

Módulo 1. Fundamentos de las pruebas cinéticas con plataformas de fuerza y su contexto en el ámbito deportivo y clínico

Introducción

¿Qué son las plataformas de fuerza?

Este sistema simple y eficaz, es, en esencia, una báscula muy precisa y resistente conectada a un reloj digital que registra las mediciones de frecuencias a 500 hercios por segundo y generalmente a 1000 Hz. Naturalmente, aunque tanto una báscula como una plataforma de fuerza miden el peso o la fuerza por gravedad aplicada sobre ellas, los sensores de las plataformas de fuerza son mucho más precisos que los de una báscula de baño. Los sensores de las plataformas de medición de fuerza deben resistir el impacto de personas que corren, saltan y se posan sobre ellas sin sufrir daños ni perder su precisión y eficacia año tras año.

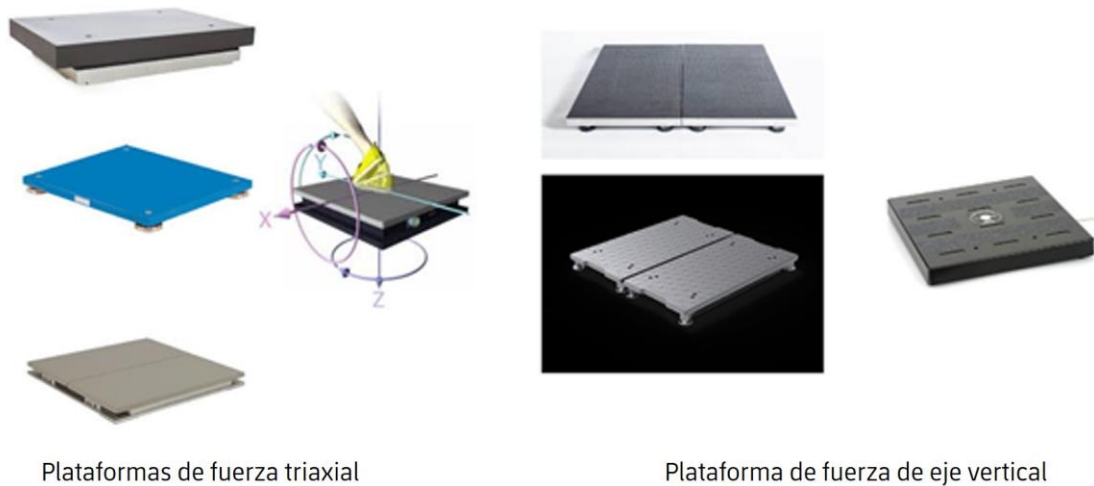
Si bien el impacto típico de un salto supone una fuerza de entre 4 y 10 veces mayor que el peso corporal, es decir, entre 300 y 1.000 kilogramos, la precisión de la medición puede ser de un gramo. La exigencia a la que están sometidas las plataformas de fuerza requiere no solo celdas de carga de alta calidad, una en cada esquina de la plataforma, sino también una carcasa lo suficientemente resistente como para soportar este nivel de impacto y una superficie lo suficientemente rígida como para garantizar que las vibraciones o el "ruido" no afecten el registro de las fuerzas generadas por el individuo en la plataforma y por sus movimientos musculares. Por este motivo, se suelen utilizar bases metálicas que envuelven las celdas de carga o "transductores de fuerza" y la correspondiente unidad electrónica (amplificador y convertidor analógico-digital). Por lo tanto, cada plataforma suele pesar al menos 8 kilogramos, y las versiones más grandes llegan a pesar entre 20 y 25 kilogramos.

¿Cómo funcionan?

Las celdas de carga se deforman por la carga (fuerza) que se les aplica, produciendo un cambio de tensión proporcional a la magnitud de la carga que la célula mide. Esta variación de tensión se amplifica y se convierte en una salida de fuerza. Esta relación entre el cambio de tensión y la fuerza es la base del proceso de calibración (un proceso realizado por el fabricante), mediante el cual se determina el cambio de tensión en cada celda a través de un rango de cargas.



Figura 1: Ejemplos de plataformas de fuerza vertical y triaxial y los 3 ejes de fuerza



Fuente: elaboración propia.

Triaxial force platforms	Plataformas de fuerza triaxial
Vertical axis force platform	Plataforma de fuerza de eje vertical

Las plataformas de fuerza utilizan varios tipos de celdas de carga –galgas extensométricas, celdas de carga de viga y transductores piezoeléctricos. La mayoría de las plataformas de fuerza disponibles utilizan galgas extensométricas (Imagen 1). Todas las plataformas de fuerza incluyen transductores que miden la fuerza de reacción vertical del suelo (vGRF). Sin embargo, las plataformas de fuerza triaxial también contienen sensores orientados para medir la fuerza en los ejes medio-lateral (x) y antero-posterior (y) (véase la imagen 1). Dado que el transductor de fuerza es uno de los componentes más costosos de la plataforma, los principales factores determinantes del costo de los sistemas de plataformas de fuerza son: el uso de sensores vGRF en lugar de triaxiales, las características de mayor sobrecarga y precisión de los transductores de fuerza utilizados, y el tamaño de las propias plataformas. Las plataformas triaxiales son sustancialmente más costosas que las plataformas de fuerza de eje vertical, que ahora son frecuentes en los entornos deportivos. En los últimos años, la disponibilidad de una serie de plataformas de fuerza vGRF más pequeñas y de menor precio (en comparación con los sistemas triaxiales) ha reducido uno de los principales obstáculos para su uso en entornos deportivos y clínicos.

Las plataformas de fuerza triaxiales se utilizaban tradicionalmente en los laboratorios universitarios de biomecánica y fisiología del ejercicio, a menudo empotradas en el suelo

de hormigón, para estudiar la manera de andar (caminar) y otros movimientos. La importancia de las plataformas triaxiales y la justificación del gasto adicional que suponen este tipo de equipos y los gastos asociados a su instalación en el suelo resultan evidentes en el análisis de las actividades horizontales, es decir, cuando el individuo camina, corre, esprinta o cambia de dirección sobre la plataforma. Las plataformas de fuerza permiten evaluar una gran variedad de movimientos y componentes del rendimiento deportivo, pero cabe destacar que las plataformas vGRF de un solo eje y las pruebas verticales son las que han constituido el núcleo de la evaluación y el seguimiento del rendimiento neuromuscular de los atletas en los institutos deportivos que cuentan con un historial considerable de uso de plataformas de fuerza (como los institutos del deporte inglés, australiano y canadiense y el Comité Olímpico de EE.UU.). Actualmente, las plataformas de fuerza vGRF de uno o dos ejes se encuentran no solo en los grandes institutos de medicina deportiva como Aspetar y la Clínica de Cirugía Deportiva, sino también en clínicas más pequeñas e incluso en gimnasios.

Unidad 1.1 Uso de las plataformas vGRF en el ámbito deportivo y clínico

Tanto en las Olimpiadas como en los deportes profesionales, las pruebas más comúnmente implementadas con plataformas vGRF son variaciones del salto vertical, como el salto con contramovimiento (CMJ), el salto en cuclillas (SJ), el salto en caída (DJ), el salto con contramovimiento con una sola pierna (SL-CMJ), y las pruebas de tirón isométricas de medio muslo, la sentadilla o las variaciones de la evaluación de la cadena posterior. La mayor parte de la bibliografía en torno al uso de plataformas de fuerza en atletas sanos y en rehabilitación se ha dedicado a la evaluación de la extremidad inferior; sin embargo, la evidencia y el uso de la extremidad superior dinámica e isométrica en el estudio y seguimiento de los atletas se ha ido acumulando en los últimos años. Esas evaluaciones isométricas y dinámicas son diagnósticos o rendimientos de fuerza o potencia que suelen aplicarse como parte de la pretemporada u otra serie de pruebas periódicas. En entornos en los que no se dispone de plataformas de fuerza, las pruebas o variaciones de las mismas se realizan generalmente utilizando otros equipos o dispositivos, es decir, plataformas de contacto o dispositivos ópticos, aunque, como se explica más adelante, éstos miden la altura del salto, pero no la evaluación de la cinética durante las actividades de salto-aterrizaje que las plataformas de fuerza sí permiten. La cinética se define como el estudio de las fuerzas o par de fuerzas (fuerzas de rotación) durante un movimiento o actividad. Las plataformas de fuerza miden la fuerza aplicada a lo largo del tiempo y, durante las pruebas isométricas (sin movimiento), informan variables de fuerza-tiempo como la fuerza, la tasa de fuerza y el impulso (fuerza * tiempo), mientras que durante las actividades de salto en superficie y otros movimientos brindan información adicional.



Los movimientos pueden describirse tanto por sus características cinemáticas como cinéticas. La cinemática describe las trayectorias del cuerpo y de las articulaciones individuales y sus propiedades como la velocidad y la aceleración, lo que contribuye a un análisis visual de un movimiento discreto (como una prueba de salto) o de una habilidad (como un lanzamiento). En evaluaciones dinámicas en plataformas de fuerza, además de las características fuerza-tiempo, se derivan la velocidad, la potencia y el desplazamiento del centro de masa del atleta, no de las articulaciones individuales, y se obtiene un análisis cinético completo, diferenciándolo del único resultado de rendimiento (altura de salto) obtenido con otros dispositivos.

Prueba de salto vs. prueba de salto con plataforma de fuerza

Los dispositivos ópticos y las plataformas de contacto pueden medir el tiempo de vuelo durante las pruebas de salto, a partir del cual se estima la altura de éste mediante el método de tiempo de vuelo. Es el resultado más frecuente en las pruebas de salto, tanto si se realizan en plataformas de fuerza o no. A simple vista, y para el atleta, la única diferencia entre realizar un salto con contramovimiento sobre una plataforma de contacto y sobre una plataforma de fuerza es la superficie que pisan. Para el médico, las diferencias son abismales. Al realizar un salto CMJ, SJ o SLJ sobre una plataforma de contacto, se mide una cosa: el tiempo de vuelo, y a partir de este valor se estima la altura de salto (y, en algunos casos, la potencia máxima, utilizando ecuaciones de predicción que incluyen la altura de salto y el peso corporal (Sayers et al., 1999) o la composición corporal (Gómez-Brutón et al., 2019; Güçlüöver & Güllü, 2020). Por el contrario, un sistema de plataforma de fuerza dual puede proporcionar más de 100 variables cinéticas (bilaterales, de miembros individuales y asimetrías), además de la altura de salto y la potencia máxima (que pueden determinarse con mayor precisión). No obstante, es importante que no solo el médico, sino también sus colegas comprendan que el beneficio adicional de realizar una prueba de salto en una plataforma de fuerza no es que ésta pueda mejorar la precisión de la medición de la altura del salto. La ventaja adicional es que proporciona, en una prueba sencilla y conocida por los atletas, tanto la altura del salto, un resultado reconocible del rendimiento asociado con la capacidad de sprint, aceleración y desaceleración (Harper et al. 2021, Loturco et al. 2015), el valor en algunos deportes o posiciones como indicador de rendimiento y habilidad, cierta capacidad para evaluar la respuesta aguda, residual y crónica de la competencia, el entrenamiento y la carga, y una gran cantidad de datos cinéticos derivados de la fuerza de reacción vertical del suelo (vGRF), relacionados con la magnitud, el tiempo, el índice de fuerza y de impulso, la velocidad, la potencia y el desplazamiento específicos de la fase.

Durante los últimos 15-20 años, se han acumulado pruebas de que los datos cinéticos obtenidos durante las fases de salto y caída pueden proporcionar información adicional sobre las cualidades neuromusculares del atleta más allá de la altura del salto por sí sola. Del mismo modo, en un contexto de monitorización regular, la altura del salto puede sugerir la recuperación de un atleta tras una competencia o entrenamiento agotador,



mientras que la cinética revela deficiencias (Cormack et al., 2008; Gathercole et al., 2015). Por el contrario, las respuestas positivas a la carga o a la rehabilitación pueden no ser evidentes o no expresarse mediante la altura del salto, pero sí en las variables cinéticas (Lonergan et al. 2022). Este potencial para identificar aspectos del estado del atleta y cambios en dicho estado que pueden no ser revelados por la altura del salto es el que aporta el valor añadido al equipo médico y de rendimiento y es la justificación fundamental para las partes interesadas a la hora de comprar e integrar la tecnología de las plataformas de fuerza.

La prueba de salto con plataformas de fuerza pasa de medir la altura del salto y sus correlaciones a evaluar la cinética de la parte inferior del cuerpo, lo que puede aportar información adicional sustancial sobre las cualidades del rendimiento neuromuscular de las extremidades inferiores.

Descripción de pruebas con plataformas de fuerza en el deporte

Básicamente, todas las variables cinéticas derivadas de las evaluaciones dinámicas e isométricas con la plataforma de fuerza pretenden caracterizar y cuantificar algún aspecto del rendimiento neuromuscular del deportista o sus "cualidades neuromusculares". Algunas de estas cualidades se solapan y están muy correlacionadas entre sí, y otras muestran una mayor independencia, lo que indica que representan diferentes aspectos de la función neuromuscular o musculotendinosa. Las cualidades representadas por las variables de salto pueden estar relacionadas con el rendimiento atlético, la susceptibilidad a las lesiones, la resiliencia o "robustez" (es decir, la capacidad para hacer frente a las exigencias de la competencia y la carga de entrenamiento); por lo tanto, contribuyen a la caracterización del rendimiento neuromuscular de los atletas y, potencialmente, al perfil de riesgo. Algunas de estas variables son bastante estables, mientras que otras son también muy sensibles a la carga y son, por lo tanto, indicadores útiles en una monitorización más frecuente destinada a caracterizar la fatiga aguda o residual. Por consiguiente, podemos clasificar a grandes rasgos las aplicaciones de estas evaluaciones en tres tipos:

Análisis de perfiles: se trata de pruebas aplicadas periódicamente, por ejemplo al principio y al final de la pretemporada o de la fase de preparación en los deportes olímpicos, en las que se examina el estado de un deportista en un momento dado, se lo describe en relación con los demás deportistas de su equipo o deporte y se identifican los indicadores neuromusculares clave de rendimiento (KPI). Repetir esta prueba al cabo de semanas o meses, tras un ciclo definido de entrenamiento o un periodo de competencia, tiene como objetivo examinar las adaptaciones crónicas o el desentrenamiento. La elaboración de perfiles incluye la evaluación tanto de las cualidades relacionadas con el rendimiento como de las relacionadas con el riesgo de lesiones. Para optimizar la



capacidad de estas pruebas con el fin de cuantificar las adaptaciones crónicas, deberían realizarse en condiciones que minimicen la influencia de la fatiga aguda o residual en el rendimiento, es decir, no evaluar 24-48 horas después de un partido o de un entrenamiento intenso.

