

# Módulo 3. Marco y caja de herramientas para el control de respuesta a la carga a corto plazo y evaluación de adaptaciones crónicas

## Introducción

Como parte de los "diagnósticos de fuerza", las pruebas de fuerza y potencia se utilizan convencionalmente para evaluar una serie de cualidades de rendimiento neuromuscular y el impacto de los programas de entrenamiento sobre estas cualidades después de los bloques de entrenamiento. Sin embargo, cada vez se reconoce más que una evaluación más frecuente de estas cualidades neuromusculares (normalmente al menos una vez a la semana) también contribuye al desarrollo y el cuidado de los atletas. Las elevadas exigencias fisiológicas y psicológicas de la competición y el entrenamiento, así como la necesidad de maximizar el rendimiento en los deportistas de élite, sugieren que es fundamental realizar un seguimiento minucioso de la posible fatiga y desadaptación para optimizar la respuesta adaptativa al entrenamiento, maximizar el rendimiento competitivo y minimizar el riesgo de lesiones por uso excesivo. Numerosas publicaciones científicas y la experiencia de los profesionales apoyan el uso de medidas sencillas de rendimiento de potencia, como las pruebas de salto y, en menor medida, las pruebas de fuerza máxima isométrica, como marcadores de la respuesta neuromuscular a la carga (Cohen y Kennedy, 2021).

Esta sección se centra en el uso de las pruebas de salto y principalmente el CMJ en su papel como herramienta para detectar adaptaciones positivas y negativas a la carga de competición y entrenamiento. Es importante destacar que la mayor parte de la bibliografía y el "discurso" sobre el CMJ y otras evaluaciones neuromusculares en el contexto del seguimiento regular examinan y se refieren a su potencial para mejorar la precisión de la detección de la fatiga neuromuscular. El uso del término "monitorización de la respuesta a la carga" (LRM) en lugar de "monitorización de la recuperación de la fatiga" (FRM) es deliberado y reconoce que también podemos detectar más eficazmente las adaptaciones positivas que no se han manifestado en otros resultados del rendimiento bruto. Además, aunque la fatiga se ha definido como "la reducción de la capacidad máxima de producir fuerza o potencia inducida por el ejercicio" (McLeellan, 2011), esta definición refleja un aspecto de la fatiga

aunque en la FRM se utilizan otras herramientas. Estas incluyen medidas de la función dentro de sistemas específicos como el sistema nervioso autónomo (variabilidad de la frecuencia cardíaca/recuperación) o escalas y cuestionarios más generales y subjetivos sobre el bienestar del atleta y la fatiga general (Thorpe et al., 2017). Por lo tanto, el profesional también debe conocer estas herramientas para controlar la "carga interna" y considerar si resulta adecuada y práctica para sus deportistas. Se recomienda que, como mínimo, se lleve a cabo una supervisión subjetiva regular (idealmente diaria).

Por lo tanto, el control neuromuscular regular mediante evaluaciones de saltos o isométricas se adopta ampliamente en los deportes de equipo profesionales con temporadas competitivas extensas y muy intensas para evaluar el ciclo de recuperación de la fatiga o identificar tendencias negativas de una semana a otra. En este contexto, las evaluaciones aportan información al personal médico y de rendimiento que puede servir para ajustar la carga de entrenamiento de un deportista o las estrategias de recuperación dentro de un microciclo. En algunos equipos, estos datos también podrían influir en la selección/distribución de los jugadores (rotación de jugadores, alteraciones en el tiempo en el campo de juego). Como tal, el control neuromuscular aspira a apoyar los objetivos paralelos de optimizar el rendimiento del atleta para la competición y proporcionar indicadores tempranos del desarrollo de una mala adaptación a las cargas de entrenamiento/competición que puedan interferir con el rendimiento y aumentar potencialmente el riesgo de lesiones musculoesqueléticas.

Sin embargo, también puede ser una herramienta para ayudar a los entrenadores y preparadores físicos a:

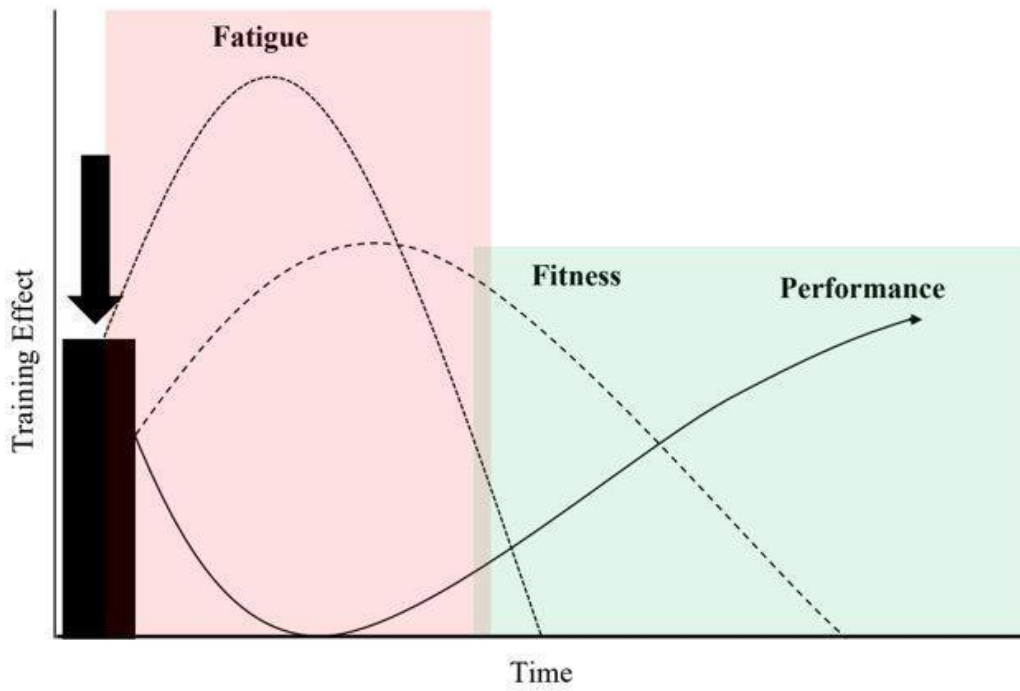
- Determinar la eficacia de las estrategias de acondicionamiento para generar adaptaciones en cualidades neuromusculares específicas en deportes de equipo e individuales.
- Definir la eficacia y el ritmo de las estrategias de reducción y recuperación empleadas antes de la competición en pruebas atléticas individuales.

### ***Fatiga-recuperación / adaptación-maladaptación***

El modelo clásico del proceso de adaptación fitness-fatiga representa el ciclo entrenamiento-fatiga-recuperación de supercompensación. Este modelo sugiere que un estímulo de entrenamiento con una sobrecarga suficiente para causar fatiga provoca alteraciones celulares y trastornos en varios sistemas. A la perturbación le sigue una recuperación y reestructuración para mejorar la capacidad del organismo de modo que una futura exposición al mismo estímulo de entrenamiento provoque menos perturbaciones (Coutts et al., 2018). Esta capacidad mejorada o "supercompensación" se manifiesta tras un periodo suficiente de recuperación, cuya

duración varía en función del grado de fatiga que depende principalmente de factores relacionados con la carga de entrenamiento (intensidad, volumen y tipo de actividad), pero también de una serie de factores intrínsecos y extrínsecos.

