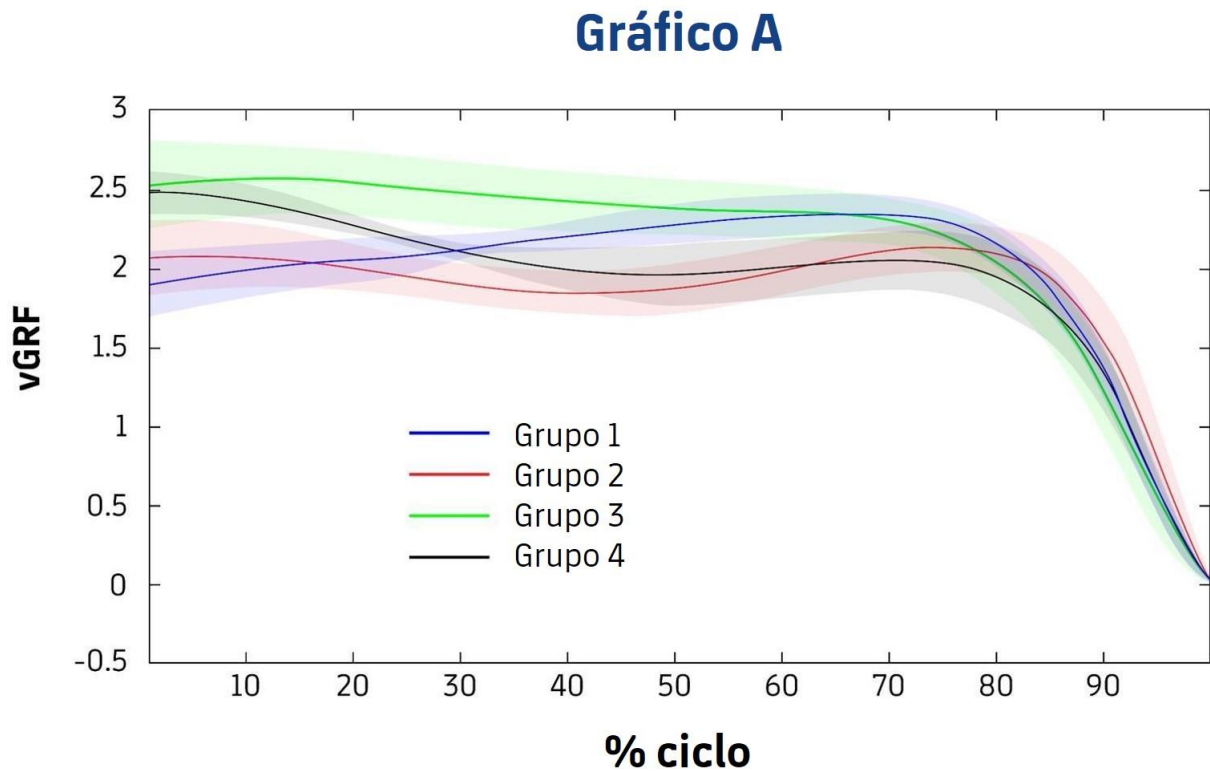


Fuente: Lake y McMahon, 2018, p.4

Force (seventh trial) (N)	Fuerza (séptima prueba) (N)
Unimodal force-time curve	Curva fuerza-tiempo unimodal
Time (% of contact phase)	Tiempo (% de la fase de contacto)
Bimodal force-time curve	Curva de fuerza-tiempo bimodal
Force (fourth trial)	Fuerza (cuarta prueba)

No obstante, mediante procesos estadísticos de análisis de componentes principales realizados en las curvas normalizadas en el tiempo, seguidos de análisis de agrupación k-mean de tamaños de muestra considerables se han identificado cuatro o tres modos o agrupaciones de forma de onda con análisis de formas de onda completas de la forma de onda completa (desde el inicio del movimiento hasta el despegue) o de la forma de onda de impulso neto (que comienza en la fase de desaceleración excéntrica y finaliza en el despegue), respectivamente (figura 18 gráficos A y B, respectivamente).