Monitorización de la respuesta a la carga: esta aplicación denota una frecuencia de prueba, por ejemplo semanal, quincenal o más frecuente. En los deportes de equipo con temporadas largas y calendarios competitivos exigentes, o en los torneos de deportes individuales o de equipo, esta práctica suele aplicarse para caracterizar la evolución del estado neuromuscular e identificar los cambios anormales que podrían indicar adaptaciones negativas o una recuperación incompleta. Por lo general, estos datos de respuesta neuromuscular a la carga se tienen en cuenta junto con otros indicadores de esta respuesta para tomar decisiones sobre alteraciones a corto plazo de la carga de entrenamiento o estrategias de recuperación en atletas individuales. Una recuperación incompleta de la competencia y de la carga de entrenamiento puede acumularse con el tiempo y repercutir negativamente en el rendimiento competitivo. Por lo tanto, este tipo de evaluaciones se centran más en el seguimiento de los cambios individuales y suelen realizarse 2 días después de un partido o 1-2 días antes de otra competencia ("preparación"), en un momento específico que depende de si los datos se utilizan para influir en las modificaciones de la carga de entrenamiento o estrategias de recuperación o en el despliegue de los deportistas en la competencia.

La bibliografía asocia este enfoque de seguimiento frecuente con la detección de adaptaciones negativas, como la fatiga, pero también debe entenderse como una herramienta para identificar adaptaciones positivas subyacentes en el rendimiento neuromuscular, que pueden no manifestarse todavía en la mejora de otras medidas externas de rendimiento, como la altura del salto. Pueden ser el resultado de la exposición a la competencia y de una recuperación adecuada o de una intervención de acondicionamiento durante la pretemporada dirigida a aspectos específicos del rendimiento neuromuscular. La confirmación temprana de la eficacia con la que el estímulo produce estos efectos deseados es valiosa.

Rehabilitación/RTS: esta aplicación tiene tres componentes, analizados con más detalle en otro curso de este certificado:

- La utilización de datos de perfiles tomados cuando el deportista estaba sano, como datos de referencia utilizados para fundamentar las decisiones sobre la vuelta al deporte o la progresión de las fases durante la rehabilitación.
- Cuantificación de las tendencias crónicas en la rehabilitación—es decir, rendimiento neuromuscular bilateral global y en la extremidad lesionada y no lesionada.
- una monitorización más frecuente de la respuesta a la carga (al igual que la antes mencionada para el atleta sano) a fin de establecer una respuesta aguda y residual

a la carga como indicador de la capacidad del miembro lesionado para hacer frente a sesiones de entrenamiento específicas o a incrementos de la carga.

Por lo tanto, los enfoques de creación de perfiles y de respuesta a la carga que se describen más arriba para el atleta sano que compite, también se aplican al atleta que se rehabilita, pero, además, hay un mayor interés en las tendencias de las extremidades individuales (especialmente la extremidad lesionada) y las asimetrías, así como en los factores contextuales específicos de la lesión y del jugador que influyen en el diseño de los protocolos de pruebas y en la interpretación de los datos, lo que justifica un enfoque separado dentro del curso "Cinética y cinemática de la lesión y la rehabilitación".

Es importante que los profesionales sean conscientes de que, aunque a menudo el análisis cinético exhaustivo puede revelar información adicional sobre las aplicaciones anteriores respecto a la altura del salto u otras variables clásicas, esto no significa que siempre lo hagan: algunos atletas manifiestan una magnitud y dirección de respuesta (positiva o negativa) en la altura de salto similar a la que revelan las variables cinéticas. La altura del salto debe incluirse siempre en la elaboración de perfiles y el seguimiento de patrones, y no debe ignorarse por completo en favor de las variables cinéticas.

Figura 2: Algunas actividades dinámicas medidas con sistemas de plataforma de fuerza estándar o personalizado.



Estudios clínicos de la forma de caminar y las actividades cotidianas

Salidas en *sprint* y velocidad máxima

Salto y ejercicios balísticos

Fuente: elaboración propia.

Clinical studies of gait and daily activities	Estudios clínicos de la forma de caminar y las actividades cotidianas
---	---

Sprint starts and maximum velocity	Salidas en sprint y velocidad máxima
Jumps and ballistic exercises	Saltos y ejercicios balísticos

Además de las plataformas montadas en el suelo o empotradas, algunos institutos deportivos han invertido en plataformas personalizadas empotradas en bloques de salida para carreras de velocidad, montadas en máquinas de prensa de piernas (imagen 2) o en reposapiés de máquinas de remo para medir la producción de fuerza en posiciones específicas del deporte.

El uso de la tecnología en las plataformas de fuerza vGRF frente a las plataformas triaxiales y la biomecánica en medicina deportiva y entornos clínicos

Si bien las plataformas vGRF ya son comunes en los entornos deportivos, las plataformas de fuerza triaxial combinadas con la tecnología de captura de movimiento que permite la cinemática tridimensional, con algunas excepciones en los deportes profesionales y olímpicos, todavía se utilizan principalmente en los centros de investigación y medicina deportiva más importantes, como Aspetar (Doha, Qatar) y la Clínica de Cirugía Deportiva (Dublín, Irlanda), así como en laboratorios universitarios. La combinación de los datos cinemáticos de las cámaras de alta velocidad que registran los marcadores colocados en la ropa o el cuerpo del individuo (u otros dispositivos que proporcionan información cinemática) y los datos cinéticos de las plataformas de fuerza permite el análisis biomecánico completo de un movimiento en el rendimiento y la rehabilitación de lesiones se analiza con más detalle en otras secciones de este certificado

Los datos cinéticos de la plataforma de fuerza proporcionan la medición indirecta o fuerza externa producida por la contracción muscular que actúa sobre los tendones. Por lo tanto, en cualquier actividad que implique la producción de fuerza procedente de más de una articulación, el análisis cinético proporciona datos que representan la suma de la fuerza producida por dichas articulaciones, y la velocidad y el desplazamiento obtenidos representan la velocidad y el desplazamiento del centro de masa. El desplazamiento del centro de masa en un contramovimiento está muy correlacionado con la flexión de la rodilla, pero en realidad no la mide. Por lo tanto, los datos cinéticos no nos permiten cuantificar la contribución relativa de cada articulación a ese resultado y al movimiento en esas articulaciones. La ejecución del mismo movimiento con información cinemática y plataformas de fuerza triaxiales permite crear y rastrear una imagen tridimensional del esqueleto y, mediante un proceso denominado "dinámica inversa", los datos cinéticos de las plataformas de fuerza no sólo permiten calcular las fuerzas y potencias globales aplicadas en las plataformas, sino también calcular la fuerza y la potencia en cada articulación. Por ejemplo, un análisis biomecánico completo de un salto vertical incluiría la potencia de las articulaciones izquierda y derecha del tobillo, la rodilla y la cadera

durante todo el movimiento, así como los ángulos articulares es decir, flexión, abducción, entre otros y sus velocidades angulares. En teoría, un rendimiento total estable a lo largo del tiempo podría enmascarar mejoras en una articulación y un declive en otra, mientras que las mejoras en el rendimiento total, por ejemplo, tras una lesión en la articulación de la rodilla podrían deberse a una mejora en la compensación de la articulación de la cadera más que a un progreso en la rodilla.

Las evaluaciones biomecánicas completas se realizan de forma sistemática en atletas post-LCA periódicamente (es decir, 6, 9 y 12 meses después de la cirugía). Una evaluación de este tipo, que incluye varias pruebas de tipos de saltos o cambios de dirección, duraría unos 45 minutos, de los cuales entre 15 y 20 minutos se dedicarían a colocar marcadores. Por otra parte, el patrón de referencia en la evaluación del rendimiento humano combinaría este análisis biomecánico con la electromiografía (EMG) para estimar la activación relativa y la contribución de músculos específicos durante la actividad, además de los resultados de potencia conjunta proporcionados por los datos cinético-cinemáticos. En manos de expertos, esta información puede aportar datos adicionales sobre el estado y la evolución de un deportista durante la rehabilitación o el resultado de un programa de entrenamiento.

Cuestiones prácticas

Si bien la combinación de la tecnología de captura de movimiento en 3D y la plataforma de fuerza triaxial es muy costosa (150.00 euros), son otras limitaciones prácticas (en particular, los plazos de tiempo y la complejidad asociada a: 1) la preparación de un atleta para estas pruebas, 2) el procesamiento de datos, y 3) la interpretación de datos, es decir, la generación de información significativa y procesable sobre el atleta, lo que impide que este tipo de configuración se aplique sistemáticamente en entornos de deportes de equipo. Aunque los sistemas basados en unidades de medición inercial (IMU) sin marcadores reducen los plazos asociados a la preparación de una persona para someterla a pruebas con sistemas basados en marcadores (analizados en el módulo 3 de este curso), aún conllevan un gran consumo de tiempo de procesamiento y conocimientos especializados, debido al aumento sustancial de la información proporcionada por la cinemática 3D. Este factor incrementa no solo el tiempo de procesamiento, sino también el tiempo necesario para la interpretación y el feedback, que deberá ser proporcionado por un biomecánico o un profesional del deporte con experiencia especializada en este proceso. Los biomecánicos trabajan en los institutos nacionales del deporte, pero rara vez están presentes en los deportes de equipo. Por lo tanto, en las ligas profesionales, los deportes de equipos en particular: La Liga, el fútbol de la Premier, la NFL, la NBA y la MLB-los gastos considerables de un laboratorio de biomecánica no son la principal limitación para su uso. Por lo tanto, muy pocos equipos de estas ligas aplican sistemáticamente el análisis biomecánico, y los que lo hacen solo lo hacen periódicamente, por ejemplo, al comienzo de la temporada. Con frecuencia a este servicio lo ofrece un consultor externo.



Los profesionales que trabajan sin el equipo o los conocimientos técnicos necesarios deben ser conscientes de que, aunque la cinética proporciona gran cantidad de información sobre el estado y las respuestas del deportista, puede haber casos en los que resulte de gran valor informativo traer a un especialista de este tipo para evaluar a los jugadores, o bien trasladarlos a un centro que pueda proporcionar este servicio. Así, por ejemplo, puede estar justificado evaluar a un solo jugador a intervalos específicos durante su rehabilitación o recabar más detalles en un deportista sano sobre un aspecto clave del movimiento crítico para el rendimiento, sobre todo si este movimiento es complejo e implica la coordinación de múltiples articulaciones, como el lanzamiento en béisbol o el corte o cambio de dirección en deportes multidireccionales.

En otros cursos de este certificado se analizará el uso exclusivo de la cinemática o en combinación con la cinética en el atleta sano y lesionado. Por otra parte, la información de este certificado le proporcionará los conocimientos suficientes para recopilar e interpretar los datos cinéticos de la vGRF y las variables derivadas, incluso si no posee una formación en biomecánica, con el fin de elaborar perfiles y supervisar el estado del deportista y fundamentar la práctica.

De todos modos, de forma similar a lo descrito anteriormente, al pasar de las tecnologías de plataformas ópticas o de contacto que utilizan la altura del salto como dato de referencia a la obtención de la cinética de la vGRF a partir de la misma actividad, los datos adicionales obtenidos de la misma actividad con la cinemática proporcionarán datos adicionales. Estos datos aportan información adicional que *puede alterar o no* la interpretación de la información generada en el análisis cinético, e informar mejor la práctica. Ahora bien, conocer a fondo la gran cantidad de información que proporciona el análisis cinético de la vGRF de doble plataforma y su uso es un requisito previo para poder identificar qué información adicional puede obtenerse de la cinemática y comprender cuándo esa información es fundamental para la resolución de problemas, es decir, en qué momento debemos hacer hincapié en ese aspecto para un determinado atleta o para una cuestión más amplia relacionada con el rendimiento o las lesiones a nivel de equipo. Por lo tanto, las pruebas periódicas de la vGRF pueden complementarse con análisis regulares con cinemática 3D en atletas que presenten un perfil preocupante basado en la cinética de la vGRF.

Las ventajas asociadas a la accesibilidad in situ es decir, poco consumo de tiempo, procesamiento rápido de los datos y generación de informes significativos de los datos de la vGRF de un solo eje procedentes de evaluaciones de saltos e isométricas, es que pueden aplicarse con frecuencia, incluso en deportes de equipo.

Por otra parte, la creciente sofisticación del análisis de datos de la vGRF en el salto de contramovimiento puede proporcionar estimaciones indirectas de las contribuciones articulares o musculares o de las estrategias de coordinación interarticular a los profesionales que solo tienen acceso a las plataformas de fuerza. Estos cálculos se basan en investigaciones que han combinado datos de la vGRF y de captura de movimiento;



mediante la correlación de perfiles vGRF (datos de magnitud y temporización) con datos cinemáticos Y electromiográficos (EMG) para calcular la potencia angular específica de la articulación y determinar la contribución específica del músculo respectivamente durante las fases y subfases.

El acceso in situ e instantáneo a evaluaciones neuromusculares detalladas mediante el análisis cinético completo de la plataforma de fuerza vGRF ha revolucionado el conocimiento del profesional a la hora de formular preguntas sobre el estado neuromuscular de los deportistas y sobre sus respuestas al entrenamiento, la competencia o la rehabilitación. De este modo, el uso de la plataforma de fuerza como herramienta de diagnóstico de la fuerza y la potencia ya no se limita a la "elaboración de perfiles" de pretemporada y posttemporada (1-2 años), sino que se utiliza en la "monitorización de la respuesta neuromuscular a la carga" dentro de los microciclos y a lo largo de ellos. Por ello, en el fútbol profesional, el rugby y la NFL es habitual que se realicen pruebas dos o tres días después del partido, mientras que en otros casos se realizan dos veces por semana.