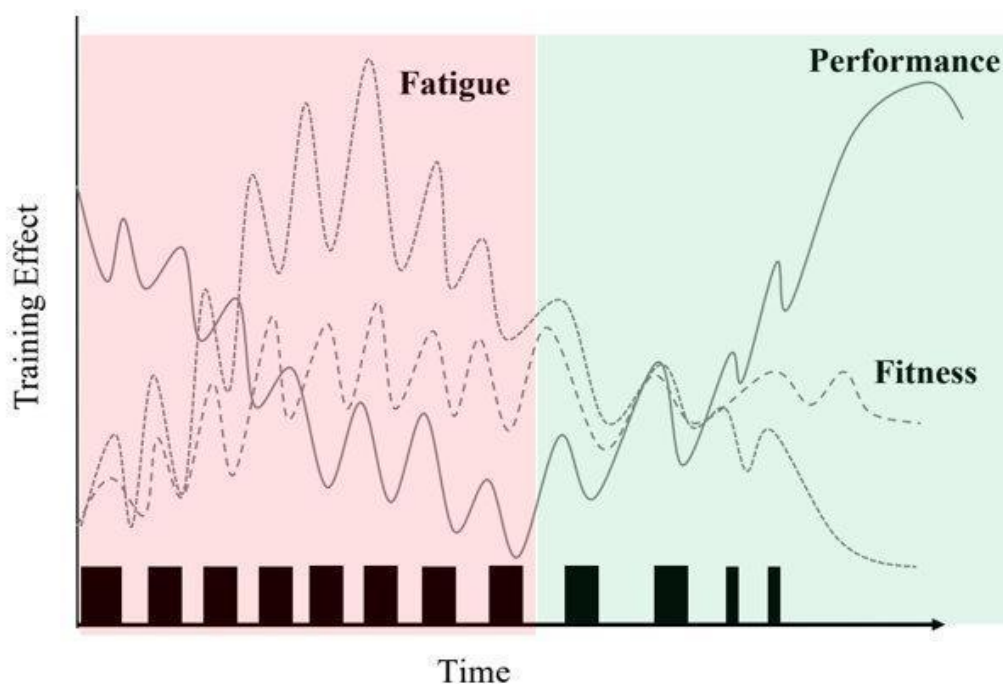
**Figura 1: Modelo fitness-fatiga**



Fuente: Banister, Calvert, Savage y Bach, 1975.

Training Effect	Efecto del entrenamiento
Fatigue	Fatiga
Fitness	Fitness
Time	Tiempo
Performance	Rendimiento

Figura 2: Fatiga, fitness, modelo de rendimiento



Fuente: Coutts, Crowcroft y Kempton, 2018.

La capacidad de recuperación/respuesta a la carga también puede verse condicionada por el perfil genético del deportista, el tipo de fibra (Eston et al., 2003), los antecedentes de entrenamiento (por ejemplo, la edad cronológica y de entrenamiento, el nivel competitivo), los factores nutricionales y las tensiones psicosociales concurrentes. Existe un grado considerable de variación interindividual en el tiempo de recuperación de una misma carga de entrenamiento. Por ejemplo, un estudio en 11 atletas mostró que a las 24 horas, tres se habían recuperado; otros cinco, a las 48 horas; dos más, a las 72 horas, y uno aún no se había recuperado en el momento del estudio (Byrne y Eston, 2002).

No solo existe una variación interindividual en la tasa de recuperación del atleta ante un determinado estímulo de entrenamiento, sino también una variabilidad intraindividual: la capacidad del atleta para recuperarse de una determinada carga de entrenamiento también puede variar con el tiempo de acuerdo no solo con los cambios o la acumulación de carga de entrenamiento, sino también con estos factores ajenos a la carga de entrenamiento. También es importante destacar que no toda la "carga" es igual en su capacidad de perturbación y que, por ejemplo, la carga de desaceleración, considerada un componente con una gran capacidad de

perturbación, puede no cuantificarse bien/con fiabilidad, en particular por medio de dispositivos GPS (Malone et al., 2017). Como tal, la cuantificación frecuente y precisa de la respuesta del atleta tiene como objetivo establecer la capacidad tanto del grupo como del atleta individual para tolerar el sobreesfuerzo periódico deliberado o las exigencias de la competición en un momento dado, y para que el profesional pueda basar sus decisiones (es decir, aumentar/mantener/disminuir) no solo en la entrada, sino también en la salida (es decir, la respuesta). Por lo tanto, aunque es una causa mucho menos común de maladaptación en los atletas de élite, la LRM frecuente podría identificar potencialmente la maladaptación debida a un estímulo insuficiente constante derivado de una exposición inadecuada a las cargas de competición y entrenamiento.

Muchos de los procesos responsables de la fatiga muscular aguda se recuperan poco después del cese de la actividad de alta intensidad, con una recuperación completa que puede tardar tan solo 24 horas o menos. Sin embargo, la recuperación metabólica, neuronal y del rendimiento después de una actividad de larga duración y de alta intensidad puede llevar varios días, especialmente cuando el ejercicio se repite en días consecutivos (McLean et al., 2010; Keeton & Binder-Macleod, 2006).

Sin embargo, la función de la LRM no es simplemente identificar el punto de recuperación total para indicar que el deportista puede volver a entrenar: no es necesario que se alcance la recuperación total o la supercompensación antes de aplicar el siguiente estímulo de entrenamiento y no cabe duda de que los deportistas de élite normalmente entrenarán y posiblemente competirán antes de haberse recuperado por completo. De hecho, la acumulación deliberada de fatiga durante periodos de días o semanas que da lugar a una adaptación retardada (Macdougall et al., 1991) constituye la base del sobreesfuerzo deliberado a corto plazo (definido como "sobreesfuerzo funcional"). Si bien está reconocido como un enfoque de entrenamiento eficaz, requiere una planificación cuidadosa y reducciones oportunas de la carga de entrenamiento para permitir finalmente una recuperación completa y una supercompensación del rendimiento (Meeusen et al., 2013), y evitar un desequilibrio persistente entre la carga de entrenamiento y competición y la tolerancia del deportista.

Por lo tanto, en teoría, la LRM frecuente tiene el potencial de orientar el proceso de entrenamiento de forma que se maximice la sobrecarga estimulante al tiempo que se minimiza el riesgo de alcanzar un "punto crítico" en el que se supere la tolerancia del deportista a la fatiga acumulada (Kentta y Hassmen, 1998). De hecho, es posible que esta información no repercuta en la selección para la competición, pero puede utilizarse para ajustar la carga de entrenamiento entre partidos a fin de garantizar cambios óptimos de la carga de entrenamiento (disminución/aumento) para el rendimiento.

En este contexto, las pruebas de rendimiento sencillas y rápidas para controlar las respuestas de un deportista a las cargas de entrenamiento y competición pueden ser especialmente relevantes durante los ciclos de entrenamiento intensivo, durante los torneos y a lo largo de las intensas temporadas competitivas que caracterizan a muchos deportes de equipo. No obstante, la LRM comienza por definir el ruido metodológico y biológico normal para una prueba y una métrica determinadas en el estado de no fatiga al inicio de la pretemporada (Howarth et al., 2021) o de la fase de preparación. Estas mediciones del error típico pueden utilizarse después para calcular un "ancho de banda" con el que determinar la importancia de cualquier cambio observado, como se explica más adelante.