Figura 18 A: Grupos de formas de onda

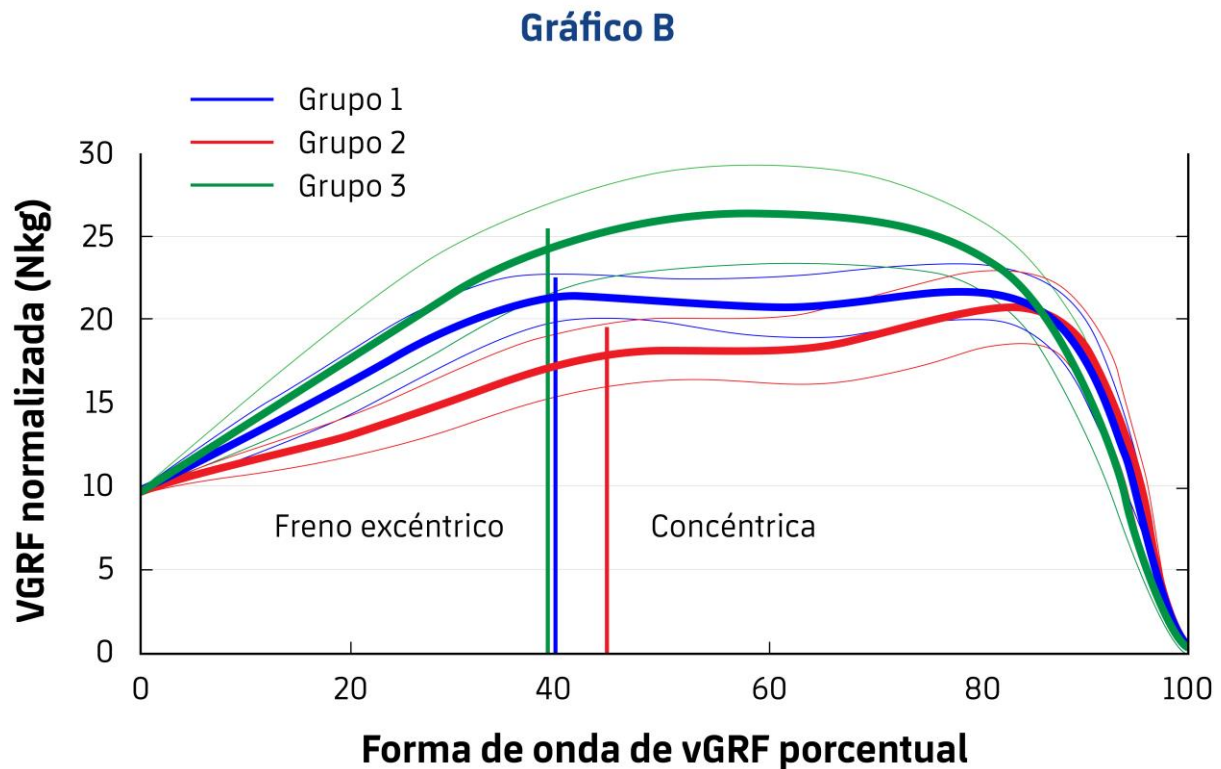


Nota: Promedios de los grupos de curvas generados mediante la agrupación k-means con cuatro grupos

Fuente: Fuente: “Clustering vertical ground reaction force curves produced during countermovement jumps,” por C. Richter et al., 2014, *Journal of biomechanics*, 47(10), 2385–2390.