Unidad 1.2 Uso contemporáneo de plataformas de fuerza en el rendimiento y la medicina deportiva

El uso generalizado de la tecnología en las plataformas de fuerza en deportes profesionales como el fútbol, el baloncesto, el rugby y el béisbol es relativamente reciente (a partir de 2016). Por ejemplo, al inicio de la temporada 2015/2016, dos de los 20 equipos de la Premier League inglesa utilizaban plataformas de fuerza; más adelante, al inicio de la temporada 2019, más de 15 lo hacían. En la NBA, aproximadamente 4 equipos utilizaban plataformas de fuerza en 2015/2016, y en 2019 lo hacían más de 24 de 32. Este aumento exponencial no puede atribuirse principalmente a cambios en el hardware, ya que éste no ha evolucionado radicalmente. La aparición de plataformas de fuerza portátiles de un solo eje, relativamente económicas, con procesamiento instantáneo de datos de fuerza de reacción del suelo verticales, que proporcionan tanto resultados significativos en tiempo real, por ejemplo, un análisis exhaustivo de la fuerza, la potencia, el impulso y el desplazamiento de la velocidad y que pueden ser interpretados por diversos profesionales del deporte sin un nivel superior de formación biomecánica, ha convertido la tecnología de plataformas de fuerza en una de las herramientas más comunes para la evaluación de los atletas y en un elemento constante en los campos de entrenamiento de las ligas profesionales a nivel mundial. Por lo tanto, el elemento crítico en este paso del laboratorio al campo de entrenamiento ha sido un software que hace lo siguiente:

- Mejora el flujo de trabajo durante la realización de las pruebas, minimizando el tiempo de espera de los deportistas y maximizando el número de deportistas que pueden someterse a las mismas en un periodo de tiempo determinado, ya que las pruebas realizadas a los deportes de equipo suelen tener limitaciones de tiempo.



- Proporciona datos inmediatos. Para mejorar el compromiso de los deportistas, es fundamental obtener información inmediata sobre algunas métricas sencillas, ya que puede ser motivadora y mejorar el cumplimiento.
- Automatiza el análisis de datos (conversión de los datos sin procesar en métricas o variables de interés).

En la actualidad, en la mayoría de los entornos deportivos y clínicos, un científico del deporte, un entrenador de fuerza y acondicionamiento, un fisioterapeuta o terapeuta deportivo o un médico especialista en medicina deportiva realiza evaluaciones con plataformas de fuerza en el centro de entrenamiento del equipo. En muchos casos, se les exige que transmitan esa información a colegas y entrenadores en cuestión de minutos u horas después de completar las pruebas. El atleta también esperará un feedback inmediato de la prueba. Si se proporcionan datos claros y reconocibles, como la altura del salto en su contexto con respecto a sus rendimientos anteriores o al equipo en su conjunto, aumentará el interés de la mayoría de los atletas en realizar la prueba y la probabilidad de que se esfuercen al máximo para llevarla a cabo.

En cambio, los entornos que no proporcionan información de este tipo no suelen convencer a los deportistas, de modo que son menos los que participan. Por consiguiente, resulta más difícil comprender las evoluciones generales del equipo. Por otro lado, los que sí participan pueden no estar tan motivados como podrían, lo que reduce el valor de los datos ya que estas pruebas suelen tener como objetivo cuantificar la capacidad máxima del deportista en un momento determinado.

Por lo tanto, es probable que los sistemas de plataformas de fuerza que un profesional encuentre en los entornos deportivos y clínicos actuales sean sistemas contemporáneos con un software que incluya la detección y el análisis automatizados de "eventos".

¿Qué son los eventos?

En el contexto de las pruebas de salto e isométricas, los "eventos" hacen referencia a un punto específico dentro del movimiento o la contracción, como el inicio del movimiento, el inicio y el final de las fases, el despegue y el impacto en el salto, o el inicio de la contracción en una prueba isométrica. Es necesario identificar los eventos mediante un criterio objetivo durante el procesamiento y la conversión de la señal fuerza-tiempo en bruto en variables significativas vinculadas al movimiento o a las cualidades neuromusculares.

Sin embargo, si accede al sistema de una universidad local, es posible que no tenga acceso al software exclusivo que procesa y analiza automáticamente los datos en bruto. Si no se generan las variables cinéticas relevantes adecuadas, tendrá que exportar los datos brutos y procesarlos con una herramienta como Matlab o Excel. Esta situación dista mucho de ser la ideal en el entorno vertiginoso de los deportes de alto rendimiento, por



lo que es preferible el procesamiento instantáneo que ofrecen los sistemas patentados. Sin embargo, si las limitaciones presupuestarias lo impiden, existen algunos recursos interesantes que proporcionan una guía paso a paso y recursos para hacerlo en Matlab o Excel si no se dispone del software de autoanálisis (Chavda et al. 2020).

Ventajas y desventajas del procesamiento automatizado

Los sistemas de software que calculan automáticamente las métricas ahorran mucho tiempo. Antes, había que introducir los datos en bruto de fuerza-tiempo en una hoja de cálculo preparada para convertir estos datos en variables de interés. No obstante, una consecuencia negativa de este nuevo sistema es la pérdida de la necesidad de entender cómo se lleva a cabo el procesamiento y, con ello, la capacidad de resolver problemas si los resultados son erróneos. Es importante saber que todas las variables derivadas de la curva fuerza-tiempo dependen de algoritmos y umbrales predeterminados para la detección de eventos clave, como el inicio del movimiento, el despegue y el impacto en el caso del salto, así como que los supuestos en los que se basan pueden ser vulnerados sin que el profesional lo sepa, a menos que reconozca que los valores generados son erróneos. Por consiguiente, aunque se tenga acceso a sistemas de cálculo automático, para identificar y resolver los datos erróneos es fundamental que el profesional disponga de:

1. Conocimiento práctico de cómo se obtienen las cifras: los pasos que hay que seguir para pasar de una fuerza-tiempo en bruto a la generación de métricas.
2. Cierta noción de valores esperados para variables clave que ayuda a identificar errores de los algoritmos en la detección de fases o cálculos.
3. Capacidad para evaluar cualitativamente (visualmente) las curvas fuerza-tiempo, velocidad-tiempo, potencia-tiempo y desplazamiento-tiempo e identificar las anomalías que suelen ser causa de datos erróneos.

También es importante reconocer que no existe un enfoque "perfecto" para la detección de eventos, y algunos enfoques que funcionan bien en una situación de laboratorio o en un entorno "limpio" pueden ser menos apropiados en situaciones menos controladas. Del mismo modo, los umbrales de detección que funcionan bien dentro del rango "normal" de pesos corporales, pueden plantear problemas con atletas de peso muy elevado o muy reducido. Algunos sistemas de cálculo automático permiten elegir entre varias opciones para estos umbrales de detección, mientras que si utiliza otros medios como Excel o Matlab para procesar los datos, tendrá que decidir cuál utilizar (los métodos más utilizados para el CMJ se analizan en el módulo 2 de este curso). Asimismo, los alumnos que se inician en el uso de plataformas de fuerza pueden sorprenderse de que la métrica más importante y común de todas las métricas de salto —altura de salto— se calcule (estime) normalmente de dos formas diferentes: el método del tiempo de vuelo y el método o "teorema" del impulso-momento, ambos presentan fallos y pueden conducir a resultados muy diferentes. Antes de abordar este tema, es importante comprender el proceso por el cual se obtienen diversos resultados de la plataforma de fuerza, es decir,



lo que la plataforma de fuerza mide realmente, concretamente: el registro fuerza-tiempo de los datos en bruto.

Si bien los pasos para calcular las variables pueden parecer abstractos y académicos para el profesional que simplemente desea determinar el estado de sus deportistas y las posibles adaptaciones positivas y negativas, esta información es importante por las siguientes razones:

1. Como ya se ha señalado, proporciona una visión de los supuestos sobre los que se calculan las variables y se detectan los eventos, y por lo tanto le ayudará a comprender y posiblemente resolver o corregir las pruebas que un software patentado ha calculado mal, identificado mal o no ha identificado en absoluto.
2. Además, desarrolla su capacidad para consultar índices o variables "de caja negra" y para evaluar y comprender de forma crítica las nuevas variables que aparecen en la bibliografía o que se añaden al software.

Los datos de fuerza-tiempo se miden. Todos los demás datos son derivados

Este proceso, mediante el cual la vGRF medida con la plataforma de fuerza se convierte en las variables utilizadas en la elaboración de perfiles o el seguimiento de atletas, se basa en las tres leyes de movimiento de Newton (véase más adelante). Independientemente de que esto esté automatizado en el software del sistema de la plataforma de fuerza o de que usted realice estos cálculos en una hoja de cálculo o script a medida, es fundamental tener un conocimiento básico de estas leyes dentro del contexto del movimiento humano. Esta es la base para comprender cómo, a partir de la curva fuerza-tiempo en bruto obtenida por las plataformas de fuerza, se derivan los demás perfiles (velocidad-tiempo, potencia-tiempo, desplazamiento-tiempo) y, en última instancia, las variables que utilizará. Es importante tener claro que sólo se *miden* los datos fuerza-tiempo, mientras que el resto de las características físicas se *derivan* de estos datos brutos, y no se miden directamente. Este método es similar a la estimación del pliegue cutáneo de la grasa corporal total, en la que los calibradores miden la grasa subcutánea (equivalente a las plataformas de fuerza que miden la fuerza-tiempo durante un movimiento), pero la grasa en otras zonas y la grasa corporal total se estiman de acuerdo con las asociaciones establecidas entre la grasa subcutánea y la grasa en otras zonas.

En vez de calcular la grasa corporal total a partir de la grasa subcutánea, una asociación que varía en función de la edad, el género y el origen étnico, la obtención de perfiles de velocidad, potencia y tiempo de desplazamiento a partir de la fuerza se basa en leyes físicas que no varían según el atleta. No obstante, dado que estos cálculos se basan en algunos conceptos simples, la validez y la precisión de los resultados dependen de la capacidad del profesional para garantizar que se cumplan. Estos factores deben tenerse en cuenta para garantizar la validez de los valores, es decir, que representen fielmente el



valor real de la variable y, por lo tanto, tengan una relación directa con la precisión de la prueba. La atención a este aspecto también mejorará la fiabilidad (el grado en que los valores son repetibles en las mismas condiciones y con el mismo estado del deportista), pero maximizar la fiabilidad también depende de otros factores que se tratan a continuación y en el módulo 2. Aquí solo se describen los factores que influyen en la validez y la precisión de la medición de las variables.

Estos factores no deberían preocuparle si ha estado realizando pruebas de salto con una plataforma de contacto, un dispositivo óptico o una aplicación móvil. A este respecto, existe un "costo" adicional asociado al "beneficio" obtenido a partir de la gran cantidad de información detallada sobre el estado del deportista que se obtiene al medir la misma actividad utilizando una tecnología de plataforma de fuerza de alta sensibilidad. Sin embargo, el "precio" que conlleva este caudal de datos es la necesidad de prestar mucha más atención a la aplicación de los protocolos que cuando se realiza la misma prueba en un aparato que solo mide la altura del salto/tiempo de contacto. Por ejemplo, al realizar una prueba de salto con estos aparatos, no habría sido necesario que el atleta estuviera quieto durante 1 o 2 segundos antes del salto para obtener un peso exacto, y no habría importado si se balanceaba de un lado a otro antes de saltar. Estos elementos no eran importantes porque el peso no se mide con estos aparatos. Las plataformas de fuerza bajo los pies se convierten en aspectos críticos del protocolo de medición de saltos.

Aunque existe un gran interés en determinar la fiabilidad del hardware, el software y las variables, es fundamental comprender que la forma en que el profesional ejecuta un protocolo de prueba tiene una gran influencia sobre la validez, la precisión y la fiabilidad de los datos. Por esta razón, se utiliza la cursiva más arriba cuando se afirma que realizar un salto sobre una plataforma de fuerza proporciona "una medida potencialmente más precisa de la altura del salto". El protocolo utilizado, las instrucciones que usted da, la comprensión y el cumplimiento de esas instrucciones por parte del deportista, y su capacidad para detectar y corregir en tiempo real los errores en el cumplimiento de dichas instrucciones pueden ser el factor determinante más importante de estos tres aspectos de la medición. La regularidad o fiabilidad que se logre en el entorno afecta directamente a la capacidad de detectar una respuesta o adaptación biológica significativa ("señal") y de distinguirla de las variaciones aleatorias en la forma en que se ha establecido la prueba ("ruido").

Las principales consideraciones generales en las pruebas con plataformas de fuerza y los enfoques de estas evaluaciones que maximizan el potencial de recopilación de datos válidos y "limpios" se detallan en varias secciones de este módulo, y las específicas relacionadas con cada prueba en sus respectivos módulos. En primer lugar, antes de desarrollar un conocimiento más amplio del uso de la plataforma de fuerza, es útil comprender cómo se deriva la información del CMJ, ya que empezamos a desarrollar una comprensión del proceso de generación de información a partir de los datos de fuerza-tiempo sobre el estado del atleta.



Fundamentos de la fuerza

En primer lugar, consideremos las leyes de movimiento de Newton en las que se basan estos cálculos.

- Primera ley de movimiento

Si ningún tipo de fuerza actúa sobre un objeto, éste permanecerá en reposo o a velocidad constante; es decir, sin fuerza, no se producirá ningún cambio en el movimiento.

- Segunda ley

La magnitud de la aceleración de un objeto (índice de cambio de velocidad) está directamente relacionada con las fuerzas que se le aplican de forma proporcional, como puede verse en la ecuación fuerza = masa x aceleración. Si se reordena, con esta ecuación podemos calcular la aceleración con una medida de fuerza (aplicada a la plataforma) y masa (el peso corporal del atleta). Al comienzo de un salto, si el atleta está parado, la fuerza medida es igual a la masa corporal del atleta. No obstante, cuando empiezan a aplicar fuerza o reducen su masa efectiva a medida que bajan su centro de masa al descender en el contramovimiento, la vGRF cambiará y estará por encima o por debajo del peso corporal (como en una báscula de baño el movimiento cambia tu peso -tu peso no cambia, pero sí tu centro de masa y, por lo tanto, tu masa efectiva (peso corporal x gravedad). Cuando la fuerza aplicada en las plataformas disminuye por debajo del peso corporal, también observamos una aceleración negativa.