A continuación describimos algunos de los ejemplos menos comunes en la bibliografía en los que la cinética proporciona una detección mejorada de adaptaciones positivas o desentrenamiento de las cualidades neuromusculares. En primer lugar, examinaremos el uso de la prueba de salto LRM como herramienta para detectar la fatiga neuromuscular.

### ***¿Qué es la fatiga neuromuscular (NMF) y qué indica?***

Diversos estudios han utilizado distintos enfoques para examinar la capacidad de las evaluaciones neuromusculares para detectar la FNM. Las investigaciones diseñadas para examinar la fatiga aguda y residual normalmente implican que la prueba de interés se realice antes y después de que el atleta o sujeto realice una prueba de fatiga en el laboratorio o en el campo, que podría tener como objetivo simular los patrones metabólicos y neuromusculares de la competición (como la prueba LIST de 90 minutos, que simula un partido de fútbol e incluye caminar, trotar y correr a alta velocidad) o protocolos más cortos que implican un componente del deporte, como sprints repetidos/esfuerzos de carrera a alta velocidad. La comparación del rendimiento en una prueba realizada minutos después de la finalización de esta actividad fatigante con el rendimiento en la prueba del protocolo previo a la fatiga, representa una medición de la fatiga aguda; es decir, < 3 h posterior (Hader et al., 2019). Si bien este enfoque puede ser útil para avanzar en la comprensión del "costo" del partido y el efecto sobre el rendimiento neuromuscular (la aplicación al deporte de alto rendimiento es limitada), las evaluaciones CMJ inmediatas posteriores al partido no se implementan en estos entornos. En cambio, las medidas de lo que se ha denominado "respuesta residual", evidente hasta 72 horas después del partido (Hader et al., 2019), son de mayor interés práctico ya que pueden transferirse a entornos de alto rendimiento en los que las evaluaciones pueden realizarse y se realizan en esos momentos. Estos datos pueden orientar al personal médico y de rendimiento sobre la magnitud de la fatiga inducida por la competición reciente (si también se toman medidas de la jornada -1) o sobre la competición reciente superpuesta a la carga y recuperación de la semana anterior (si solo se realizan evaluaciones semanales de la jornada + 1 o, más comúnmente,

+2). Un enfoque similar se defiende para las pruebas isométricas de la cadena posterior (Wollin et al., 2020), como se describe en el módulo 2 de este curso (con el que a menudo se combinan las evaluaciones CMJ) (conferencia AFC SEMS, 2019).

Los estudios observacionales que no controlan la entrada (es decir, la carga a la que se expone el atleta) también han contribuido a la comprensión de la LRM y la NMF. Estos estudios suelen evaluar a deportistas de alto nivel, para quienes la participación en "protocolos" establecidos para producir fatiga es mucho menos factible. Aunque los estudios observacionales no controlan la carga aplicada, que comprende los patrones de carga variables y caóticos de la competición real con sesiones de entrenamiento y acondicionamiento dentro y fuera del terreno de juego, sí suelen controlar los protocolos de evaluación neuromuscular y las condiciones en las que se realizan. Estos estudios pueden abarcar un periodo específico de la temporada, un torneo o, incluso, toda la temporada. También pueden medir de forma coherente la carga en el terreno de juego mediante GPS, lo que permite analizar la relación entre la entrada y la respuesta, como se explica más adelante en la caja de herramientas.

La mayoría de los estudios han evaluado el rendimiento en saltos tras competiciones y entrenamientos deportivos de alta intensidad intermitente y sprint (HIIS) (especialmente rugby, fútbol y fútbol australiano). Pero también hay pruebas que demuestran que el rendimiento de salto y/o la fuerza isométrica son sensibles a la fatiga aguda y/o acumulada en pruebas de media-larga distancia, deportes de combate, voleibol, tenis y otros. Además, dado que muchas de las cargas fisiológicas y mecánicas asociadas a los deportes HIIS también se dan en otros deportes de equipo e individuales, podemos, con precaución, extrapolar algunos de estos datos a un amplio espectro de esfuerzos atléticos que tienen un componente significativo de carga en la parte inferior del cuerpo, pero para los que existe una base de pruebas menor o nula. A pesar de las diferencias técnicas entre deportes, existen tensiones fisiológicas y mecánicas comunes que provocan fatiga central y periférica, como el agotamiento del sustrato, la hipertermia, la fatiga del sistema nervioso, el daño y la alteración muscular mecánica, el estrés oxidativo y las respuestas inflamatorias.

El estrés mecánico que provoca alteraciones en la bioquímica muscular, daños estructurales en la fibra muscular e interrupciones en la membrana muscular (Fridén et al., 1983) se traduce en una disminución de la capacidad del músculo para producir fuerza activa y potencia, los componentes del rendimiento atlético más comúnmente evaluados en la investigación de la fatiga. Sin embargo, las disminuciones en el tiempo de reacción, la propiocepción (Brockett et al., 1997), la amplitud de movimiento y la disminución de la eficiencia del movimiento (aumento del coste energético para realizar una actividad determinada), así como las alteraciones en el patrón de activación muscular, también se asocian con el daño

muscular inducido por el ejercicio (EIMD). Estos cambios también pueden repercutir de forma independiente en el rendimiento de los atletas y algunos incluso podrían aumentar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas durante el entrenamiento o la competición.

Como efecto secundario del EIMD, que habitualmente se manifiesta por un aumento de los niveles sanguíneos de las enzimas musculares creatina quinasa (CK) y lactato deshidrogenasa, se inician procesos inflamatorios que pueden subyacer a la sensación de dolor muscular de aparición retardada (DOMS). Sin embargo, el curso temporal de la normalización de los marcadores sanguíneos, la función muscular y el DOMS no están estrechamente asociados entre sí, y los entrenadores y atletas deben ser conscientes de que la recuperación del DOMS no es por sí sola un marcador válido o fiable de la recuperación del NMF.

La investigación muestra que la respuesta residual al entrenamiento/competición, cuantificada por los niveles de CK, está fuertemente relacionada con la cantidad de actividad de alta intensidad realizada (Nedelec et al., 2013), siendo la vulnerabilidad al daño mayor durante las contracciones de alargamiento (Faulkner et al., 1993) y en las longitudes de fibras largas (Newham et al., 1988); por otro lado, el daño a las fibras musculares puede producirse durante todo tipo de contracciones, y no solo tras un ejercicio de alta intensidad, sino también de larga duración (Kyröläinen et al., 2000).

Además, la magnitud del EIMD y el grado de fatiga del NMF asociado que se reflejan en una disminución del rendimiento de salto también se ven influidos por las características y los patrones de carga del entrenamiento/competición. El estrés mecánico y la EIMD son mayores después de correr que de andar en bicicleta (Bell et al., 2000) y mayores cuando la distancia recorrida incluye un mayor número de cambios de dirección (con sus aceleraciones-desaceleraciones asociadas), en comparación con la misma distancia recorrida en línea recta (Oliver et al., 2008). Los efectos específicos de la carga de desaceleración en los futbolistas se tratan más adelante. Los impactos con jugadores oponentes (Pointon y Duffield, 2012; McLellan y Lovell, 2012) también acentúan los marcadores de NMF, al igual que el estrés mental asociado a la competición (Marcora et al., 2009).