Panel A	Gráfico A
vGRF	vGRF
Cluster	Grupo
% cycle	% de ciclo

Figura 18 B: Grupos de ondas en atletas universitarios

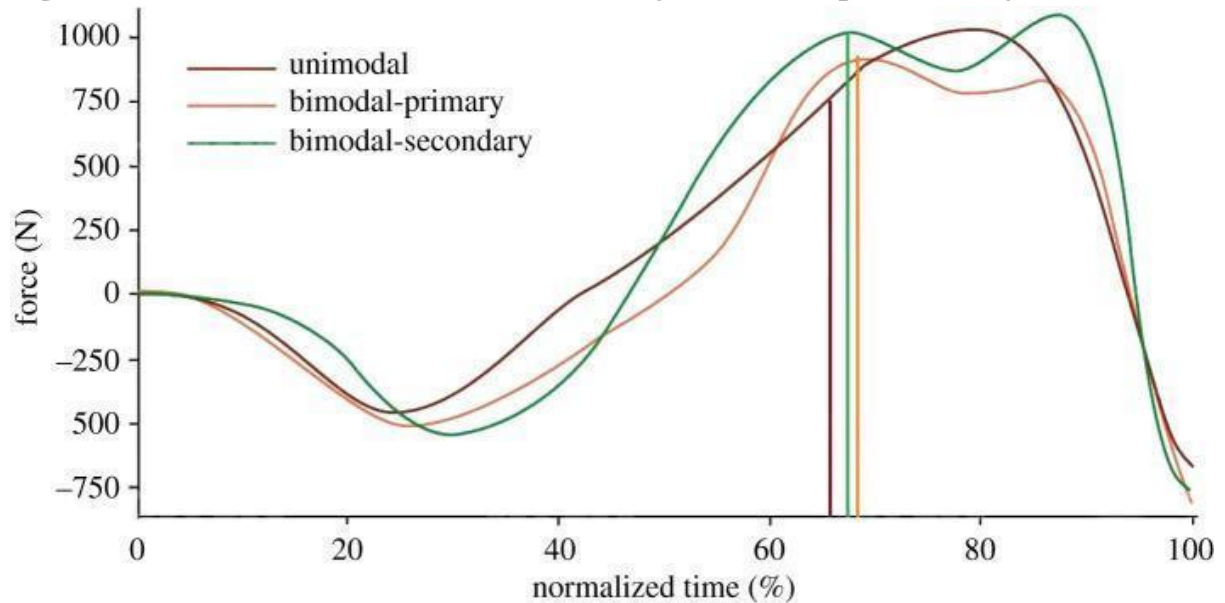


Nota: Formas de onda promedio de la vGRF, fases de desaceleración excéntrica (frenado) para cada grupo. Para cada grupo se muestra también, en forma de línea vertical, el punto medio de transición de la fase excéntrica a la concéntrica.

Fuente: Fuente: “Force-Time Waveform Shape Reveals Countermovement Jump Strategies of Collegiate Athletes,” por T. M. Guess et al., 2020, *Sports* 8(12), 1-13.

Panel B	Gráfico B
Normalized vGRF (Nkg)	VGRF normalizada (Nkg)
Eccentric braking	Freno excéntrico
Concentric	Concéntrica
Percent vGRF waveform	Forma de onda de vGRF porcentual

Figura 19: Formas de onda uni y bimodal-primaria y secundaria



Fuente: Sahrom et al., 2021, p.19

Force	Fuerza
Unimodal	Unimodal
Bimodal-primary	Bimodal-primario
Bimodal-secondary	Bimodal-secundario
Normalized time	Tiempo normalizado

Gráfico A: grupos de 122 atletas masculinos de varios deportes (Richter et al., 2014). Los grupos 1 y 2 son unimodales (1 punto máximo) y los dos bimodales (dos puntos máximos de fuerza separados). Las subcategorías unimodales y bimodales, definidas según el momento y la magnitud de los puntos máximos a lo largo del ciclo de salto. Gráfico B: 394 atletas universitarios estadounidenses de ambos sexos de diversos deportes (Guess et al., 2020). Tres grupos de formas de onda (1 unimodal y 2 bimodales) utilizando frenado excéntrico (desaceleración) + fases concéntricas.

Richter et al. (2014) no encontraron diferencias significativas en la altura del salto entre los grupos, lo que sugiere que estos grupos representan "estrategias" o secuenciación de la fuerza y la aplicación y la cinemática articular no se asocian consistentemente con una mayor altura de salto, sino que reflejan diferentes medios para lograrlo. Por el contrario, Guess et al. (2020) encontraron diferencias significativas en la altura del salto y la cinética a través de tres grupos que fueron identificados utilizando el frenado excéntrico (desaceleración) + fases concéntricas: valores significativamente más altos en los atletas del grupo 3 para todas las variables cinéticas analizadas. Los grupos 3 y 2 tienen alturas de salto similares, pero existen diferencias significativas en cuanto a los valores limitados en el tiempo frente a los resultados de fuerza total: el grupo 3 tiene una RFD de desaceleración más alta, pero un impulso más bajo en la fase

de desaceleración excéntrica y duraciones más cortas en la fase de desaceleración excéntrica y en todas las demás fases. En el grupo 1, la altura de salto era menor y la duración de las fases, mayor. En consecuencia, estos grupos de formas de onda parecen agrupar o "concentrar" aproximadamente tres perfiles de rendimiento cinético o categorías relacionadas dentro de cualquier muestra de atletas: buenas alturas de salto y tiempos de salto cortos, buenas alturas de salto con tiempos de salto moderados y alturas de salto deficientes y saltos lentos. Un enfoque que es paralelo a un análisis de cuadrante (división de la media) si el tiempo de salto es corto y la altura de salto es deficiente fue añadido. El análisis de Guess et al. (2020) parece apoyar el concepto de que las formas de onda están asociadas a un rendimiento mejor o más eficiente, pero la heterogeneidad de los deportes y la mezcla de atletas masculinos y femeninos dificulta en cierta medida determinar si, a nivel individual, estas clasificaciones de las formas de onda proporcionarían información distinta de la de las variables cinéticas, ya que las diferencias para todas las variables cinéticas fueron significativas entre los grupos.