- Tercera ley

Cuando se ejerce una fuerza sobre un objeto, éste ejerce una fuerza igual y de sentido opuesto a la fuerza original. En esto se basa la medición de la fuerza de reacción vertical al suelo de una plataforma de fuerza, que refleja la fuerza aplicada por el atleta: al aplicar fuerza al suelo, se mide la fuerza reactiva (fuerza de reacción del suelo) equivalente en la dirección opuesta.

Cómo pasar de la fuerza-tiempo en bruto a la velocidad, la potencia, el desplazamiento y el impulso en un CMJ

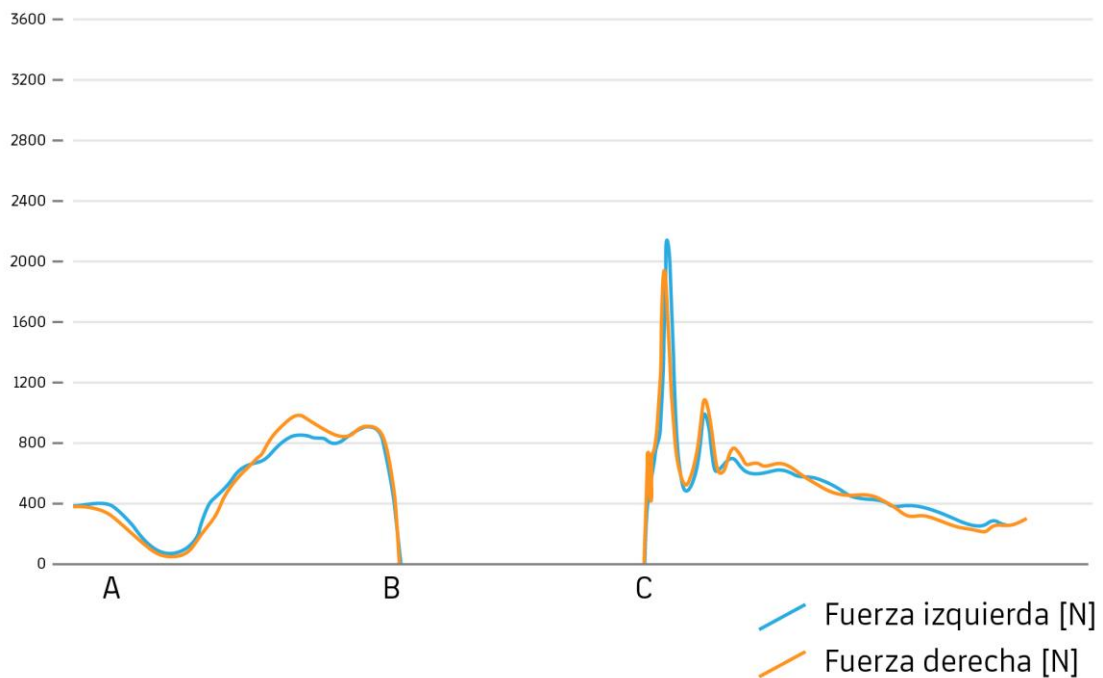
Las imágenes 3 y 4 muestran el perfil cinético (fuerza) de un salto con contramovimiento en un par de plataformas de fuerza de eje vertical en las que los datos de fuerza de cada plataforma (panel izquierdo) se suman para generar una curva fuerza-tiempo vertical total (panel derecho). Si se utiliza una única plataforma, los datos brutos aparecerán en el panel derecho. En cualquier caso, durante un CMJ con ambas piernas realizado en plataformas duales, es la fuerza total (izquierda + derecha) la que se utiliza en el procesamiento posterior para obtener la velocidad, la potencia y el desplazamiento, ya que éstos dependen de tener la masa total del sistema en contacto con las plataformas e

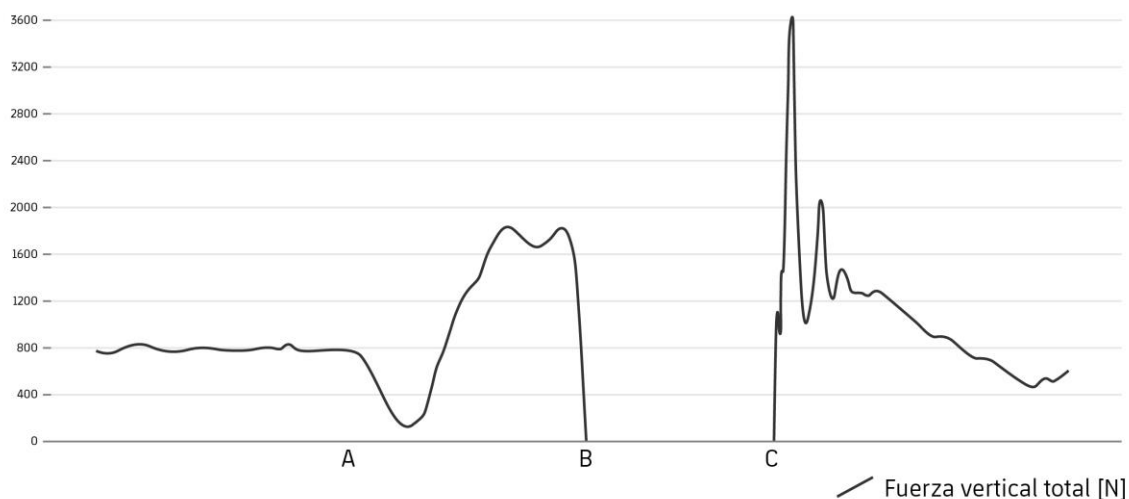


introducida en los cálculos. Esto significa que durante un CMJ con ambas piernas en plataformas de doble fuerza, se generan curvas de velocidad, potencia y desplazamiento para el centro de masa, pero no para las extremidades individuales. Como se observa en la imagen 3a, durante un salto bilateral en plataformas de doble fuerza, se obtienen las fuerzas izquierda y derecha y se combinan para crear un único trazo de la vGRF (imagen 3b). Esto permite evaluar simultáneamente las variables bilaterales totales y los resultados obtenidos en la izquierda y la derecha, así como calcular las asimetrías de fuerza e impulso entre las extremidades.

Figura 3: Fuerza de reacción al suelo vertical total, izquierda y derecha.

3 A: Fuerza de reacción al suelo izquierda y derecha. 3 B: Fuerza de reacción vertical total sobre el suelo





A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue; C: Aterrizaje

Fuente: elaboración propia.

Left force	Fuerza izquierda
Right force	Fuerza derecha
Total vertical force	Fuerza vertical total

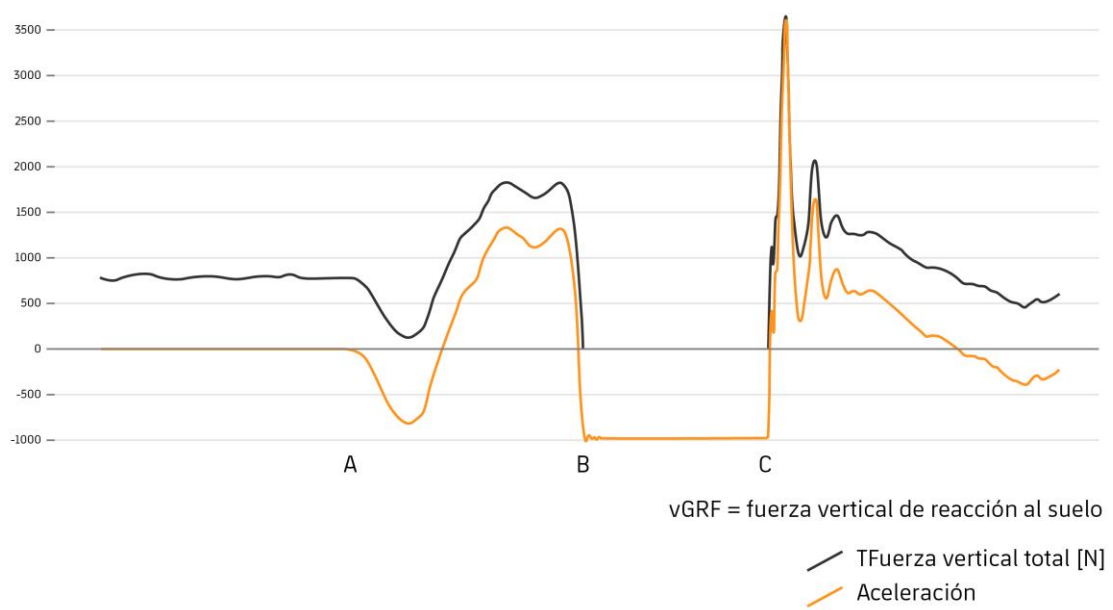
En base a las leyes de movimiento de Newton, se calculan, en un proceso escalonado, el perfil fuerza-tiempo vertical total, el perfil velocidad-tiempo, el perfil potencia-tiempo y el perfil desplazamiento-tiempo, y a partir de ellos se obtienen las variables utilizadas en la prueba del atleta. Obsérvese que el primer paso consiste en calcular el tiempo de aceleración reordenando la segunda ley de movimiento de Newton ($\text{fuerza} = \text{masa} \cdot \text{aceleración}$) y que la masa es el peso corporal del atleta. Esto significa que los errores en la medición del peso corporal se arrastran a través del proceso escalonado y los cálculos posteriores, como la velocidad y la potencia, con la precisión del desplazamiento, se ven especialmente afectados (a continuación se explica con más detalle).

El peso corporal inexacto es quizá la causa más común de error en las pruebas de salto con plataforma de fuerza que se aplican en contextos deportivos en los que el tiempo apremia. Los aspectos específicos de la adquisición de un valor exacto de peso corporal se discuten más adelante.

La imagen 5 muestra la curva de aceleración calculada a partir de la fuerza-tiempo y mide el peso corporal. Obsérvese que, aunque es necesario calcular el perfil de aceleración-tiempo como parte del procesamiento de datos de fuerza-tiempo, rara vez se visualiza en las evaluaciones de saltos o se informa de él como variable, ya que, como puede verse, es paralelo al perfil de fuerza.



Figura 4: La vGRF y el perfil de aceleración durante un despegue y aterrizaje de un CMJ



A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue; C: Aterrizaje

Fuente: elaboración propia.

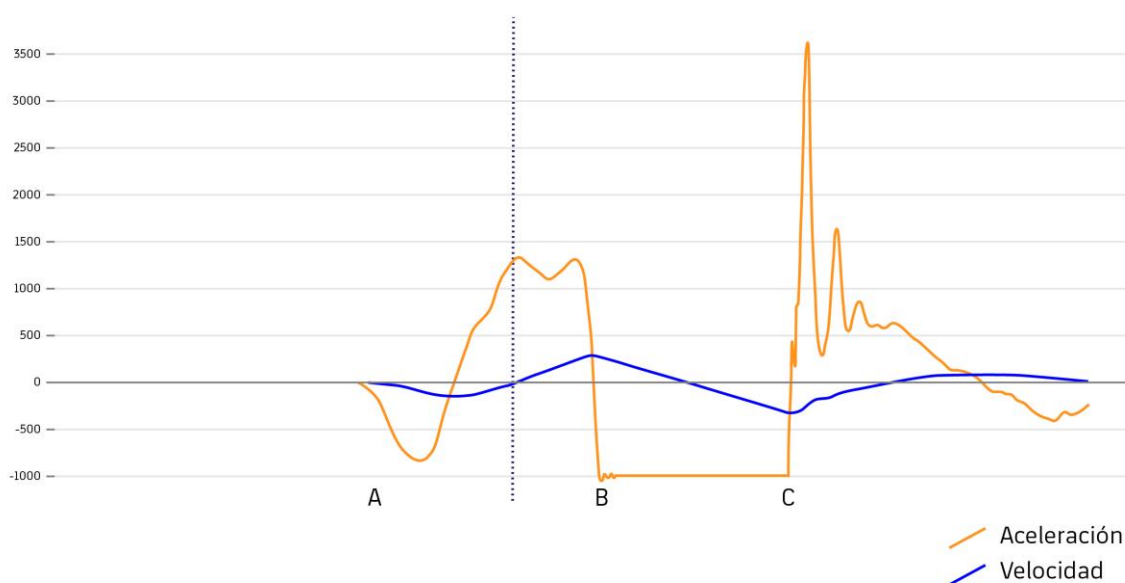
vGRF = vertical ground reaction force	vGRF = fuerza vertical de reacción al suelo
Acceleration	Aceleración

Total vertical force	Fuerza vertical total
----------------------	-----------------------

El perfil velocidad-tiempo

Se obtiene a partir del perfil aceleración-tiempo, por el que la aceleración se integra en la velocidad con respecto al tiempo. La velocidad también es igual a la suma del impulso resultante dividido por la masa en cualquier punto temporal.

Figura 5: Los perfiles de aceleración y velocidad durante un despegue y aterrizaje en un CMJ.



A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue; C:Aterrizaje

La línea vertical discontinua indica una velocidad cero al final de la fase descendente ("excéntrica")/comienzo de la fase ascendente ("concéntrica") del movimiento. Nótese que entre el inicio del movimiento y el final de la fase descendente, y en el aterrizaje la velocidad es negativa.

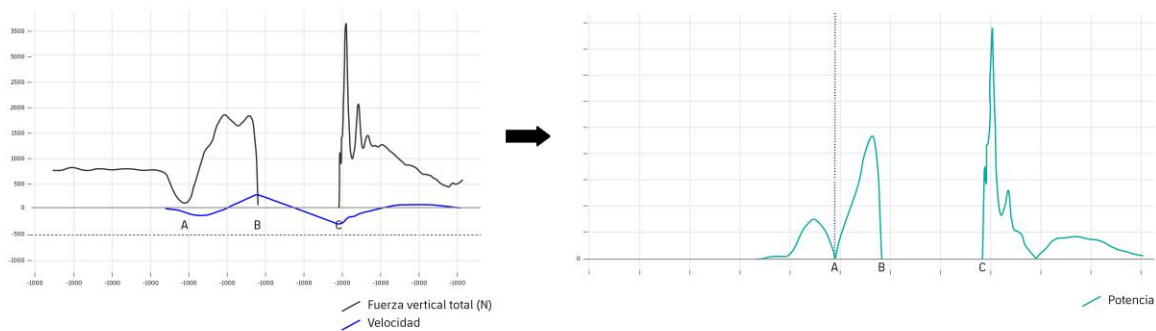
Fuente: elaboración propia.