Mientras que el análisis de la CK y la LDH nos ha ayudado a comprender la respuesta aguda a nivel celular de los episodios individuales de ejercicio y actividad deportiva, en los estudios a largo plazo realizados fuera del laboratorio a lo largo de microciclos o temporadas, la "hormona del estrés" (cortisol) es un biomarcador más utilizado para evaluar la fatiga acumulada y la recuperación. Varios estudios han demostrado que los cambios en el rendimiento de salto pueden reflejar el daño muscular/los niveles de CK en sangre (Coutts et al., 2007) o los niveles de cortisol salival (Balsalobre-Fernández et al., 2014; Chatzinikolau et al., 2010).

También hay algunas pruebas de que el rendimiento de salto puede ser un marcador más sensible, en el sentido de que se han notificado déficits sin cambios en el cortisol salival (McLean et al., 2010) o después de que la CK y la LDH hayan vuelto a la normalidad. Esto puede deberse a que el NMF reflejado en los déficits en el rendimiento de salto pueda ser indicativo de fatiga periférica (relacionada con alteraciones metabólicas y estructurales dentro del músculo) o central (relacionada con la activación/inhibición neural del músculo o como mayor sensación de esfuerzo y percepción de cansancio).

Por ejemplo, en atletas entrenados en fuerza que se recuperan de un ejercicio de resistencia intenso, se ha observado que las fluctuaciones en el rendimiento de salto siguen patrones de cambio similares a los de las medidas directas de la capacidad de producción de fuerza muscular (Raastad y Hallén, 2000). Esto indica fatiga periférica, mientras que también se han observado déficits de salto después de ejercicios de resistencia de larga duración en los que no se observa pérdida de producción de fuerza muscular (Petersen et al., 2007), lo que indica una disminución del impulso central o de la activación muscular. Además, la NMF puede indicar la necesidad de aumentar el aporte energético. Aunque los niveles bajos de glucógeno muscular se asocian tradicionalmente con déficits en el rendimiento de resistencia y pueden no ser un factor limitante en la realización de ejercicios cortos de alta intensidad, los niveles bajos de glucógeno también pueden iniciar cambios funcionales en la célula de la fibra muscular, que reducen la independencia de la producción de fuerza muscular (Fitts, 1994).

### **¿Por qué saltos?**

Podría parecer lógico que la medida más específica de las fluctuaciones en el rendimiento de un deportista a lo largo de un ciclo de entrenamiento fuera evaluar algún aspecto del rendimiento en competición. Sin embargo, este enfoque plantea una serie de dificultades metodológicas y prácticas. En el fútbol, por ejemplo, es probable que la fatiga afecte a la cantidad de carreras de alta velocidad realizadas por un jugador en un partido. Sin embargo, una serie de factores contextuales como la táctica, el rendimiento del oponente y el marcador, que son independientes del estado neuromuscular del jugador, también influirán en ese volumen de HSR. Como tal, ¿puede atribuirse una reducción del rendimiento a la fatiga? Si bien las mediciones del rendimiento máximo de sprint que teóricamente podrían obtenerse en el entrenamiento con tecnología de seguimiento o radar dentro de la semana de entrenamiento, los entrenadores generalmente no están dispuestos a permitir que los científicos deportivos implementen esas pruebas y los jugadores a menudo se resisten a las pruebas de sprint máximo dentro de la temporada, debido a la preocupación de que esto pueda contribuir a la fatiga, así como al riesgo de lesiones.

Como se destaca en todo el certificado, el CMJ, particularmente cuando se realiza en plataformas de fuerza con la cinética derivada, en lugar de una prueba de salto, es una evaluación del rendimiento excéntrico y concéntrico y de la cinemática indirecta en la triple extensión de los miembros inferiores. Como tal, en el contexto de la detección de la fatiga durante el control de la respuesta a la carga, proporciona una evaluación indirecta de los marcadores de fatiga inducidos por alguna combinación de alteración central, neuromuscular y/o metabólica en un breve movimiento multiarticular de esfuerzo máximo no fatigante, relativamente de alta velocidad y baja carga, sin contribuir más a la exposición a la carga o al riesgo. Por lo tanto, estas evaluaciones son medidas de fatiga neuromuscular ampliamente aplicadas, con el potencial de captar la fatiga periférica en la cadena cinética de las extremidades inferiores, la fatiga central y las tendencias específicas de las extremidades (en fuerza e impulso).

Los saltos con contramovimiento (CMJ), drop jumps (DJ) y squat jumps (SJ) son los más investigados en el contexto del seguimiento de la recuperación de la fatiga (Ebben et al., 2008; Cormack et al., 2008; Stephenson et al., 2011), siendo el CMJ el más investigado. De los estudios sobre saltos, una proporción sustancial se realizó con dispositivos de contacto u ópticos. Por lo tanto, las variables más comúnmente investigadas evaluadas en estos saltos son la altura de salto en el CMJ y el SJ, y en el DJ también el tiempo de contacto, lo que permite calcular el índice de fuerza reactiva (RSI) (= altura de salto/tiempo de contacto), además de la altura de salto. Sin embargo, en un metaanálisis reciente de los cambios agudos y residuales en el rendimiento del salto en respuesta a un partido de fútbol, la mayoría de los que utilizaron plataformas de fuerza solo registraron la potencia máxima concéntrica y, ocasionalmente, la fuerza máxima, además de la altura del salto (Hader et al., 2019).

La baja inversión de tiempo y la facilidad de evaluación implican minimizar la interrupción de los programas de entrenamiento. La menor demanda técnica y la mayor familiaridad con la prueba, la mayor fiabilidad de las métricas cinéticas relevantes en comparación con otros saltos (Gathercole et al., 2015a), la menor percepción de la carga entre los atletas (es decir, en relación con el drop jump), implica que, basándose en una combinación tanto de la base de pruebas como de factores prácticos, el CMJ con plataforma de fuerza es, en la mayoría de los entornos, el salto óptimo para controlar periódicamente la NMP en grupos de atletas durante la temporada.

También es importante que los profesionales comuniquen a los entrenadores y, posiblemente, al atleta, que en el contexto de la LRM, el CMJ no se utiliza para reevaluar repetidamente el rendimiento del salto y que, deliberadamente, no es específico del deporte, es decir, se utiliza el protocolo de manos en la cadera/drop jump para minimizar la contribución del tronco y la parte superior del cuerpo y las

posibles compensaciones que pueden enmascarar alteraciones en el rendimiento neuromuscular de las extremidades inferiores (Schmitz et al., 2013). Además, se ha demostrado que el valor del CMJ u otras pruebas de salto en LRM no depende de que los saltos verticales o incluso los esfuerzos máximos/explosivos sean un componente de las actividades de entrenamiento o competición de un atleta. Estas pruebas son un indicador del estado neuromuscular durante un entrenamiento intensivo de sobrecarga (que puede ser el resultado de un volumen acumulado de actividades tanto de intensidad moderada como alta). Se ha descrito una disminución de la altura de salto en soldados sometidos a un esfuerzo físico prolongado con ingesta de alimentos y sueño limitados (Welsh et al., 2008) a pesar de que los saltos no son un componente importante de su actividad. Del mismo modo, se ha demostrado que el rendimiento de salto es un índice útil de la fatiga aguda y acumulada en corredores de élite de distancia media (Balsalobre-Fernández et al., 2014) y tras pruebas de mayor distancia como la maratón.