Por otro lado, en un estudio de más de 100 atletas de alto nivel de varios deportes, McHugh et al. (2020), examinaron tanto el modo de la forma de onda como si el máximo de fuerza se producía a velocidad cero/desplazamiento máximo o no, concluyeron que mientras que los saltos unimodales, y los saltos bimodales que (en los que el punto máximo inicial superaba al segundo punto máximo), mostraban mejor altura de salto y cinética, la aparición del punto máximo de fuerza a velocidad cero estaba más fuertemente asociada que la forma de la onda. Sahrom, que examinó sólo las formas de onda de la fase concéntrica, también informó de una duración concéntrica significativamente más corta en atletas que saltaban de manera unimodal que bimodal, con las duraciones más largas en los que saltaban de manera bimodal-primaria. No informaron de correlaciones con la altura del salto ni con variables cinéticas.

Cuadro 7. Resumen de las clasificaciones de las formas de onda

	Unimodal		Bimodal	
Richter et al. 2014 Deportes mixtos masculinos (Fútbol gaélico, <i>hurling</i> y baloncesto). Bimodal: 61/122	Grupo 1 El punto máximo se produce poco después del inicio de la fase concéntrica.	Grupo 2 VGRE inicial baja, el punto máximo se produce en torno al 70% del salto.	Grupo 3 VGRF inicial elevada, el pico se produce poco después del inicio de la fase concéntrica	Grupo 4 VGRF iniciales similares al primer y segundo picos, que pueden producirse antes del 15% o en torno al 80% del ciclo de movimiento.
Guess et al, 2020 Deporte mixto universitario masculino y femenino (natación y buceo lucha libre, porrista carreras a campo traviesa, <i>softball</i> , atletismo, voleibol, baloncesto, golf, fútbol, tenis). Bimodal- 336304	Grupo 3 Una sola elevación que alcanza su punto máximo aproximadamente a 173 de la duración del ciclo concéntrico.		Grupo 2 Dos puntos máximos de magnitud similar, el primero al principio y el segundo al final de la fase concéntrica.	Grupo 1 Meseta al inicio de la fase concéntrica. Punto máximo al final de la fase concéntrica.
Sahrom et al 2021 Hombres físicamente activos. Bimodal 20/32	Primario-Unimodal < 10% de diferencia en el punto tiempo (normalizado) entre el desplazamiento máximo y la fuerza máxima.	Secundario-Unimodal 10% de diferencia en el punto de tiempo (normalizado) entre el desplazamiento máximo y la fuerza máxima	Primario-bimodal" Dos picos con 1° > 2°	Secundario-bimodal Dos picos donde 1° < 2° en un 10%

Fuente: Elaboración propia basada en "Comparison of discrete-point vs. dimensionality-reduction techniques for describing performance-related aspects of maximal vertical jumping", de Richter, (2014). "Force-Time Waveform Shape Reveals Countermovement Jump Strategies of Collegiate Athletes," por T. M. Guess et al., (2020); "The use of yank-time signal as an alternative to identify kinematic events and define phases in human countermovement jumping", por Sahrom, S.B.,(2021).

Richter et al. 2014 Mixed sports males (Gaelic football hurling and basketball) Bimodal: 61/122	Richter et al. 2014 Deportes mixtos masculinos (Fútbol gaélico, hurling y baloncesto) Bimodal: 61/122
Guess et al, 2020 Mixed sport university males and females (swimming and diving wrestling, cheer cross-Country, softball track and field Volleyball, basketball yH seccer. lenns) Bimodal- 336304	Guess et al, 2020 Deporte mixto universitario masculino y femenino (natación y buceo lucha libre, porrista carreras a campo traviesa, softball, atletismo, voleibol, baloncesto, golf, fútbol, tenis) Bimodal- 336304
Unimodal	Unimodal
Cluster 1 Peak occurs shortly after the start of the concentric phase	Grupo 1 El punto máximo se produce poco después del inicio de la fase concéntrica
Cluster 2 Low initial vGRE, peak occurs at about 70% of the jump	Grupo 2 VGRE inicial baja, el punto máximo se produce en torno al 70% del salto
Cluster 3 A single hump peaking approximately at 173 of the way through the time in the concentric cycle	Grupo 3 Una sola elevación que alcanza su punto máximo aproximadamente a 173 de la duración del ciclo concéntrico.
Bimodal	Bimodal
Cluster 3 High initial vGRF, peak occurs shortly after the start of the concentric phase	Grupo 3 VGRF inicial elevada, el pico se produce poco después del inicio de la fase concéntrica
Cluster 2 Two peaks of similar magnitude the 1st at start and the 2nd at the end of the concentric phase	Grupo 2 Dos puntos máximos de magnitud similar, el primero al principio y el segundo al final de la fase concéntrica.