Acceleration	Aceleración
Velocity	Velocidad

El perfil potencia-tiempo

El perfil potencia-tiempo (véase la imagen 6) es el producto de la fuerza y la velocidad en cada punto temporal. El pico de potencia concéntrica, la mayor potencia instantánea (es decir, en un solo punto), es la segunda variable más común en las pruebas de salto después de la altura del salto. Existen otras expresiones para referirnos a la potencia, como la "potencia excéntrica máxima y media" y el "índice de desarrollo de la potencia concéntrica", de las que se informa con menos frecuencia, pero que también se han identificado como relevantes para el seguimiento y la elaboración de perfiles (Cormie et al. 2009; Cormie et al., 2010; Lonergan et al, 2022).

Figura 6: El producto de la vGRF y el perfil de velocidad durante un despegue y aterrizaje de un CMJ genera el perfil de potencia.



A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue; C: Aterrizaje Línea vertical discontinua negra = velocidad cero (fin de la fase descendente ("excéntrica")/comienzo de la fase ascendente ("concéntrica").

Nótese que en 6B (panel derecho) el perfil de potencia durante la fase descendente ("excéntrica") es en realidad negativo, pero en la imagen se muestra como un valor positivo - esto es a efectos de visualización.

Fuente: elaboración propia.

Total vertical force (N)	Fuerza vertical total (N)
Velocity	Velocidad



Power	Potencia
-------	----------

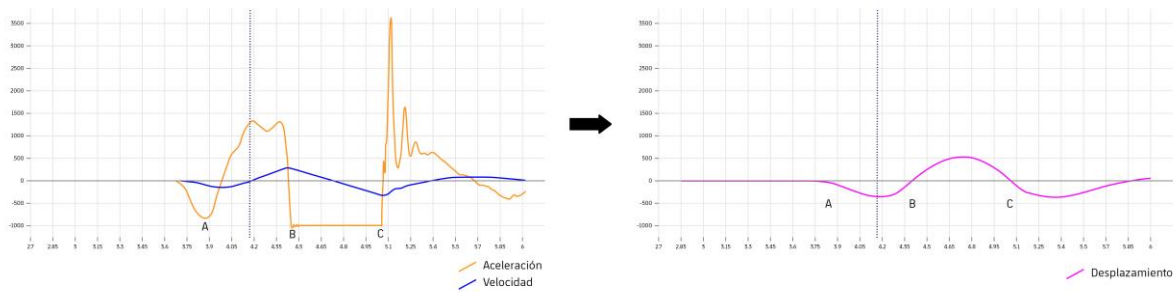
El perfil desplazamiento-tiempo

El perfil de desplazamiento-tiempo representa el desplazamiento o la posición vertical del centro de masa del atleta que salta, en el que la posición fija se considera cero y los valores negativos representan la fase de descenso o fase descendente del salto con contramovimiento. El perfil desplazamiento-tiempo se obtiene mediante la integración numérica del perfil velocidad-tiempo -o la doble integración del perfil vGRF-tiempo según esta ecuación:

$$\text{desplazamiento} = \text{velocidad} * \text{tiempo} + (0.5) * \text{aceleración} * \text{tiempo}^2$$

Figura 7: El perfil desplazamiento-tiempo obtenido a partir de los perfiles aceleración y velocidad-tiempo

7 A: Aceleración y perfil velocidad-tiempo 7 B: El perfil desplazamiento-tiempo



A: Inicio del movimiento (fase descendente); B:Despegue; C:Aterrizaje Línea negra discontinua = velocidad cero (alineada con el desplazamiento negativo máximo al final de la fase descendente).

Fuente: elaboración propia.

Displacement	Desplazamiento
Velocity	Velocidad

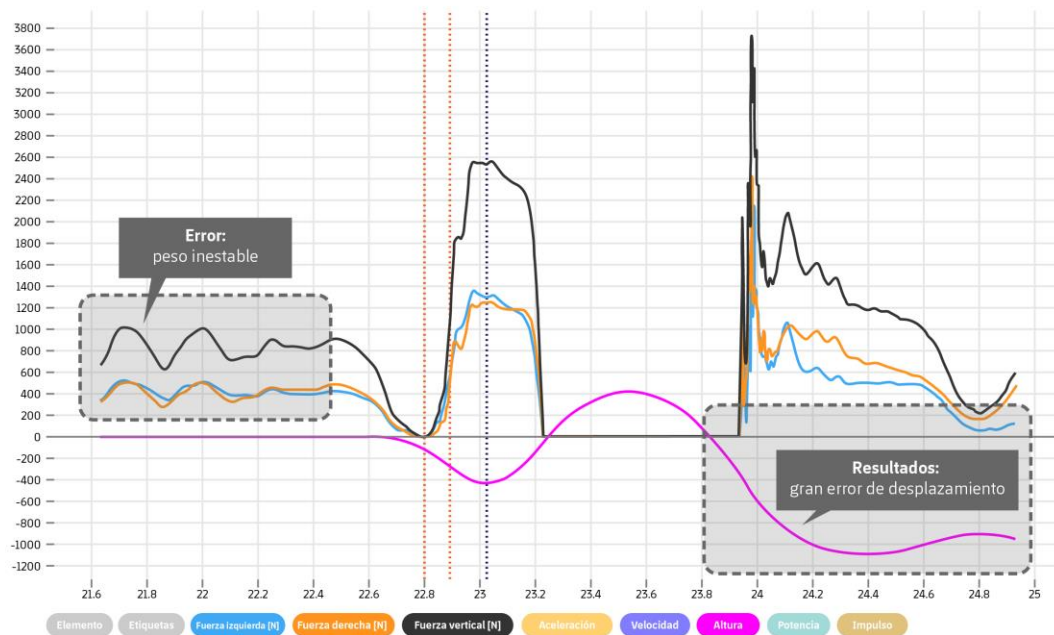


acceleration

aceleración

Como se ha mencionado anteriormente, el desplazamiento es particularmente susceptible a errores derivados de una medición inexacta del peso corporal y, debido a las multiplicaciones dentro de esta ecuación, el error acumulado se magnifica en este paso (Vanrenterghem, 2001) por lo que la curva desplazamiento-tiempo es la curva más afectada por los errores. Si los errores son grandes, se manifestarán como un error de desplazamiento obvio y grande, que se puede identificar fácilmente inspeccionando la curva de desplazamiento (véase la imagen 9 como ejemplo). Por el contrario, la imagen 10 muestra los eventos clave durante un salto-aterrizaje con contramovimiento en una curva de desplazamiento "buena" (definida a simple vista como aquella en la que el desplazamiento del centro de masa en el despegue es ligeramente superior a cero), que representa el centro de masa adicional generado por la flexión de la planta del pie (despegue sobre las puntas de los pies), mientras que la posición de partida es con los pies en posición plana. Hay un "descentramiento" similar en el aterrizaje. Cuando el atleta vuelve a la posición inicial tras la flexión en el aterrizaje, el desplazamiento vuelve a cero. Esto contrasta con el perfil mostrado en la imagen 9.

Figura 8: CMJ con gran error de desplazamiento debido a una medición inexacta del peso corporal



Fuente: elaboración propia.



Error: unstable weighing	Error: peso inestable
Results: large displacement error	Resultados: gran error de desplazamiento
Legend	Elemento
Labels	Etiquetas
Left force	Fuerza izquierda
Right force	Fuerza derecha
Vertical force	Fuerza vertical
Acceleration	Aceleración
Velocity	Velocidad
Heigh	Altura
Power	Potencia
Impulse	Impulso

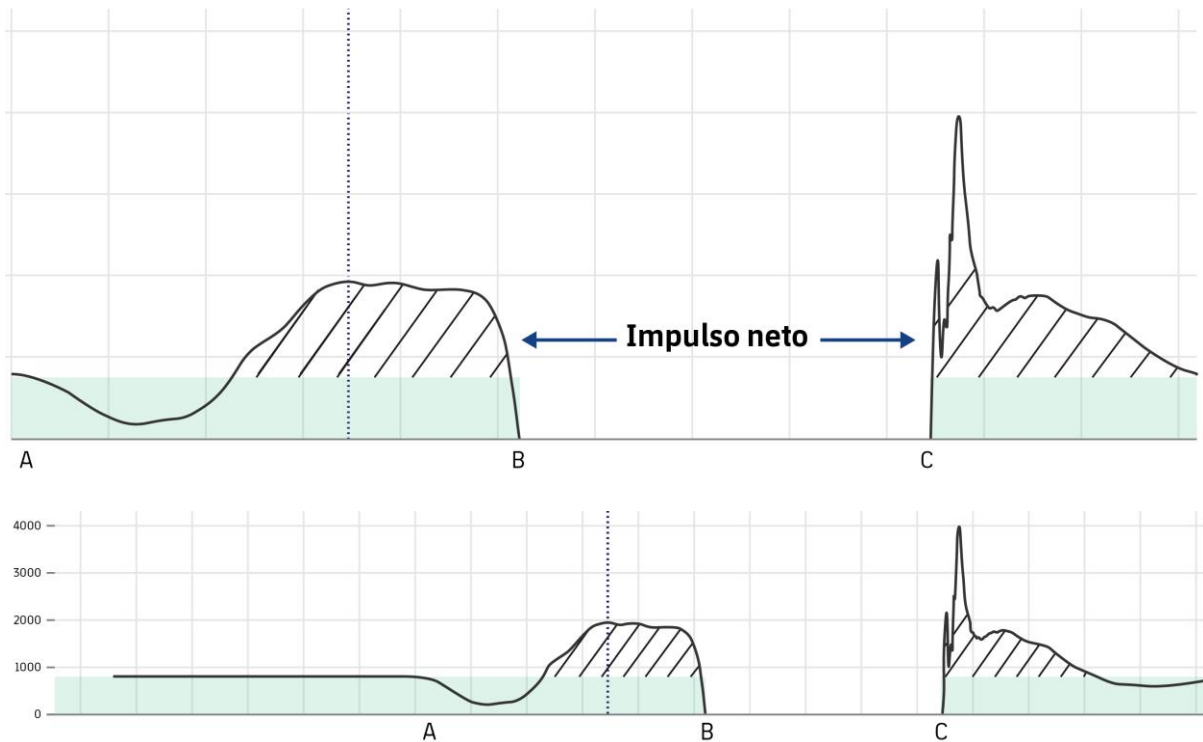
Impulso

Además de la generación de curvas de velocidad, potencia y desplazamiento de las que se derivan muchas variables, también se calcula el rendimiento mecánico; impulso—el producto de la fuerza y el tiempo (fuerza * tiempo) que representa la fuerza total producida en un periodo de tiempo o el área bajo la curva de fuerza—(véanse las zonas



sombreadas de la imagen 9). La imagen 9 muestra la fuerza completa, la velocidad, la potencia, la curva desplazamiento-tiempo y el impulso neto a partir de los cuales se obtienen muchas de las variables utilizadas y que pueden analizarse individualmente - comparando atletas o grupos de atletas o individuos a lo largo del tiempo-.

Figura 9: Perfil fuerza-tiempo e impulso neto del salto con contramovimiento



Fuente: elaboración propia.

A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue; C: Aterrizaje Línea vertical discontinua negra = velocidad cero (fin de la fase descendente ("excéntrica")/comienzo de la fase ascendente ("concéntrica").

Net impulse	Impulso neto
-------------	--------------

El impulso representa una acumulación a lo largo de un periodo de tiempo, una fase o una subfase específicos, en lugar de una curva o un perfil. Dado que la altura del salto está directamente relacionada con la fuerza resultante ejercida sobre el centro de masa durante la fase ascendente de un salto (SJ, CMJ o DJ), el impulso concéntrico neto (impulso por encima del que se debe a la fuerza generada por el peso corporal del atleta) es el principal determinante de la altura del salto (véase la imagen siguiente).

Las ecuaciones que permiten estimar la potencia pico concéntrica a partir de la altura del salto y la masa corporal o composición corporal son útiles cuando no se dispone de plataformas de fuerza. No obstante, pueden haber dado lugar a la creencia errónea de que la altura del salto viene determinada por la potencia máxima y que ambas pueden utilizarse indistintamente. Si bien la altura del salto está estrechamente correlacionada con la potencia media y máxima, Linthorne (2021) destaca que la fuerza de la correlación aumenta artificialmente debido a la correlación casi perfecta entre la altura del salto y la velocidad a la potencia máxima y la correlación entre la velocidad a la potencia máxima y la velocidad en el despegue, la cual entra en la ecuación impulso-momento para estimar la altura del salto (Linthorne, 2021).

Los perfiles generados durante otras pruebas dinámicas se analizan en otros módulos. Debido a que en las pruebas isométricas no hay movimiento, no se generan curvas de velocidad, potencia ni desplazamiento; por lo tanto, solo consideramos la curva fuerza-tiempo, a partir de la cual se calculan las variables fuerza, velocidad de evolución de la fuerza e impulso, así como el tiempo potencial para alcanzar un determinado nivel de fuerza (véase la imagen 10).

Figura 10: Ejemplo de curva fuerza-tiempo isométrica con componentes que muestran los eventos clave.



Fuente: elaboración propia.

Force	Fuerza
Time	Tiempo
Peak force	Fuerza máxima



Start of maximal contraction	Inicio de la contracción máxima
Relaxation	Relajación
Potential area for measurement of rate of force development	Área potencial para la medición de la velocidad de evolución de la fuerza

La medición precisa del peso corporal es fundamental para un análisis cinético válido y preciso, y sustenta la fiabilidad de una serie de variables de interés.