Cabe destacar que otras medidas del rendimiento neuromuscular, como la evaluación de la fuerza máxima o la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) en grupos musculares únicos o múltiples, también son sensibles a la NMF resultante del entrenamiento y la competición, y tienen un papel potencial en la LRM. Por otro lado, la dinamometría isocinética, considerada la medida de referencia de la fuerza dinámica y útil en entornos de investigación para comprender mejor los cambios específicos del ángulo o la velocidad en la fatiga de grupos musculares específicos, probablemente no sea una herramienta práctica para el seguimiento regular. De hecho, los déficits en el rendimiento de salto pueden (Thorlund et al., 2008) o no (Chatzinikolau et al., 2010) ser paralelos a los cambios en las medidas de fuerza isométrica o isocinética máxima dentro de grupos musculares específicos de la parte inferior del cuerpo. Por ejemplo, una sesión de entrenamiento pliométrico que redujo significativamente el rendimiento en SJ y CMJ entre un 8 y un 20% entre 24 y 72 horas después del ejercicio no produjo ninguna reducción en las medidas de fuerza isométrica o isocinética (Chatzinikolau et al., 2010). Del mismo modo, en los jugadores de fútbol profesional, un protocolo de sprint intermitente que dio lugar a disminuciones significativas en la altura del CMJ inmediatamente después del ejercicio, y 48 y 72 horas después del ejercicio, no produjo cambios significativos en la fuerza máxima isométrica en ningún momento (Nedelec et al., 2013). En jugadores de rugby amateur, la privación de sueño provocó una respuesta acentuada de la CK tras el partido, un descenso del rendimiento cognitivo y una disminución del rendimiento del CMJ en comparación con los cambios observados tras un período de sueño normal. Sin embargo, no hubo diferencias en la fuerza isométrica máxima en los extensores de la rodilla entre las dos condiciones (Skein et al., 2013). Por el contrario, en jugadores de nivel nacional, durante un torneo de tenis de 3 días en el que se observaron descensos significativos en la fuerza

isométrica máxima de las extremidades inferiores (prensa de piernas) (26%) y en la tasa de desarrollo de la fuerza (38%), no se observaron cambios significativos en la altura del CMJ (Ojala y Häkkinen, 2013). Estos datos sugieren que, en algunos casos, puede estar justificada la supervisión tanto del salto como del rendimiento isométrico para detectar componentes específicos o puntos de fatiga en el sistema neuromuscular.

### ***¿Qué salto?***

El CMJ y el DJ, no así el SJ, implican el ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) para lograr un rendimiento óptimo en el salto (Markovic et al., 2004) y, por lo tanto, son los más apropiados para la evaluación de la FRM en deportes que implican carreras (y/o saltos) de alta velocidad que dependen de movimientos rápidos y explosivos de SSC (Maffiuletti et al., 2000; Chaouachi et al., 2014). El SSC es una combinación de una contracción muscular excéntrica de alta velocidad seguida inmediatamente de una contracción concéntrica, que se ve potenciada por el rápido estiramiento previo precedente (Nicol et al., 2006). Por lo tanto, una prueba que incluya un componente excéntrico de alta velocidad, como el CMJ o el DJ, puede considerarse la más válida desde el punto de vista ecológico para los movimientos comunes a la mayoría de los deportes, en particular los asociados a la mayor demanda mecánica.

El SJ, cuyo objetivo es eliminar la contribución del SSC al rendimiento en salto aislando potencialmente la producción de potencia concéntrica de la contribución del reflejo de estiramiento y la energía elástica, también es sensible a la NMF. El SJ ha sido menos estudiado en el contexto de la FRM y se ha observado que es menos sensible a la FNM cuando se compara directamente con el CMJ tras repetidos sprints de alta intensidad. Sin embargo, también existen pruebas de que el SJ puede ser una mejor medida de la fatiga tras tipos específicos de carga. La fatiga inducida por un gran volumen de entrenamiento dinámico de la fuerza de la parte inferior del cuerpo (sentadillas) provocó déficits en el rendimiento del SJ, pero no en el CMJ ni en el DJ (Byrne y Eston, 2002). Esto sugiere que una mayor contribución de la SSC mediante un mayor contramovimiento en la prueba CMJ o DJ logró compensar la NMF, lo que se puso de manifiesto en el SJ sin SSC.

Por lo tanto, aunque puede que no refleje la fatiga/daño excéntrico/específico del SSC, el SJ no debe descartarse como herramienta en el seguimiento de la NMF. No parece que exista un tipo de salto universalmente superior, sino que los entrenadores deben tener en cuenta qué actividades pretenden evaluar a partir de la recuperación a la hora de seleccionar el tipo de prueba de salto empleada en la LRM. Es probable que los diferentes patrones de movimiento, perfiles de activación muscular y formas de actividad de SSC dentro del entrenamiento y la competición en diferentes deportes se reflejen en diferentes respuestas a la fatiga y contribuyan a la variación observada en la sensibilidad de estas pruebas de salto a la NMF. Si el

entrenamiento/competición implica una mezcla de SSC y no SSC (en bloques paralelos o de entrenamiento), puede ser útil aplicar una combinación de saltos para identificar y diferenciar los efectos del entrenamiento/competición sobre los componentes de la NMF.

### **Evaluación de la altura de salto como medida de la fatiga aguda**

Las disminuciones de la altura de salto observadas tras sesiones de competición o entrenamiento simuladas o reales en una variedad de ejercicios y competiciones reales o simuladas sugieren que se trata de un marcador válido de la fatiga aguda. Las disminuciones posteriores a la competición en la altura del CMJ (Nedelec et al., 2014; Nedelec et al., 2013) o en la altura del CMJ y el SJ (Oliver et al., 2008) se registran en varios deportes HIIS. Si bien la mayor cantidad de evidencia proviene de deportes HIIS, también se ha reportado la altura tanto del SJ como del CMJ después de un partido competitivo de kickboxing (Ouergui et al., 2013), disminuciones del 5% del CMJ después de balonmano simulado (Thorlund et al., 2008), y disminución del CMJ y del DJ después de carreras de larga distancia, entre otros.

Estos datos se basan en investigaciones diseñadas para determinar y validar el rendimiento de salto como medida de fatiga dentro de un grupo específico de atletas o deporte y, en algunos casos, también para comparar su sensibilidad con la de otras medidas basadas en el laboratorio. La evaluación de la NMF aguda con salto (u otras pruebas de fuerza/potencia) tras una sesión de entrenamiento o evento competitivo mediante pruebas realizadas inmediatamente antes y después de la sesión de entrenamiento/evento claramente no describe el ciclo completo de fatiga-recuperación. Sin embargo, puede ser útil para el entrenador hacer lo siguiente:

- Evaluar la resistencia de fuerza/potencia del deportista mediante la medición de los cambios antes y después de una actividad deportiva fatigante específica. Por ejemplo, Boullosa et al. (2011) recomendaron la evaluación del rendimiento CMJ antes y después de una prueba de carrera incremental como una medida útil de las adaptaciones musculares en atletas de resistencia. También descubrieron que los cambios en el rendimiento del CMJ se correlacionaban con las mejoras en el rendimiento del sprint, pero los temores al riesgo de lesiones al realizar sprints en condiciones de fatiga hacen que las pruebas de salto sean posiblemente un medio más seguro y aceptable de evaluar los cambios para analizar la resistencia a la fatiga como parte del perfil de rendimiento y/o después de un bloque de entrenamiento.
- Evaluar y perfeccionar la eficacia de las estrategias de recuperación tras el ejercicio. En tenistas de élite, los cambios en la altura del CMJ difirieron entre las intervenciones de recuperación posteriores al entrenamiento (inmersión en agua fría, prendas de compresión y recomendaciones de sueño), que se reflejaron en

diferencias en el tiempo de juego y la tasa de golpes en la competición posterior (Duffield et al., 2014).