Cluster 4 Initial vGRFs similar to both the first and second maxima where peak could occur either before 15% or around 80% of the movement cycle	Grupo 4 VGRF iniciales similares al primer y segundo picos, que pueden producirse antes del 15% o en torno al 80% del ciclo de movimiento.
Cluster 1 Plateau at the start of the concentric phase peak at the end of the concentric phase	Grupo 1 Meseta al inicio de la fase concéntrica Punto máximo al final de la fase concéntrica
Unimodal-Primary < 10% difference in (normalized) timepoint between max displacement and peak force	Primario-Unimodal < 10% de diferencia en el punto tiempo (normalizado) entre el desplazamiento máximo y la fuerza máxima
Unimodal-Secondary 10% difference in (normalized) timepoint_ between max displacement and peak force	Secundario-Unimodal 10% de diferencia en el punto_ de tiempo (normalizado) entre el desplazamiento máximo y la fuerza máxima
Bimodal-Primary" Two peaks with 1st < 2nd	Primario-bimodal" Dos picos con 1° < 2°
Bimodal-Secondary Two peaks where 1st < 2nd by 10%	Secundario-bimodal Dos picos donde 1° < 2° en un 10%
Sahrom et al 2021 Physically active males Bimodal 20/32	Sahrom et al 2021 Hombres físicamente activos Bimodal 20/32

Nota: El perfil bimodal-primario es el perfil bimodal por defecto, a menos que cumpla los criterios de bimodal-secundario.

El estudio de Sahrom et al., destacado anteriormente en este módulo, proporciona datos que, si se confirman en otros grupos, sugieren una obtención de información a partir de la clasificación de la forma de onda, relevante para el estado individual del atleta y, posiblemente, para las adaptaciones del rendimiento o las intervenciones de riesgo de lesión en el atleta sano o el estado y el progreso de la rehabilitación. Su objetivo era determinar si los grupos/modos de ondas estaban asociados a un patrón de movimiento específico o a una estrategia de activación muscular. Descubrieron que la forma de onda unimodal se asociaba con actividades de flexión de rodilla, flexión plantar de tobillo y pico EMG muy alineadas (figura 5, izquierda). En cambio, sugirieron que un segundo punto máximo que caracteriza la forma bimodal podría

explicarse por una separación temporal de las extensiones de rodilla y tobillo y las actividades EMG máximas tras el desplazamiento máximo.

Es importante tener en cuenta que se ha informado que las formas de onda muestran inconsistencia dentro del sujeto en la señal de los atletas (Lake & McMahon, 2018) ya que Lake y McMahon informaron que durante 3 pruebas el 13% de una muestra de 18 jugadores de Rugby produjeron de manera consistente una forma de onda unimodal, pero ninguno fue consistente durante 5 pruebas. La forma de la curva fuerza-tiempo bimodal se demostró de forma consistente en un 67% a lo largo de 3 y 5 pruebas. Está demostrado que las instrucciones o señales, que afectan a diversas variables cinéticas, influyen en la aparición de curvas unimodales frente a bimodales. Pérez-Castilla et al. (2019) descubrieron que la indicación de realizar un contramovimiento más profundo conducía a un aumento de las curvas fuerza-tiempo bimodales (100%), mientras que las indicaciones de realizar un contramovimiento menos profundo conducían a un mayor número de resultados unimodales (65-88%).