Si bien el peso corporal o el peso del segmento pueden ser de interés en las pruebas isométricas para expresar la fuerza en relación con el tamaño, no son fundamentales para la determinación precisa y válida de otras variables como lo son en las pruebas de salto. En las pruebas de salto, la determinación precisa del peso corporal afecta a la exactitud de las curvas de velocidad, potencia y, sobre todo, de desplazamiento-tiempo y a las variables derivadas de ellas. Esto también puede afectar a la identificación del final de la fase excéntrica o comienzo de la concéntrica, ya que normalmente se determina justo antes o justo después de la velocidad cero/desplazamiento negativo máximo, respectivamente. Por lo tanto, es importante conocer las causas típicas de los errores de peso corporal y estar atentos y centrados en minimizar estos errores durante las pruebas. Algunas de ellas son:

- *Ajuste a cero*

Se recomienda ajustar a cero las plataformas en la mayoría de los sistemas de hardware/software antes de realizarles las pruebas a cada atleta. Este proceso recalibra los sensores sin aplicar ninguna carga a la superficie de la plataforma y, por ende, a los propios sensores. Durante la puesta a cero, que suele durar entre 1 y 2 segundos, además de no aplicarse ninguna carga directamente sobre las plataformas, el profesional debe procurar que no haya pisadas fuertes ni vibraciones en la zona que rodea las plataformas, sobre todo si éstas no están sobre un suelo de hormigón. En un gimnasio, las plataformas pueden detectar la caída de objetos pesados, incluso a metros de distancia, lo que anularía el proceso de puesta a cero. Tenga en cuenta que los objetos pesados que caen durante un registro pueden crear picos de fuerza en el registro de una prueba de salto o isométrica, lo cual puede dar lugar a una falsa detección de eventos como el aterrizaje (si este impacto se produce durante el vuelo) o un falso pico de fuerza durante una prueba de salto o isométrica.

- *Calibración del sensor*



La precisión y la calibración de los transductores de fuerza pueden afectar a la medición del peso corporal de dos maneras. En primer lugar, aunque los sensores de mayor calidad pueden ser ligeramente más precisos que los sensores más económicos (como los integrados en un hardware más barato), la diferencia en la calidad de los sensores tendrá una mayor influencia con el paso del tiempo. En esencia, un sensor de menor calidad y menor capacidad de sobrecarga tiene más probabilidades de desviarse de la calibración con el tiempo a medida que una carga determinada se acerca a la capacidad máxima; el grado de deterioro del sensor y de la calibración depende del perfil de uso del sistema (más concretamente, del tipo de actividades que se realizan en ellos). Los saltos provocan cargas en los sensores que superan ampliamente la exposición del sistema en las pruebas isométricas, debido principalmente al impacto en el aterrizaje. Por lo tanto, la frecuencia de recalibración o la posibilidad de que se produzcan daños en los sensores depende de la interacción entre el perfil de uso y la calidad y capacidad de sobrecarga de los sensores. La mayoría de los sistemas de plataformas de fuerza deben ser recalibrados por los fabricantes; verificar si la medida de fuerza refleja la carga real, es decir, comprobar si sigue estando calibrada. Ésta es una tarea que puede y debe realizarse periódicamente con una frecuencia determinada por los factores descritos. No obstante, la mayoría de los sistemas no permiten que el usuario los recalibre.

A continuación, describimos algunos aspectos del protocolo, el entorno y las instrucciones que optimizan la medición precisa del peso corporal.

- *Permanecer de pie e inmóvil durante la medición del peso corporal*

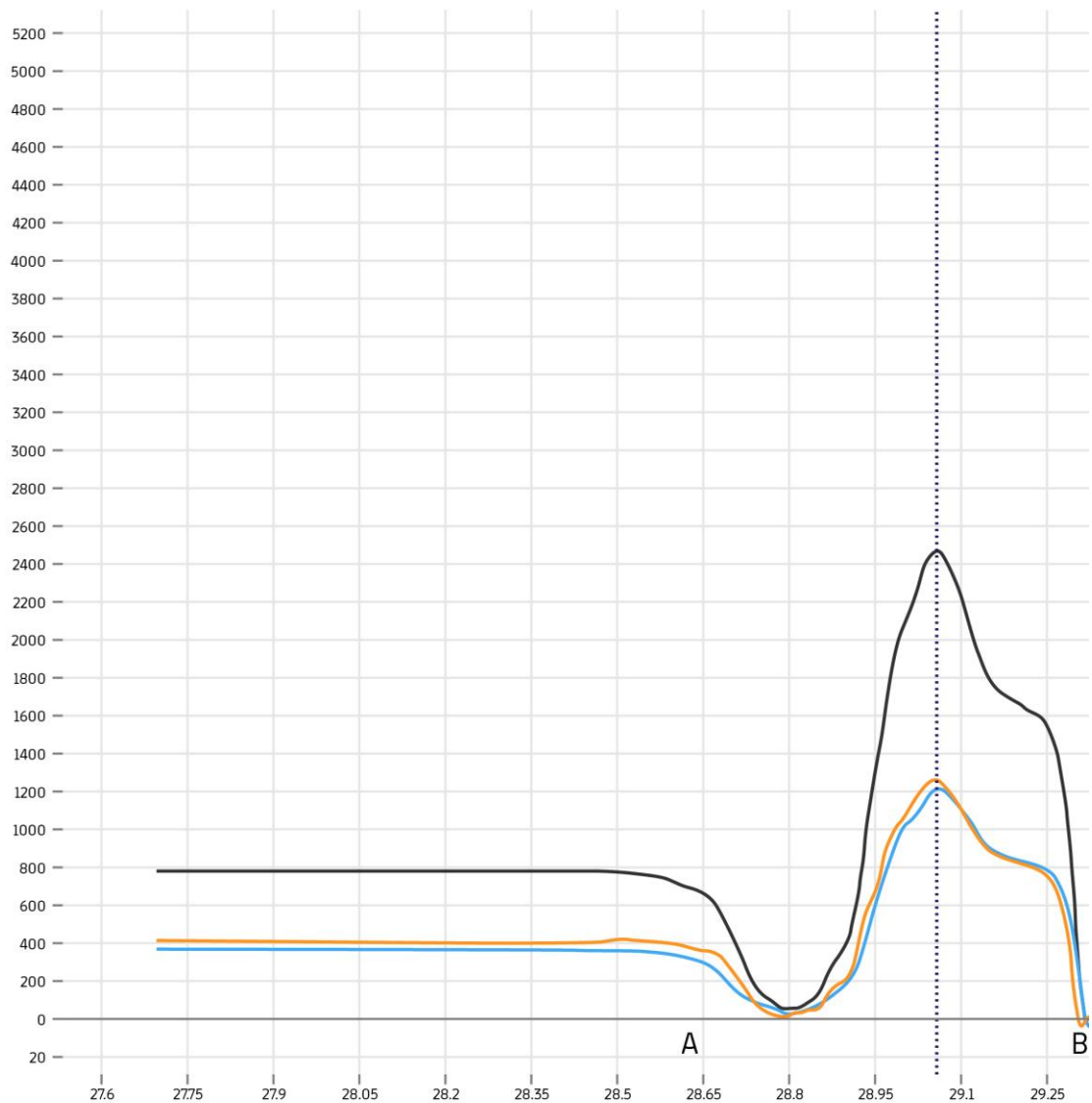
Aunque parezca sencillo medir el peso corporal y permanecer inmóvil durante 2 segundos, esto no siempre es fácil de conseguir en entornos deportivos. Sin embargo, no se puede subestimar la importancia de conseguirlo: la medición inexacta del peso corporal y el hecho de no conseguir un breve periodo de reposo antes de descender de un CMJ de una o dos piernas representan el mayor desafío para la calidad de los datos de los profesionales.

Existen varios enfoques para determinar el peso corporal que pueden introducirse en el análisis de saltos de la plataforma de fuerza hecha a medida (Excel/Matlab) o que está integrada en el software patentado que pueda estar utilizando. Algunos softwares también tienen más de una opción, o un cálculo del peso corporal de respaldo si no se ha medido el peso corporal antes de la prueba. Otros tienen un protocolo fijo que debe respetarse durante la medición del peso corporal. Todos estos métodos requieren que el atleta esté quieto, erguido con las rodillas extendidas, y en plataformas duales con postura uniforme sobre las dos placas durante el periodo de medición (normalmente, 1o 2 segundos). No es fácil asegurarse no solo de que la parte inferior del cuerpo esté quieta, sino también de que el atleta no mueva la cabeza, no levante los hombros ni desplace el tronco durante el periodo de captura del peso corporal previo a la prueba y justo antes de descender del salto. Esto se dificulta aún más si se encuentra en un gimnasio ruidoso en



el que hay distracciones como música y compañeros de equipo que hablan, saludan o bromean con el atleta en las plataformas. No es necesario crear un entorno hermético para conseguirlo; de hecho, como se ha indicado, esto puede ir en detrimento del rendimiento. Sin embargo, una buena medición del peso corporal requiere unos segundos de concentración no solo por parte del deportista, sino también del profesional, cuyo objetivo es conseguir un trazo previo al salto similar al de la imagen 11, en el que tanto la línea de fuerza vertical total como los trazos izquierdo y derecho sean planos. Nótese que, en la imagen 11, el atleta tiene una distribución del peso estando de pie que es asimétrica, pero las líneas izquierda y derecha, iguales o no, deben permanecer paralelas hasta el comienzo del contramovimiento. En otras partes del certificado se incluyen más ejemplos y detalles relacionados con la inspección visual de los trazados de fuerza-tiempo del CMJ bilateral y CMJ con una sola pierna, así como el análisis de los factores relevantes para la calidad de los datos.

Figura 11: VGRF total estable antes del salto, perfiles de fuerza-tiempo izquierdo y derecho.



A: Inicio del movimiento (fase descendente); B: Despegue

Línea de puntos = fin de la fase descendente.

Fuente: elaboración propia.

Un segundo aspecto de la validez o precisión de la medición en el que influye parcialmente el profesional se refiere al procesamiento de los datos brutos proporcionados por los sensores. Esto incluye:

- La frecuencia de la toma de muestras con las plataformas de fuerza
- Los algoritmos o umbrales utilizados para detectar o definir las fases de los acontecimientos

- El filtro de datos

La frecuencia máxima de obtención de muestras depende del hardware adquirido. Algunos softwares permiten ajustar la frecuencia de las muestras por debajo de la máxima de la que es capaz el hardware. Esto puede ser útil para la regularidad si se quiere comparar con datos recogidos previamente a una frecuencia más baja; sin embargo, en general, se debe utilizar la frecuencia más alta disponible (normalmente 1000 Hz). La frecuencia es importante para la precisión y la validez, ya que cuanto mayor sea la frecuencia de las muestras, menor será la probabilidad de que se pierda un punto de datos específico relevante para un evento importante. En las actividades de salto-aterrizaje, los eventos/variables que podrían verse afectados por la frecuencia incluyen el punto máximo de aterrizaje en un salto o inicio del movimiento, el punto de despegue o de aterrizaje. En las pruebas isométricas, la frecuencia de toma de muestras con la plataforma influye en la identificación del inicio de la contracción y, por lo tanto, en la medición de la "velocidad de evolución de la fuerza". Por lo tanto, en general, la frecuencia puede influir en la precisión y la fiabilidad de determinados tipos de variables: los valores máximos, la velocidad de evolución de la fuerza (Makaruk y Sacewicz, 2011) y las variables temporales (es decir, las duraciones), mientras que los valores medios y los impulsos se verán menos afectados.

Detección de eventos y umbrales: Cuestiones prácticas

Si utiliza un sistema patentado, un código disponible o escribe su propia secuencia de comandos, deberá tomar una decisión sobre cómo y cuándo se determina el peso corporal utilizado en los cálculos posteriores y sobre qué umbrales/cálculos se utilizarán para detectar eventos, ya que existen varias opciones. Los detalles de algunos de estos métodos se describen en el módulo 2. Para tomar estas decisiones, el profesional no sólo debe tener en cuenta lo que un trabajo de investigación de laboratorio ha concluido que es lo más fiable o preciso, sino también considerar factores relacionados con las condiciones en las que se están realizando sus pruebas. Esto incluye el nivel de ruido del entorno, tanto en términos de ruido auditivo como la probabilidad de impactos en el mismo espacio (caída de pesas u otros instrumentos o realización de saltos en las inmediaciones), el nivel de distracción del lugar y el peso corporal de los deportistas que suelen ser evaluados. En resumen, mientras que las bandas estrechas o los umbrales bajos para los eventos son preferibles y recomendables desde el punto de vista de la precisión, los entornos ruidosos en los que hay una mayor probabilidad de distracciones para los atletas durante las evaluaciones, y los atletas con mayor peso, pueden ponerlos a prueba y aumentar la probabilidad de falsos inicios de detección de movimiento. Esto se puede identificar y corregir después, pero supone una demanda adicional de tiempo para el profesional.

Algunos sistemas patentados ofrecen opciones para esto dentro de su configuración. Si existen tales opciones o si las define en Matlab o Excel, es muy importante que todos los



profesionales responsables de un grupo de deportistas utilicen su selección de forma sistemática a partir de ese momento, es decir, se pueden utilizar configuraciones diferentes para un grupo de adultos y para un grupo de jóvenes. El cambio de la configuración del cálculo del peso corporal, la detección de eventos o el filtrado de datos puede afectar negativamente la capacidad de interpretar los cambios a lo largo del tiempo como si fueran producto de respuestas neuromusculares. Si hay una razón importante para hacer cambios, sin duda debe evitarse durante un ciclo de monitorización, es decir, las alteraciones si son necesarias deben dejarse para el inicio en la siguiente temporada/fase de entrenamiento. Como alternativa, habría que volver a analizar los datos ya recopilados con estos nuevos ajustes.

No es lógico esperar que alguien nuevo (usted o los miembros de su equipo médico o de rendimiento) impongan la tecnología de plataformas para convertirse en expertos en el análisis o la interpretación de datos cinéticos, y tampoco es necesario. Sin embargo, es fundamental que todo el personal que participe en la evaluación de los deportistas se convierta rápidamente en experto en la **recopilación** de datos. Esta experiencia no requiere conocimientos de biomecánica, ni siquiera del significado ni de la interpretación de las variables cinéticas; depende de la atención a los detalles, la concentración y la consideración y la aplicación minuciosa de los protocolos. Para ello, debe asegurarse de que todas las personas que realicen las pruebas sean capaces de:

1. Identificar los factores que puedan afectar la calidad de los datos de la plataforma de fuerza en general (como se ha indicado anteriormente) y los factores específicos de la recopilación de datos en su flujo de trabajo/entorno, así como los medios para evitarlos o minimizarlos. Algunos factores son las funciones del equipo, como sensores no calibrados, o la ubicación de la plataforma, como su colocación en superficies irregulares o inadecuadas o en entornos ruidosos. A menudo, sin embargo, los problemas de calidad de los datos pueden estar relacionados simplemente con unas instrucciones inadecuadas o mal comunicadas, con el cumplimiento de las instrucciones por parte del deportista, con la falta de atención del profesional hacia el deportista durante la medición del peso corporal o con el trazado de la fuerza-tiempo antes del salto. Estos factores desafían a los algoritmos que definen los acontecimientos y afectan el cálculo de las variables de interés.
2. Los protocolos específicos de las pruebas, relacionados con la forma en que se preparan (descritos en otros módulos) y con cualquier modificación que se haga de los mismos, están normalizados, bien documentados y se comunican a todos los profesionales a los que se encomiende la realización de las pruebas.
3. Las condiciones que rodean la prueba del atleta influyen en el rendimiento neuromuscular real más que en la calidad de los datos. Por lo tanto, las variaciones en estas condiciones a lo largo de las sesiones de pruebas afectan la capacidad de



interpretar los cambios en las variables a lo largo del tiempo o la seguridad de que los valores recogidos representen realmente la capacidad del deportista.