### ***Ausencia de cambios en la altura de salto con fatiga aguda***

Sin embargo, también hay varios ejemplos en la bibliografía en los que la altura del CMJ no mostró los descensos esperados en una sesión de entrenamiento posterior a la competición/al entrenamiento "fatigante". No se registraron cambios en la altura del CMJ o del SJ en jugadores de fútbol universitario inmediatamente después de un partido, aunque se observaron descensos en ambos a las 24 horas (Hoffman et al., 2003). En jugadores de fútbol de élite, Mohr y Krstrup (2013) no encontraron ninguna disminución en la altura del CMJ después de un partido de fútbol competitivo jugado en condiciones templadas, pero sí después de que los mismos jugadores compitieran en un ambiente caluroso (con una disminución significativa del 6%). En futbolistas profesionales australianos, la altura del CMJ no mostró disminuciones significativas después de un partido (Cormack et al., 2008); y en futbolistas aficionados, se observó una disminución significativa de la altura del SJ, pero no de la altura del CMJ, después de un partido de fútbol simulado (Robineau et al., 2012). Mientras que, como se discute más adelante, la altura del CMJ puede de hecho no ser un marcador consistentemente válido de la fatiga, también es importante considerar que la falta de disminución esperada después de la actividad fatigante también podría deberse a lo siguiente:

- Un calentamiento inadecuado antes de la prueba de salto previa al ejercicio, de forma que el aumento de la temperatura muscular generado por el ejercicio conduzca a un aumento de la velocidad de acortamiento muscular y del rendimiento de salto máximo después de un entrenamiento o competición "fatigantes".
- Aumento del rendimiento de salto después del ejercicio debido a la potenciación posterior a la activación (PAP), reducción inducida por la fatiga en la producción de fuerza, que se manifiesta como un aumento transitorio después del ejercicio en CMJ (Boullosa et al., 2011), también observado en el rendimiento de DJ (Comyns et al., 2011).

Debido a estos factores, al aplicar o experimentar con el uso de pruebas de salto para el seguimiento agudo, los entrenadores deben tener en cuenta:

- La ventana asociada a la PAP después del ejercicio si la prueba de salto se está utilizando para evaluar la fatiga aguda (en lugar de la PAP), inmediatamente después del entrenamiento o la competición. De hecho, en una serie de casos de dos jugadores de la EPL que realizaron evaluaciones de CMJ antes y después de un partido de competición, se observaron

mejoras sustanciales no sólo en la altura del salto, sino también en una serie de variables cinéticas (Stevenson, 2022).

- Un calentamiento adecuado antes de las pruebas de salto previas al ejercicio es fundamental para la evaluación de la potencia máxima real, especialmente si se realiza por la mañana, cuando la temperatura muscular y la producción de potencia son sustancialmente más bajas. Por ejemplo, un calentamiento dinámico puede aumentar la altura del CMJ en 4,7 cm (~14%) (Schmitz et al., 2013).

### **Pruebas de salto para cuantificar la fatiga/recuperación residual acumulada**

La fatiga de la SSC es un proceso bifásico, ya que se divide en dos fases de recuperación:

- 1) La disminución aguda de la función de SSC inmediatamente después del ejercicio, que se recupera en 1-2 horas.
- 2) La recuperación transitoria que provoca una disminución de SSC en torno a los 2 días, que tarda otros 4-8 días en recuperarse (Komi, 2000; McLellan, 2011; Gathercole et al., 2014).

Los parámetros de rendimiento del CMJ vuelven a los valores de referencia a ritmos variables tras una competición/simulación de competición o sesiones de entrenamiento intensas, y la mayoría se "normalizan" a las 96 horas (McLean et al., 2010).

Por lo tanto, las pruebas de salto como parte de la LRM suelen realizarse en la práctica entre 2 y 4 días después de la competición para evaluar la FNM/recuperación y la preparación para el entrenamiento/la competición posteriores. También hay pruebas sustanciales de que la altura del CMJ es un indicador de la segunda fase de recuperación, y posiblemente más que otras pruebas funcionales. Se han registrado disminuciones 48 horas después del partido en jugadores profesionales de rugby (McLean et al., 2010). Tras una sesión de entrenamiento de intervalos de alta intensidad de 4 x 4 min, la altura del CMJ de los jugadores de fútbol se redujo durante 48 horas, mientras que el tiempo de sprint de 20 m, una prueba de 5 saltos por distancia y la respuesta de la HR se recuperaron en 24 horas (Sjökvist et al., 2011). También se registran reducciones significativas en la altura del CMJ durante torneos con competiciones más frecuentes o entrenamiento intensos (Rogaland et al., 2005).

Existen pruebas fehacientes de que los cambios en la altura del CMJ son relevantes en la LRM durante períodos más largos, como las fases de entrenamiento y las temporadas. En jugadores de rugby semiprofesionales, se observaron aumentos de la altura del CMJ durante una fase de disminución de la intensidad después del

entrenamiento, paralelamente a la recuperación de una serie de biomarcadores (Coutts et al., 2007). En corredores de media y larga distancia, se evaluó la altura del CMJ a lo largo de una temporada competitiva, y los rendimientos más altos y más bajos de la altura del CMJ en la semana anterior a la competición predijeron los mejores y los peores rendimientos competitivos, respectivamente.

### ***Sin cambios en la altura del salto en el seguimiento de la fatiga residual/acumulada***

Sin embargo, como se ha comentado anteriormente en relación con los cambios en la altura del CMJ y la fatiga aguda, también hay una serie de resultados contradictorios en la literatura científica e informes de profesionales que trabajan con atletas de élite, que sugieren que la evaluación de la altura del CMJ no es un marcador universalmente consistente de la fatiga residual/acumulada.

Hamilton (2009) no observó cambios significativos en la altura del CMJ en pruebas diarias de jugadores jóvenes de fútbol que participaron en un torneo compuesto por días consecutivos de partidos. En jugadores de voleibol, 11 días de intensificación de la carga de entrenamiento que condujeron a un aumento de los niveles de CK y a una alteración de las medidas psicológicas de estrés y fatiga no se asociaron a ningún cambio significativo en la altura del CMJ (Freitas et al., 2014). En atletas de élite de yudo evaluados a lo largo de un régimen de entrenamiento de 10 semanas que incluía una fase de entrenamiento normal, una fase de sobreentrenamiento y una fase de disminución progresiva, se observaron cambios significativos en la fuerza isocinética y la velocidad de sprint, pero no en la altura del CMJ (Callister et al., 1990). Del mismo modo, no se encontraron cambios significativos en el SJ o la altura del CMJ en tenistas jóvenes entrenados durante un período de 4 semanas de sobrecarga progresiva y un período de disminución de 1 semana, a pesar de las cargas máximas de entrenamiento en la 3ª y 4ª semana, lo que provocó alteraciones en el cortisol y los niveles de estrés medidos subjetivamente (Gomes et al., 2013).