Referencias

- Aerts, I., Cumps, E., Verhagen, E., Verschueren, J., & Meeusen, R.** (2013). A systematic review of different jump-landing variables in relation to injuries. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 53(5), 509–519.
- Barker, L. A., Harry, J. R., & Mercer, J. A.** (2018). Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. *Journal of strength and conditioning research*, 32(1), 248–254. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002160>
- Bates, N. A., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E.** (2013). Impact differences in ground reaction force and center of mass between the first and second landing phases of a drop vertical jump and their implications for injury risk assessment. *Journal of biomechanics*, 46(7), 1237–1241. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.02.024>
- Baus, J., Harry, J. R., & Yang, J.** (2020). Jump and Landing Biomechanical Variables and Methods: A Literature Review. *Critical reviews in biomedical engineering*, 48(4), 211–222. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2020034795>
- Bobbert, M. F., & van Ingen Schenau, G. J.** (1988). Coordination in vertical jumping. *Journal of biomechanics*, 21(3), 249–262. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(88\)90175-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(88)90175-3)
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C., & Van Soest, A. J.** (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height?. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(11), 1402–1412. <https://doi.org/10.1097/00005768-199611000-00009>
- Bressel, E. & Cronin, J.** (2005). The Landing Phase of a Jump Strategies to Minimize Injuries. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 76(2), 30-35. <http://dx.doi.org/10.1080/07303084.2005.10607332>
- Chalitsios, C., Nikodelis, T., Panoutsakopoulos, V., Chassanidis, C. & Kollias, I.** (2019). Classification of Soccer and Basketball Players' Jumping Performance Characteristics: A Logistic Regression Approach. *Sports (Basel)* 7(7), 1-9. <https://doi.org/10.3390/sports7070163>
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrão, J. C.** (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 20(4), 397–402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Cohen, D.D., Burton, A., Wells, C., Taberner, M., Diaz, M.A., Graham-Smith, P.** (2020) Single v double leg countermovement jump tests; not half an apple. *Aspetar Sports Med J*;9:34–41.
- Cohen, D., Restrepo, A., Richter, C., Harry, J., Franchi, M., Restrepo, C., Poletto, R. & Taberner, M.** (2020). Detraining of specific neuromuscular qualities in elite footballers during COVID-19 quarantine. *Science and Medicine in Football*, 26-31 <http://dx.doi.org/10.1080/24733938.2020.1834123>

Cohen, D.D, Spinetti, J., Neto, A.P.F., Vianna, G., De Souza, D.F., Gathercole, R., Harper, D.J., Taberner, M. (2022). The effects of repeated sprints with and without rapid horizontal decelerations on residual neuromuscular fatigue in professional male footballers. *Sports* (abstract). 10,93: 8

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of strength and conditioning research*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>

Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2010). Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(9), 1731–1744. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d392e8>

Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *Journal of Applied Biomechanics* 9(2), 95–110. <https://doi.org/10.1123/jab.9.2.95>

Eagles, A. N., Sayers, M., Bousson, M., & Lovell, D. I. (2015). Current Methodologies and Implications of Phase Identification of the Vertical Jump: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(9), 1311–1323. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0350-7>

Floría, P., Gómez-Landero, L. A., Suárez-Arrones, L., & Harrison, A. J. (2016). Kinetic and Kinematic Analysis for Assessing the Differences in Countermovement Jump Performance in Rugby Players. *Journal of strength and conditioning research*, 30(9), 2533–2539. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000502>

Ford, K. R., DiCesare, C. A., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2015). Real-time biofeedback to target risk of anterior cruciate ligament injury: a technical report for injury prevention and rehabilitation. *Journal of sport rehabilitation*, 24(2), 2013-0138. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0138>

Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *Journal of strength and conditioning research*, 29(9), 2522–2531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>

Guess, T.M.; Gray, A.D.; Willis, B.W.; Guess, M.M.; Sherman, S.L.; Chapman, D.W.; Mann, J.B. (2020) Force-Time Waveform Shape Reveals Countermovement Jump Strategies of Collegiate Athletes. *Sports* 8(12), 1-13, 159; <https://doi.org/10.3390/sports8120159>

Hamilton, D. (2009). Drop Jumps as an Indicator of Neuromuscular fatigue and recovery in elite youth soccer athletes following tournament march play. *J Aust. Strength Cond.* 17(4) 3-8

Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., Hay, D. C., & Fukashiro, S. (2008). A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in

vertical jumping. *Human movement science*, 27(4), 636–648.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.04.001>

Harper, D. J., Cohen, D. D., Rhodes, D., Carling, C., & Kiely, J. (2021). Drop jump neuromuscular performance qualities associated with maximal horizontal deceleration ability in team sport athletes. *European journal of sport science*, Jul;22(7):1005-1016. doi: 10.1080/17461391.2021.1930195

Harry, J. R., Barker, L. A., James, R., & Dufek, J. S. (2018). Performance Differences Among Skilled Soccer Players of Different Playing Positions During Vertical Jumping and Landing. *Journal of strength and conditioning research*, 32(2), 304–312.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002343>

Harry, J. R., Barker, L. A., & Paquette, M. R. (2020). A Joint Power Approach to Define Countermovement Jump Phases Using Force Platforms. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(4), 993–1000. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002197>