Existen una serie de condiciones y prácticas específicas que ejercen una influencia significativa o potencialmente importante sobre el rendimiento en las pruebas de salto e isométricas u otras pruebas de fuerza máxima que el profesional debe conocer o al menos poseer un conocimiento básico de la magnitud y dirección potenciales que causan sobre el rendimiento en estas pruebas.

Factores decisivos en el rendimiento de salto y fuerza

Entrada en calor

El ejercicio de calentamiento produce una serie de respuestas fisiológicas que mejoran el rendimiento neuromuscular. Si bien el exceso de temperatura central perjudica el rendimiento, el efecto de la temperatura muscular en el rendimiento es lineal, con un aumento de 1 °C asociado a una mejora del 2 al 5% en el rendimiento de corta duración (Racinais & Oksa, 2010). El aumento de la temperatura muscular se asocia con una mayor fuerza y potencia muscular a través de varios mecanismos, entre los que se incluyen el aumento de frecuencia de las reacciones metabólicas, el aumento de la velocidad de conducción de los potenciales de acción, el aumento de la extensibilidad del tejido conectivo y la reducción de la viscosidad muscular, entre otros mecanismos (Racinais & Oksa, 2010).

Foam rolling

Muchos deportistas incorporan el foam rolling a sus rutinas de calentamiento. Una revisión y metaanálisis recientes examinaron estudios que evaluaban el rendimiento de fuerza y potencia a los 10 minutos de rolar. El autor determinó que esta práctica conduce a pequeñas reducciones triviales en la altura de salto y la fuerza, pero también concluyó "que rolar no provoca deficiencias considerables en el rendimiento" (Behm et al., 2020). Por otro lado, un estudio reciente en la primera división universitaria de fútbol americano mostró una mejora insignificante de la potencia concéntrica máxima determinada en el CMJ del 2,1% tras el rolo, junto con un aumento insignificante del 0,8% tras el estiramiento dinámico (Tsai & Chen, 2021). Los investigadores también descubrieron lo contrario para la fuerza isométrica máxima en extensión y flexión de la rodilla, mostrando ambas un pequeño descenso no significativo tras el rolo (y el estiramiento dinámico). En un estudio reciente realizado en jugadores universitarios de voleibol de primera división se observó una mejora significativa de 1,1 cm en la altura de los saltos en caída realizados a los 2 minutos, pero no a los 5 minutos, después de una intervención con el foam roller (Tsai & Chen, 2021). Si se tiene en cuenta que se han notificado efectos medios pequeños en ambas direcciones tras el rolo, con efectos potencialmente mayores en un individuo



determinado, así como la posible disminución temporal del efecto positivo y la posibilidad de que esto forme parte de la rutina de calentamiento de los atletas, el énfasis de estas evaluaciones es mantener la consistencia del rolo, o no, *entre* los individuos. Si las evaluaciones se llevan a cabo principalmente para detectar cambios en las variables de los deportistas adultos de élite, esto prevalece sobre la búsqueda de constancia entre los individuos.

Instrucciones

Éstas quizá sean los aspectos de las pruebas más fáciles y obvios de normalizar. No obstante, no siempre ocurre que dentro de una organización, los distintos profesionales responsables de la ejecución de las pruebas de plataformas de fuerza transmitan las mismas indicaciones o instrucciones de forma consistente a lo largo del tiempo. Varios estudios han demostrado que diferentes instrucciones pueden tener efectos significativos en la altura de salto y en las variables cinéticas (Mandic et al., 2016; Pérez-Castilla, 2019). La velocidad y la intensidad del contramovimiento, cuantificadas por la velocidad pico excéntrica (VPE) y la intensidad del contramovimiento (CMD), respectivamente, son características "técnicas" del salto que se pueden indicar y modificar de forma precisa, pero también son variables cinéticas que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar las tendencias de otras métricas evaluadas habitualmente (Cohen et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2020). A causa de esto y del efecto significativo de la instrucción "salta tan rápido y tan alto como puedas" en la VME y el CMD y, a su vez, en otras variables de la fase excéntrica/descendente frente a la ausencia de instrucción o la simple instrucción "salta tan alto como puedas", la estandarización de las instrucciones es fundamental. La ausencia de indicaciones o "saltar lo más alto posible" contribuirá a una menor regularidad de las variables dentro de las variables excéntricas (Cohen et al., 2020) de interés. Del mismo modo, en las pruebas isométricas, las instrucciones relacionadas con la velocidad a la que se aplica la fuerza influirán en la capacidad de obtener información válida sobre la velocidad de evolución de la fuerza en estas pruebas (Maffiuletti et al., 2016). Los efectos específicos de las instrucciones relacionadas con las variables cinéticas y de rendimiento en el CMJ se tratan con mayor profundidad en el módulo 2.

Estímulo verbal y foco de atención

En laboratorios de investigación, el estímulo verbal puede prohibirse para estandarizar un factor que se sabe que influye en el rendimiento, pero, por razones obvias (uso de palabras, nivel de estímulo, tono de voz, y demás), es difícil de estandarizar, y se elimina. Sin embargo, el estímulo y un entorno competitivo que incluya comentarios sobre el rendimiento de los deportistas durante la sesión de pruebas influyen positivamente tanto en el rendimiento como en la fiabilidad de los resultados (Howarth et al., 2021). Esto puede estar relacionado en parte con el efecto positivo de la atención externa en el rendimiento del salto en comparación con la atención interna o la ausencia de atención (Makaruk et al., 2020). Además, se indica que el feedback numérico durante la prueba actúa para



focalizar la atención y puede contribuir a la fiabilidad de los protocolos de prueba (Tod et al., 2015). Es interesante observar que, si bien se ha demostrado que la fuerza máxima mejora de forma significativa y consistente mediante la automotivación instructiva, las pruebas que demuestran los efectos sobre el rendimiento de salto son inconsistentes (Tod et al., 2015). Sin embargo, un entorno competitivo acompañado de feedback puede, por lo tanto, favorecer la fiabilidad al dirigir constantemente la atención del atleta y favorecer la normalización de los factores psicológicos y la variabilidad, que de otro modo podrían contribuir a la variabilidad en la cinética y el rendimiento (Edwards et al., 2008).

Horario

El ritmo diurno en el rendimiento humano está bien documentado en el CMJ, SJ y DJ (principalmente utilizando la altura del salto y la potencia máxima concéntrica), la fuerza isométrica (fuerza máxima y velocidad de evolución de la fuerza) y la fuerza isocinética. Se ha demostrado que el rendimiento en estas y otras pruebas de ejercicio de corta duración, con pocas excepciones, es mayor por la tarde o noche (alcanzando su punto máximo entre las 4:00 am y las 8:00 pm). Se considera que los ritmos circadianos en la temperatura central (Tcore) –la más baja a las 6 de la mañana y la máxima a las 6 de la tarde (Reilly, 1990)- desempeñan un papel importante en este efecto. Sin embargo, los niveles hormonales, la motivación y el estado de ánimo, y los factores neurales y mecánicos también son mencionados como factores que contribuyen a las variaciones en el rendimiento de salto y fuerza, que pueden no estar totalmente explicadas por la variación del 2% en Tcore (Mirizio et al., 2020). De hecho, en jugadores de élite de Rugby 7 West et al. (2014) se observó una correlación significativa ($r = 0,78$; $P < 0,001$) entre el aumento de la temperatura central ($1,3 \pm 0,3\%$; y el aumento de la potencia pico concéntrica ($5,1 \pm 0,7\%$) en los CMJ realizados a las 5:00 pm en comparación con las pruebas realizadas a las 10:00 am. Un valor r de 0,78 sugiere que alrededor del 50% de la variación en la potencia CMJ puede explicarse por Tcore. Diferencias similares se reportan en tenistas masculinos de competición, con una altura CMJ del 4,5% a las 4:30 pm mayor que a las 9:00 am (López-Samanes et al., 2017).

Se registran variaciones de mayor magnitud en la fuerza isométrica máxima a lo largo del día. Algunos estudios muestran diferencias medias de hasta un 30% entre las horas de la mañana y de la noche y de hasta un 41% en algunos individuos. Los estudios sobre la fuerza isométrica de los extensores de la rodilla han revelado efectos de la hora del día sobre factores musculotendinosos, como la rigidez del tendón, la longitud del fascículo muscular y la alteración de la arquitectura muscular. Es posible que estos factores tengan una influencia variable en pruebas con diferentes ángulos articulares y en cinéticas específicas dentro del CMJ que no se hayan examinado.

Asimismo, es importante tener en cuenta que las pruebas indican que el efecto de la hora del día en el rendimiento de salto o la fuerza muscular de la parte inferior del cuerpo puede atenuarse en entornos cálidos y húmedos, pues los estudios no muestran diferencias significativas a lo largo del día en las pruebas realizadas en entornos de



aproximadamente 28 °C. Se ha demostrado que un calentamiento más prolongado antes de una serie de CMJ aumenta el rendimiento medio respecto a los niveles observados tras calentamientos más cortos por la tarde (Taylor et al., 2011). Sin embargo, la altura del salto y la potencia máxima concéntrica han sido los resultados evaluados, por lo que se desconoce si otras variables cinéticas de interés se ven afectadas de forma similar. Por otra parte, el calentamiento que elevó la Tcore a valores vespertinos no ha demostrado sistemáticamente eliminar también la insuficiencia vespertina de fuerza isométrica (Edwards et al., 2013).

Patrones de entrenamiento crónicos

Diversos estudios han demostrado que el ritmo diurno típico en el rendimiento del salto y la fuerza isométrica e isocinética se atenúa cuando el entrenamiento se realiza regularmente por la mañana. Por ejemplo, las grandes deficiencias de rendimiento por la mañana en el CMJ, SJ y en la fuerza máxima de extensión de rodilla se redujeron significativamente en los estudiantes de educación física después de 12 semanas de entrenamiento de la resistencia por la mañana (ciadro 1) (Chtourou, et al. 2012).

Tabla 1: Diferencias diurnas en la altura de salto y la fuerza isométrica máxima antes y después de 12 semanas de entrenamiento matutino

n=31	Línea de base	12 semanas
Salto con contramovimiento (cm)	6.81 (2.33)	2.38 (3.76)
Salto en cuclillas (cm)	8.93 (2.26)	1.79 (7.73)
Fuerza máxima isométrica de extensión de rodilla (N)	14.6 (2.43)	2.95 (3.75)

Valores: rendimiento medio a las 5 PM - rendimiento medio a las 7 AM

Fuente: Adaptado de The effect of training at the same time of day and tapering period on the diurnal variation of short exercise performances. H. Chtourou, et al. 2012. The Journal of strength and conditioning research, 26(3), 697–708. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182281c87>

Un programa de entrenamiento de fuerza matutino de 10 semanas dio como resultado una reducción significativa de las insuficiencias en la fuerza máxima isométrica en los



extensores de la rodilla por la mañana (Sedliak et al., 2008). No obstante, se observó una variación entre individuos tan importante en esta adaptación que, mientras que al cabo de 10 semanas varios sujetos mostraron un rendimiento superior después de la intervención comparada con la que se realiza por la noche, otros obtuvieron un rendimiento similar y algunos siguieron obteniendo malos resultados por la mañana.

Estas conclusiones indican que no se puede dar por sentado que la aplicación de este enfoque producirá una respuesta uniforme en un equipo que alcance su punto máximo por la mañana y, en lo que respecta a las evaluaciones de salto o fuerza, los profesionales no pueden confiar en que las deficiencias de la mañana se atenúen o inviertan entrenando regularmente a esa hora. Esto significa que si el objetivo de la prueba es determinar el mejor rendimiento de un deportista en dichas pruebas, es probable que las pruebas realizadas por la noche arrojen valores más elevados. Por otra parte, estos datos no se presentan como argumento para no realizar pruebas por la mañana (en el monitoreo regular de muchos deportes se realizan a esta hora).

Como en la mayoría de los casos el objetivo de las pruebas es identificar cambios significativos en individuos o grupos, estos datos destacan la importancia de realizar las pruebas a la misma hora del día y, cuando esto no ha sido posible, la dirección y magnitud de los efectos descritos anteriormente son importantes y deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los datos de las tendencias. En resumen, comparar el rendimiento de una prueba realizada por la mañana con una prueba anterior por la tarde podría predisponer a subestimar las adaptaciones positivas o a sobrestimar la fatiga, mientras que comparar una prueba por la tarde con una prueba anterior por la mañana podría inducir a sobrestimar las adaptaciones positivas o a subestimar la fatiga. Se debe tener en cuenta, como siempre, el contexto y la finalidad de la prueba, ya que es poco probable que la hora del día afecte a las asimetrías entre extremidades (puesto que estos efectos son sistémicos) y, si la principal finalidad de una prueba específica es obtener información, este aspecto resulta menos crítico.