Estos hallazgos son dignos de mención, pero, como se discutió anteriormente en relación con la fatiga aguda y el cambio en la altura del CMJ en torno al mayor conjunto de pruebas que apoyan el uso de la altura del CMJ como marcador de la fatiga residual, los entrenadores también deben considerar que la falta de cambio en la altura del CMJ en LRM también puede explicarse por:

- Estrategias de recuperación y recuperación eficaces. Por ejemplo, en jugadores de élite jóvenes sometidos a pruebas diarias, Malone et al. (2014) demostraron que un microciclo que enfatizaba la preparación técnica y la recuperación para un próximo partido de competición no conducía a variaciones significativas en la altura del CMJ. Estos resultados podrían no reflejar una sensibilidad inadecuada de la altura del CMJ, sino una carga de

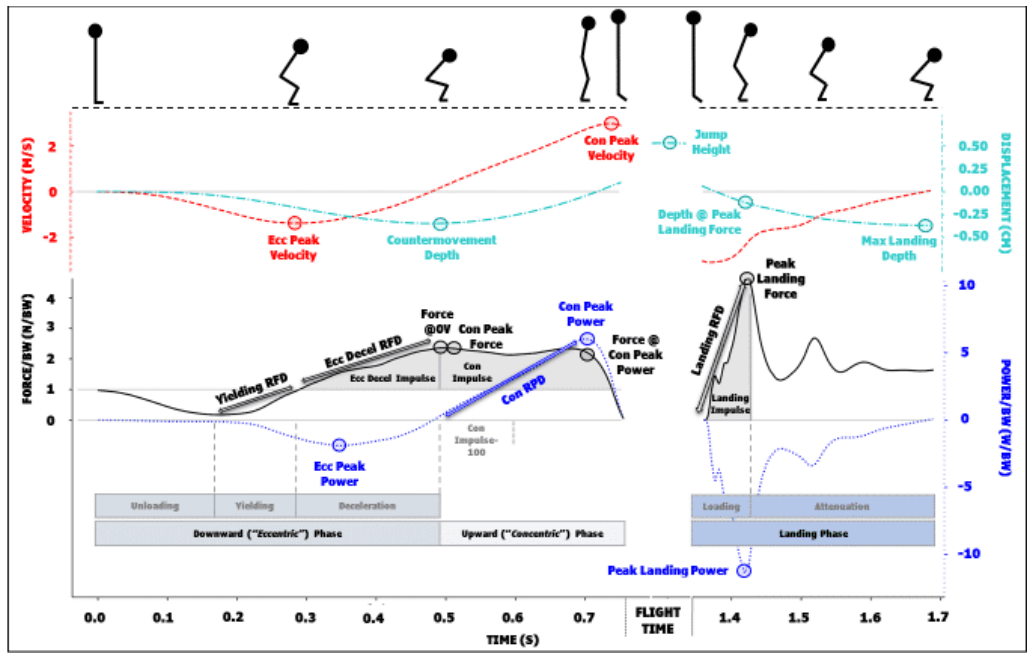
entrenamiento que fue diseñada para evitar la sobrecarga que induce fatiga durante el microciclo, y que al parecer lo logró.

- En los atletas que han vuelto recientemente al entrenamiento tras una lesión, la NMF asociada a la carga de entrenamiento puede estar enmascarada por mejoras en el rendimiento neuromuscular a raíz de adaptaciones neurales positivas concurrentes al entrenamiento de fuerza/potencia. Del mismo modo, en los atletas que son nuevos en el tipo de salto o prueba de fuerza/potencia que se utiliza en LRM, los incrementos de rendimiento relacionados con la familiarización con la prueba podrían enmascarar la NMF acumulada subyacente. Es más probable que esto ocurra con una prueba técnicamente más difícil, como el drop jump, que con el CMJ, pero incluso podría ocurrir en el CMJ de manos en la cadera en atletas para los que el salto no es un componente del programa de entrenamiento, del deporte o de las pruebas de rendimiento.

### **Variables de salto alternativas**

Una vez esbozadas algunas de las pruebas contradictorias en torno al uso de la altura del CMJ y el SJ como marcadores de la fatiga aguda, residual y acumulada, es importante centrarse ahora en la distinción entre la evaluación de la altura del CMJ o el SJ y la "cinética del salto" en LRM. Además de la altura del CMJ, otras métricas descritas en el curso "Evaluación de la fuerza e introducción a la cinemática" y que se muestran en la figura 3, pueden evaluarse con plataformas de fuerza durante la ejecución de un CMJ, SJ o DJ. En la LRM, con algunos ejemplos de comparación con SJ (Gathercole et al., 2015; Hughes et al., 2019; Hughes et al., 2022; y DJ (Oliver et al., 2008; Gathercole et al., 2015) o salto con una sola pierna (Bishop et al., 2022), la gran mayoría de las pruebas experimentales y observacionales describen la cinemática CMJ.

### **Figura 3: Cinética CMJ bilateral**



Cohen & Kennedy, NSCA: Essentials of Sports Science (2021)

Fuente: Cohen y Kennedy, 2021.

Tras el estudio precursor de Cormie et al (2009; 2010) que describe el análisis no solo de la fuerza-tiempo, sino también de las curvas de potencia-tiempo, velocidad-tiempo y tiempo de desplazamiento, dos grupos de investigación en particular (Cormack et al. y posteriormente Gathercole et al.) publicaron estudios de referencia que examinaban la cinética del CMJ en respuesta a la fatiga aguda, residual y a lo largo de la temporada, así como al estímulo del entrenamiento.

El cambio de paradigma que promovió este trabajo fue el hecho de que el CMJ no identificara de forma consistente la fatiga no se debía a que el CMJ fuera la evaluación incorrecta a emplear, sino a la dependencia de la altura del CMJ como parámetro de resultado. El trabajo de Cormack et al. en futbolistas de élite de la liga australiana y el de Gathercole et al. (2014, a,b) en otros atletas en particular proporcionan una explicación para la estabilidad inesperada del cambio en la altura del CMJ en el ciclo de fatiga-recuperación, al que se ha hecho referencia anteriormente. En concreto, demostraron que la altura del CMJ puede mantenerse en condiciones de fatiga aguda, residual o acumulada como resultado de alteraciones en la "estrategia" de salto (Cormack et al., 2008a,b; Cormack et al., 2013; Gathercole et al., 2014; 2015a, 2015b). La estrategia ha llegado a ser un paraguas para las métricas cinéticas que reflejan las cualidades neuromusculares y la biomecánica del salto que se expresan en cómo se aplica la fuerza, las duraciones, el desplazamiento, las proporciones. Esta comprensión se inició con la observación de Cormack et al., 2008, en la que mientras que la altura del salto CMJ mostraba una disminución estadísticamente "trivial" del 1,5% y 0,8% inmediatamente después y 24 horas después de un partido de fútbol australiano de competición, los cambios correspondientes en la relación entre el tiempo de vuelo y

el tiempo de contracción (definido como el tiempo entre el inicio del contramovimiento y el despegue de la punta del pie, es decir, despegue) –"FT:CT"- fueron del 7,5% y el 7,8%, lo que representa un cambio estadísticamente sustancial, de modo que a pesar de que los atletas mostraron en general una altura del CMJ normal 24 horas después del partido, disminuyó el FT:CT, lo que también se asoció con otros marcadores objetivos de fatiga, como el cortisol. Basándose en este y otros trabajos a lo largo de la temporada, determinaron que FT:CT seguía estando significativamente por debajo de los niveles de referencia 72 horas después del partido y concluyeron que esta métrica, pero no la altura de salto, refleja la segunda fase de la recuperación de la SSC.