Harry, J. R., Freedman Silvernail, J., Mercer, J. A., & Dufek, J. S. (2018). Bilateral Comparison of Vertical Jump Landings and Step-off Landings From Equal Heights. *Journal of strength and conditioning research*, 32(7), 1937–1947.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002093>

Horita, T., Komi, P. V., Nicol, C., & Kyröläinen, H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *European journal of applied physiology*, 88(1-2), 76–84.
<https://doi.org/10.1007/s00421-002-0673-6>

Iida, Y., Kanehisa, H., Inaba, Y., & Nakazawa, K. (2011). Activity modulations of trunk and lower limb muscles during impact-absorbing landing. *Journal of electromyography and kinesiology : official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 21(4), 602–609. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.04.001>

Jakobsen, M. D., Sundstrup, E., Randers, M. B., Kjær, M., Andersen, L. L., Krstrup, P., & Aagaard, P. (2012). The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Human movement science*, 31(4), 970–986.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.10.001>

Kennedy, R. & Drake, D. (2018). Is a Bimodal Force-Time Curve Related to Countermovement Jump Performance? *Sports* 6(2), 1-13.
<http://dx.doi.org/10.3390/sports6020036>

Kijowksi, K. N., Capps, C. R., Goodman, C. L., Erickson, T. M., Knorr, D. P., Triplett, N. T., Awelewa, O. O., & McBride, J. M. (2015). Short-term Resistance and Plyometric Training Improves Eccentric Phase Kinetics in Jumping. *Journal of strength and conditioning research*, 29(8), 2186–2196. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000904>

King, E., Richter, C., Franklyn-Miller, A., Daniels, K., Wadey, R., Moran, R., & Strike, S. (2018). Whole-body biomechanical differences between limbs exist 9 months after ACL reconstruction across jump/landing tasks. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(12), 2567–2578. <https://doi.org/10.1111/sms.13259>

Komi, P. V., & Bosco, C. (1978). Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and science in sports*, 10(4), 261–265

Lake, J. P., & McMahon, J. J. (2018). Within-Subject Consistency of Unimodal and Bimodal Force Application during the Countermovement Jump. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(4), 143. <https://doi.org/10.3390/sports6040143>

Lloyd RS, Howard SW, Pedley JS, Read PJ, Gould ZI, Oliver JL. (2022). The Acute Effects of Accentuated Eccentric Loading on Drop Jump Kinetics in Adolescent Athletes. *J Strength Cond Res*; Sep 1;36(9):2381-2386. doi: 10.1519/JSC.0000000000003911.

Markström, J. L., & Olsson, C. J. (2013). Countermovement jump peak force relative to body weight and jump height as predictors for sprint running performances: (in)homogeneity of track and field athletes?. *Journal of strength and conditioning research*, 27(4), 944–953. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318260edad>

McHugh, M. P., Hickok, M., Cohen, J. A., Virgile, A., & Connolly, D. A. (2020). Is there a biomechanically efficient vertical ground reaction force profile for countermovement jumps? *Translational Sports Medicine*, 4, 138 - 146. <https://doi.org/10.1002/tsm2.200>

McMahon, J., Suchomel, T., Lake, J. & Comfort, P. (2018). Understanding the Key Phases of the Countermovement Jump Force-Time Curve. *Strength and conditioning journal* 40(4), 5-23. <http://dx.doi.org/10.1519/SSC.0000000000000375>

Merrigan, J. J., Stone, J. D., Hornsby, W. G. & Hagen, J. A. (2020). Identifying Reliable and Relatable Force–Time Metrics in Athletes—Considerations for the Isometric Mid-Thigh Pull and Countermovement Jump. *Sports (Basel)* 9(1), 1-13 . <https://dx.doi.org/10.3390%2Fsports9010004>

Milner, C. E., Fairbrother, J. T., Srivatsan, A., & Zhang, S. (2012). Simple verbal instruction improves knee biomechanics during landing in female athletes. *The Knee*, 19(4), 399–403. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2011.05.005>

Mizuguchi, S., Sands, W. A., Wassinger, C. A., Lamont, H. S., & Stone, M. H. (2015). A new approach to determining net impulse and identification of its characteristics in countermovement jumping: reliability and validity. *Sports Biomechanics*, 14(2), 258–272. doi:10.1080/14763141.2015.1053514