Horario de las pruebas en relación con la competencia o el entrenamiento de alta intensidad

Al igual que lo descrito con respecto a la repetición de pruebas a una hora similar del día, las comparaciones de pruebas con condiciones muy diferentes, en cuanto a la carga de los días anteriores, crean sesgos similares. La actividad de alta intensidad que comprende una carga excéntrica o de desaceleración sustancial de alta intensidad en las 24-48 horas anteriores puede tener un impacto significativo en el rendimiento específico y las variables cinéticas (Cormack et al., 2008; Gathercole et al., 2015; Cohen et al., 2021) y, por lo tanto, en la interpretación de las tendencias longitudinales de estas variables. Se ha demostrado que el entrenamiento de competición o de alta intensidad reduce el rendimiento neuromuscular en las 24 o 48 y posiblemente 72 horas posteriores. Esta "fatiga residual" se ha observado principalmente en el rendimiento bilateral, pero también puede influir en las asimetrías (es decir, debido a que la fatiga no es de la misma magnitud



en ambas extremidades). Por ejemplo, al intentar cuantificar la magnitud de la mejora del rendimiento neuromuscular tras un entrenamiento de pretemporada, el profesional debe intentar realizar la prueba de final de pretemporada al menos 48 y preferiblemente 72 horas después de una competición, ya que las adaptaciones positivas pueden quedar enmascaradas por la fatiga residual. Por otro lado, al realizar un seguimiento de las tendencias semanales o de la fatiga residual provocada por la competición, las comparaciones deben hacer hincapié en la consistencia del momento de la evaluación con respecto a los partidos de competición, como el segundo o tercer día de partido en el fútbol, el rugby o el fútbol americano. No obstante, tenga en cuenta que estas condiciones y estructura no se trasladan al monitoreo en el baloncesto profesional, el béisbol o el hockey sobre hielo debido a su calendario competitivo (es decir, 3 o más partidos por semana).

La contextualización y la aplicación de pruebas basadas en el efecto de las condiciones sobre el rendimiento para el diseño y la realización de evaluaciones.

En la monitorización, cuando se pretende identificar cambios potenciales en el estado neuromuscular es decir, interpretar los cambios o la ausencia de los mismos entre dos puntos temporales o en un promedio rotativo a lo largo de las semanas, es esencial tener un conocimiento exhaustivo de los factores que pueden afectar el rendimiento para poder evaluar de forma crítica el potencial de estas condiciones a fin de influir en las cifras que se están recopilando, incluso antes de aplicar técnicas estadísticas para calificar los cambios potenciales como "significativos" o "que valen la pena". El conocimiento de estos factores y de la forma en que el contexto de su deportista puede influir en los resultados de las pruebas le proporcionará los antecedentes necesarios para poder tomar una decisión informada a la hora de establecer una estructura de monitorización dentro del deporte de élite. Inevitablemente, esto implicará un cierto equilibrio entre las condiciones "ideales" y las condiciones prácticas o implementables. Al realizar el seguimiento, la incorporación de las condiciones que tienen más posibilidades de aplicarse repetidamente y normalizarse en toda la organización sustituye a la "mejor" condición. El control que se tenga sobre las condiciones en que se lleven a cabo las evaluaciones dependerá de una serie de factores: factores globales no modificables, como el deporte, el nivel, el calendario de competiciones, la frecuencia de los cambios en el calendario, y también algunos factores específicos del equipo o del jugador que *pueden* modificarse, como la aceptación del proceso por parte del jugador y del entrenador. El sistema existente de monitorización física durante la temporada y su papel dentro de ese entorno delimitan, por supuesto, la aplicación de las pruebas y el impacto de los datos obtenidos, y pueden cambiar de la noche a la mañana debido a cambios en el cuerpo técnico. No obstante, con el tiempo, el rendimiento, el personal médico y de enfermería también pueden impulsar cambios en el sistema de monitorización y evaluación.

Cuando se hereden datos históricos o se incorporen datos de evaluaciones que no se hayan llevado a cabo, el objetivo es proporcionar un marco para plantear preguntas



importantes sobre las condiciones en las que se recopilaron los datos. Si bien no se puede retroceder en el tiempo y cambiar la forma en que se realizaron las pruebas, disponer de esta información mejorará la interpretación de los datos e identificará qué factores, además del impacto de la competición, el entrenamiento, la rehabilitación y las estrategias de recuperación, pueden haber influido en las tendencias que se observan, y mejorar posiblemente la regularidad de esas condiciones, si es necesario.

Otros aspectos que deben tenerse en cuenta al iniciar el proceso cinético

Aspectos a tener en cuenta a la hora de adquirir una plataforma de fuerza

Si dispone de presupuesto para este tipo de equipos, las partes interesadas deben considerar si se aporta más valor a la organización con la compra de un solo par de plataformas triaxiales o, por el mismo precio, 3 pares de plataformas de eje vertical. O bien se hace hincapié en:

1. adquirir la capacidad de obtener con frecuencia y rapidez evaluaciones detalladas del rendimiento neuromuscular y de los indicadores biomecánicos de todo el cuerpo (centro de masa), pero no de las articulaciones, en un mayor número de atletas mediante evaluaciones estandarizadas isométricas y de salto que sean fiables (con sistemas vGRF de uno o varios ejes);

o

2. aumentar la capacidad in situ para obtener detalles biomecánicos a nivel articular en un menor número de atletas de forma periódica (triaxial único + sistemas de captura de movimiento).

A la hora de tomar estas decisiones, hay que tener en cuenta una serie de factores:

- El número de atletas que deben someterse a pruebas al mismo tiempo y su disponibilidad de tiempo para realizarlas: ¿se trata de un deporte de equipo, multideporte o militar, o de un entorno donde los atletas son examinados individualmente?
- Interrogantes sobre el rendimiento o la rehabilitación: las mediciones que se realizan, y su potencial para informar e influir en la toma de decisiones.
- La expectativa o necesidad de analizar los patrones de movimiento y los aspectos técnicos del rendimiento en contraste con las características neuromusculares subyacentes.
- La portabilidad, la necesidad eventual de viajar con el equipo y la probabilidad de que éste tenga que circular dentro de una instalación.
- Los conocimientos técnicos del personal y el tiempo disponible para dedicarse al análisis o acceder a un consultor externo que apoye el análisis y la interpretación de la recopilación de datos.



- La posibilidad y el plazo para disponer de más presupuesto con el fin de ampliar progresivamente o no las posibilidades de realizar pruebas, es decir, la compra de plataformas triaxiales para el crecimiento futuro (además de las de un solo eje para la práctica actual) porque es posible que disponga de un presupuesto que no tendrá en el futuro.

En el contexto deportivo, los profesionales con una sólida formación y perspectiva en enfoques basados en el movimiento para la evaluación de atletas y que no conocen bien el uso de las plataformas de fuerza suelen tener un interés innato en la medición de movimientos específicos de cada deporte con esta tecnología. Si bien la realización de este tipo de pruebas con plataformas vGRF es informativa, debido a la complejidad del movimiento, los ejes implicados y la contribución técnica, estas evaluaciones se llevan a cabo de forma más adecuada con plataformas triaxiales y captura de movimiento y, por lo tanto, conllevan mayores gastos financieros y de tiempo, además de conocimientos especializados que deben tenerse en cuenta.

En el módulo siguiente, se detalla la gran cantidad de información que proporciona el CMJ evaluado desde la plataforma de fuerza y que describe las cualidades y respuestas neuromusculares del deportista, lo que justifica su importancia como elemento central de los procesos de control de la fuerza y la potencia del atleta.

Referencias

Behm, D., Alizadeh, S., Hadjizadeh, S., Mamdouh, M., Mahmoud, M. I., Ramsay, E., Hanlon, C. & Cheatham, S. (2020). Foam Rolling Prescription: A Clinical Commentary. *The Journal of strength and conditioning research*, 34(11), 3301-3308.

Chavda, S., Turner, A. N., Comfort, P., Haff, G. G., Williams, S., Bishop, C., & Lake, J. P. (2019). A Practical Guide to Analyzing the Force-Time Curve of Isometric Tasks in Excel. *Strength and Conditioning Journal*, 1. doi:10.1519/ssc.0000000000000507

Cohen, D. D., Burton, A., Wells, C., Taberner, M., Diaz, M. A. & Graham-Smith, P. (2020). Single vs double leg countermovement jump tests; not half an apple. *Aspetar Sports Medicine Journal*, 9, 34-41.

Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Doyle TL. (2008) Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *Int J Sports Physiol Perform.* Jun;3(2):131-44. doi: 10.1123/ijsp.3.2.131. PMID: 19208922.

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>

Chtourou, H., Chaouachi, A., Driss, T., Dogui, M., Behm, D. G., Chamari, K. & Souissi, N. (2012). The effect of training at the same time of day and tapering period on the diurnal



variation of short exercise performances. *The Journal of strength and conditioning research*, 26(3), 697–708. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182281c87>

Edwards, B. J., Pullinger, S. A., Kerry, J. W., Robinson, W. R., Reilly, T. P., Robertson, C. M., & Waterhouse, J. M. (2013). Does raising morning rectal temperature to evening levels offset the diurnal variation in muscle force production? *Chronobiology international*, 30(4), 486–501. <https://doi.org/10.3109/07420528.2012.741174>

Edwards, C., Tod, D., & McGuigan, M. (2008). Self-talk influences vertical jump performance and kinematics in male rugby union players. *Journal of sports sciences*, 26(13), 1459–1465. <https://doi.org/10.1080/02640410802287071>

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>

Gomez-Bruton, A., Gabel, L., Nettlefold, L., Macdonald, H., Race, D., & McKay, H. (2019). Estimation of Peak Muscle Power From a Countermovement Vertical Jump in Children and Adolescents. *Journal of strength and conditioning research*, 33(2), 390–398. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002002>

Güçlüöver, A., & Gülü, M. (2020). Developing a new muscle power prediction equation through vertical jump power output in adolescent women. *Medicine*, 99(25), e20882. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020882>

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*, 1–12. doi:10.1080/17461391.2021.193019

Howarth, David J., Cohen, Daniel D., McLean, Blake D., & Coutts, Aaron J. (2021). Establishing the Noise: Interday Ecological Reliability of Countermovement Jump Variables in Professional Rugby Union Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ahead of Print.

Linthorne, N. P. (2021). The correlation between jump height and mechanical power in a countermovement jump is artificially inflated. *Sports biomechanics*, 20(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1721737>

Lonergan BM, Price P, Lazarczuk SL, Howarth DJ, Cohen DD. (2022) A Comparison of Countermovement Jump Performance and Kinetics at the Start and End of an International Rugby Sevens Season. *The Journal of Sport and Exercise Science* Vol. 6, Issue 2, 79-89



López-Samanes Á, Moreno-Pérez D, Maté-Muñoz JL, Domínguez R, Pallarés JG, Mora-Rodríguez R, Ortega JF. (2017). Circadian rhythm effect on physical tennis performance in trained male players. *Sports Sci. Nov*;35(21):2121-2128. doi: 10.1080/02640414.2016.1258481.

Loturco, I., D' Angelo, R. A., Fernandes, V., Gil, S., Kobal, R., Cal Abad, C. C., ... Nakamura, F. Y. (2015). Relationship Between Sprint Ability and Loaded/Unloaded Jump Tests in Elite Sprinters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 758–764. doi:10.1519/jsc.0000000000000660

10.1519/jsc.0000000000000660

Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European journal of applied physiology*, 116(6), 1091–1116. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6>

Mandic, R., Knezevic, O., Mirkov, D. & Jaric, S. (2016). Control strategy of maximum vertical jumps: The preferred countermovement depth may not be fully optimized for jump height. *Journal of Human Kinetics*, (52), 85-94. <https://dx.doi.org/10.1515%2Fhukin-2015-0196>

Makaruk, H., Starzak, M. & Marak Porter, J. (2020). Influence of Attentional Manipulation on Jumping Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Human Kinetics*, 75, 65-75. <https://dx.doi.org/10.2478%2Fhukin-2020-0037>

Makaruk, H. & Sacewicz, T. (2011). The effect of drop height and body mass on drop jump intensity. *Biology of Sport*, 28(1). <http://dx.doi.org/10.5604/935873>.

Meylan CM, Nosaka K, Green J, Cronin JB. (2011) The effect of three different start thresholds on the kinematics and kinetics of a countermovement jump. *J Strength Cond Res.* Apr;25(4):1164-7. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c699b9.

Mirizio, G. G., Nunes, R., Vargas, D. A., Foster, C., & Vieira, E. (2020). Time-of-Day Effects on Short-Duration Maximal Exercise Performance. *Scientific reports*, 10(1), 9485. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66342-w>

Owen NJ, Watkins J, Kilduff LP, Bevan HR, Bennett MA.(2014). Development of a criterion method to determine peak mechanical power output in a countermovement jump. *J Strength Cond Res.* Jun;28(6):1552-8. doi: 10.1519/JSC.0000000000000311.

Pérez-Castilla, A., Weakley, J., García-Pinillos, F., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2020). Influence of countermovement depth on the countermovement jump-derived reactive strength index modified. *European journal of sport science*, 1–11. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1845815>



Racinais, S. & Oksa, J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(3), 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01204.x>

Reilly T. (1990). Human circadian rhythms and exercise. *Critical reviews in biomedical engineering*, 18(3), 165–180.

Sahrom SB, Wilkie JC, Nosaka K, Blazeovich AJ (2020) The use of yank-time signal as an alternative to identify kinematic events and define phases in human countermovement jumping. *R Soc Open Sci.* 2020 Aug 26;7(8):192093. doi: 10.1098/rsos.192093.

Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Rosenstein, M. T. (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(4), 572–577. <https://doi.org/10.1097/00005768-199904000-00013>

Sedliak, M., Finni, T., Peltonen, J., & Häkkinen, K. (2008). Effect of time-of-day-specific strength training on maximum strength and EMG activity of the leg extensors in men. *Journal of sports sciences*, 26(10), 1005–1014. <https://doi.org/10.1080/02640410801930150>

Taylor, K., Cronin, J. B., Gill, N., Chapman, D. W., & Sheppard, J. M. (2011). Warm-up affects diurnal variation in power output. *International journal of sports medicine*, 32(3), 185–189. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1268437>

Tod, D., Edwards, C., McGuigan, M., & Lovell, G. (2015). A Systematic Review of the Effect of Cognitive Strategies on Strength Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(11), 1589–1602. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0356-1>

Tsai, W., & Chen, Z. (2021). The Acute Effect of Foam Rolling and Vibration Foam Rolling on Drop Jump Performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph18073489>

Vanrenterghem, J., Nedergaard, N., Robinson, M. & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine*, 47(5), 1-8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-017-0714-2>

West, D. J., Cook, C. J., Beaven, M. C. & Kilduff, L. P. (2014). The influence of the time of day on core temperature and lower body power output in elite rugby union sevens players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6):1524-1528. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000301>