Morris, C. G., Weber, J. A., & Netto, K. J. (2020). Relationship Between Mechanical Effectiveness in Sprint Running and Force-Velocity Characteristics of a Countermovement Jump in Australian Rules Football Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000003583. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003583>

- Owen, N. J., Watkins, J., Kilduff, L. P., Bevan, H. R., & Bennett, M. A. (2014). Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *Journal of strength and conditioning research*, 28(6), 1552–1558. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000311>
- Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(4), 258–262. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77ea>
- Pedley JS, DiCesare CA, Lloyd RS, Oliver JL, Ford KR, Hewett TE, Myer GD. (2021). Maturity alters drop vertical jump landing force-time profiles but not performance outcomes in adolescent females. *Scand J Med Sci Sports*, Nov;31(11):2055-2063. doi: 10.1111/sms.14025.
- Peterson Silveira, R., Stergiou, P., Carpes, F. P., Castro, F. A., Katz, L., & Stefanyshyn, D. J. (2017). Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. *Sports biomechanics*, 16(2), 177–186. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1213875>
- Read PJ, Pedley JS, Eirug I, Sideris V, Oliver JL. (2022). Impaired Stretch-Shortening Cycle Function Persists Despite Improvements in Reactive Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Strength Cond Res*, May 1;36(5):1238-1244. doi: 10.1519/JSC.00000000000004208.
- Richter, C., O'Connor, N. E., Marshall, B., & Moran, K. (2014). Comparison of discrete-point vs. dimensionality-reduction techniques for describing performance-related aspects of maximal vertical jumping. *Journal of biomechanics*, 47(12), 3012–3017. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.07.001>
- Riggs, M. P., Sheppard, J. M. (2009). The relative importance of strength and power qualities to vertical jump height of elite beach volleyball players during the countermovement and squat jump. *Journal of human sport and exercise*, 4(3), 221–236. <https://doi.org/10.4100/jhse.2009.43.04>
- Sahrom, S. B., Wilkie, J. C., Nosaka, K., & Blazevich, A. J. (2020). The use of yank-time signal as an alternative to identify kinematic events and define phases in human countermovement jumping. *Royal Society open science*, 7(8), 192093. <https://doi.org/10.1098/rsos.192093>
- Schmitt, L. C., Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2015). Strength Asymmetry and Landing Mechanics at Return to Sport after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Medicine and science in sports and exercise*, 47(7), 1426–1434. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000560>
- Sole, C. J., Mizuguchi, S., Sato, K., Moir, G. L., & Stone, M. H. (2018). Phase Characteristics of the Countermovement Jump Force-Time Curve: A Comparison of Athletes

by Jumping Ability. *Journal of strength and conditioning research*, 32(4), 1155–1165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001945>

Taberner, M., van Dyk, N., Allen, T., Jain, N., Richter, C., Drust, B., Betancur, E., & Cohen, D. D. (2020)a. Physical preparation and return to performance of an elite female football player following ACL reconstruction: a journey to the FIFA Women's World Cup. *BMJ open sport & exercise medicine*, 6(1), e000843. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000843>

Taberner, M., Haddad, F.S., Dunn, A., Newall, A., Parker, L., Betancur, E., Cohen, D.D. (2020)b. Managing the return to sport of the elite footballer following semimembranosus reconstruction. *BMJ Open Sport Exerc Med*. Oct 26;6(1):e000898. doi: 10.1136/bmjsem-2020-000898.

Townsend JR, Bender D, Vantrease WC, Hudy J, Huet K, Williamson C, Bechke E, Serafini PR, Mangine GT. (2019). Isometric Midthigh Pull Performance Is Associated With Athletic Performance and Sprinting Kinetics in Division I Men and Women's Basketball Players. *J Strength Cond Res*. Oct;33(10):2665-2673. doi: 10.1519/JSC.0000000000002165.

Wang R, Hoffman JR, Tanigawa S, Miramonti AA, La Monica MB, Beyer KS, Church DD, Fukuda DH, Stout JR. (2016) Isometric Mid-Thigh Pull Correlates With Strength, Sprint, and Agility Performance in Collegiate Rugby Union Players *J Strength Cond Res*. Nov;30(11):3051-3056. doi: 10.1519/JSC.0000000000001416.

Warr, D. M., Pablos, C., Sánchez-Alarcos, J. V., Torres Navarro, V., Izquierdo, J. M. & Redondo, J. C. (2020). Reliability of measurements during countermovement jump assessments: Analysis of performance across subphases. *Cogent Social Sciences*, 6, 1-20. <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1843835>

Winter, E. M. (2005). Jumping: Power or impulse? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37: 523