Otro estudio que se encuentra en el núcleo de la base de pruebas para la evaluación del CMJ con plataforma de fuerza es el de Cormack et al. (2013), que examinó la asociación entre el rendimiento en las evaluaciones del CMJ y el rendimiento en carrera durante el partido a lo largo de una temporada en jugadores profesionales de la AFL. Evaluaron las asociaciones entre los cambios en FT:CT en un CMJ semanal (en comparación con los valores de referencia de pretemporada) y el rendimiento en carrera (evaluado con GPS-acelerometría) durante el partido siguiente. Demostraron que los déficits estadísticamente significativos en el FT:CT en el CMJ vertical eran predictivos de un peor rendimiento en carrera a alta velocidad, lo que subraya el valor de la evaluación para detectar alteraciones neuromusculares de las extremidades inferiores que no solo influyen en el rendimiento en el vector vertical. La disminución de FT:CT se asoció con un menor tiempo de permanencia en las velocidades de carrera más altas, menos aceleraciones y una menor eficiencia del movimiento. La reducción de la eficiencia del movimiento puede promover una fatiga metabólica más temprana dentro de la competición a través de un aumento del coste energético del movimiento y puede afectar negativamente al rendimiento técnico y al volumen de actividades de alta intensidad como la carrera a máxima velocidad y las aceleraciones (Cormack et al., 2013; Mooney et al., 2013). Además, la FT:CT predecía reducciones en la eficiencia de los movimientos en competición, de magnitud suficiente para ser identificados subjetivamente por los entrenadores a través de valoraciones más bajas del rendimiento en el partido (Cormack et al., 2013; Mooney et al., 2013). Los autores suponen que las estrategias de ritmo y/o las alteraciones de la rigidez vertical explican el aumento de la carrera a ritmo constante en el extremo inferior del continuo HSR y la reducción de la carrera a mayor velocidad y de las aceleraciones y desaceleraciones. Los autores eligieron examinar FT:CT basándose en los resultados de su trabajo anterior, lo que plantea la posibilidad de que otras variables cinéticas CMJ puedan haber mostrado asociaciones más fuertes. En un análisis a lo largo de la temporada en la AFL, Norris et al., (2021) encontraron asociaciones significativas pero triviales de ES entre un aumento relativo (del jugador) en la carrera a alta velocidad (HSR) y la cinética específica del CMJ: Fuerza a velocidad

cero ( $d=0,12$ , IC:  $\pm 0,12$ ), y suma de aceleraciones de alta intensidad y desaceleración excéntrica RFD ( $d=-0,18$ , IC:  $\pm 0,14$ ). También identificaron que una mayor fuerza isométrica máxima al inicio de la temporada (en el IMTP) y una mayor potencia máxima CMJ-concéntrica moderaron las respuestas con las del partido; los valores más altos se asociaron con menores descensos en la potencia media excéntrica y la altura del salto. Johnston et al., (2015) también informaron una menor respuesta de fatiga residual al partido en jugadores de rugby que tenían mayor fuerza dinámica (en cuclillas) y un mayor examen de las asociaciones entre el CMJ (y otras pruebas de salto e isométricas) derivadas de las cualidades neuromusculares y la resiliencia o capacidad de recuperación del partido es un área importante para futuras investigaciones.

Otras cinéticas CMJ comúnmente examinadas fueron la fuerza máxima y la potencia concéntrica máxima/media (también pueden tener mayor sensibilidad a los aspectos de la fatiga que la altura del salto). Los jugadores de fútbol universitarios que no mostraron cambios en la altura del SJ o CMJ inmediatamente después de un partido de fútbol de competición sí demostraron disminuciones en la fuerza máxima del SJ y CMJ, que estaban directamente relacionadas con el tiempo de juego (Hoffman et al., 2003). En jugadores profesionales de rugby, mientras que la altura del CMJ sí disminuyó 24-48 horas después de la competición, la fuerza máxima relativa del CMJ, pero no la altura del salto del CMJ, varió en función de diferencias sutiles (2 días) en la duración de los microciclos de entrenamiento previos al partido (McLean et al., 2010). En los jugadores de rugby de élite, las disminuciones en la RFD máxima CMJ y la potencia máxima concéntrica CMJ, 30 minutos y 24 horas, después del partido se asociaron con la intensidad y el número de fuerzas de impacto (traumatismo por objeto contundente durante las colisiones) experimentadas durante el partido, mientras que la fuerza máxima CMJ solo se redujo después del partido y se recuperó 24 horas después (McLellan y Lovell, 2012).

La fuerza máxima parece mostrar cierto valor como marcador de fatiga aguda, mientras que las variables más dependientes de la velocidad, como la potencia media o máxima, parecen ser más sensibles a la respuesta inflamatoria residual al entrenamiento/competición, y la fuerza máxima se ve menos afectada (Johnson et al., 2013; McLellan et al., 2011; Cormack et al., 2008). Esto puede estar relacionado con el mayor deterioro de las fibras de tipo II más rápidas, de manera que no se puede mantener la fuerza máxima; por otro lado, una mayor contribución de las fibras de tipo I más lentas a la producción de fuerza es capaz de compensar para mantener la producción de fuerza máxima (Johnson et al., 2013; Friden y Lieber, 1992). Como resultado, se sugirió que las variables de rendimiento CMJ que incorporan un componente de velocidad o tiempo pueden ser más sensibles, en particular a la fatiga residual, al menos en HIIS (Johnson et al., 2013) y otros deportes con un componente significativo de alta velocidad.

### ***Evolución continua de los parámetros cinéticos del CMJ en la detección de la fatiga***

Las publicaciones que surgen de Gathercole y sus colegas marcan la siguiente fase en la evolución del análisis cinético del CMJ en LRM. Su trabajo progresó a partir del de Cormack y otros, examinando las alteraciones en una serie de métricas cinéticas del CMJ, que ellos describieron como "variables de salto alternativas", y demostraron que también eran indicadores más sensibles de la fatiga aguda y residual, y de las adaptaciones al entrenamiento, no solo que la altura del salto, sino también que otras métricas "típicas" (comúnmente reportadas), como la potencia máxima concéntrica. Examinaron el tiempo de contracción (separado de FT:CT) y las duraciones de las fases excéntrica y concéntrica constituyentes y el tiempo hasta puntos discretos (como la fuerza máxima o la potencia máxima), así como nuevas métricas de puntos discretos como la fuerza a velocidad cero. A las 72 horas después de un protocolo de fatiga de alta intensidad, las alteraciones en variables de salto alternativas específicas (Gathercole et al., 2015 a,b) o métricas cinéticas CMJ derivadas de la curva FT obtenida cuando el CMJ se realiza en una plataforma de fuerza, fueron mayores que la variación biológica normal, pero la altura de salto no lo fue (figura 5 a continuación).

Anteriormente, se informó que la velocidad máxima de sprint puede mantenerse a pesar de la fatiga neuromuscular aguda subyacente, identificada por la alteración de la altura de salto (Sjökqvist et al., 2011). Gathercole et al., (2015a) mostraron que la cinética CMJ era más sensible a la fatiga residual inducida por un protocolo de carrera de alta intensidad que el rendimiento de sprint de 20 m. Por lo tanto, las alteraciones en aspectos del rendimiento de salto pueden representar marcadores tempranos sensibles de NMF que preceden a alteraciones significativas tanto en la altura de salto como en otras medidas de resultados del rendimiento neuromuscular, como la velocidad de sprint.

### ***Uso del CMJ en LRM en el fútbol***

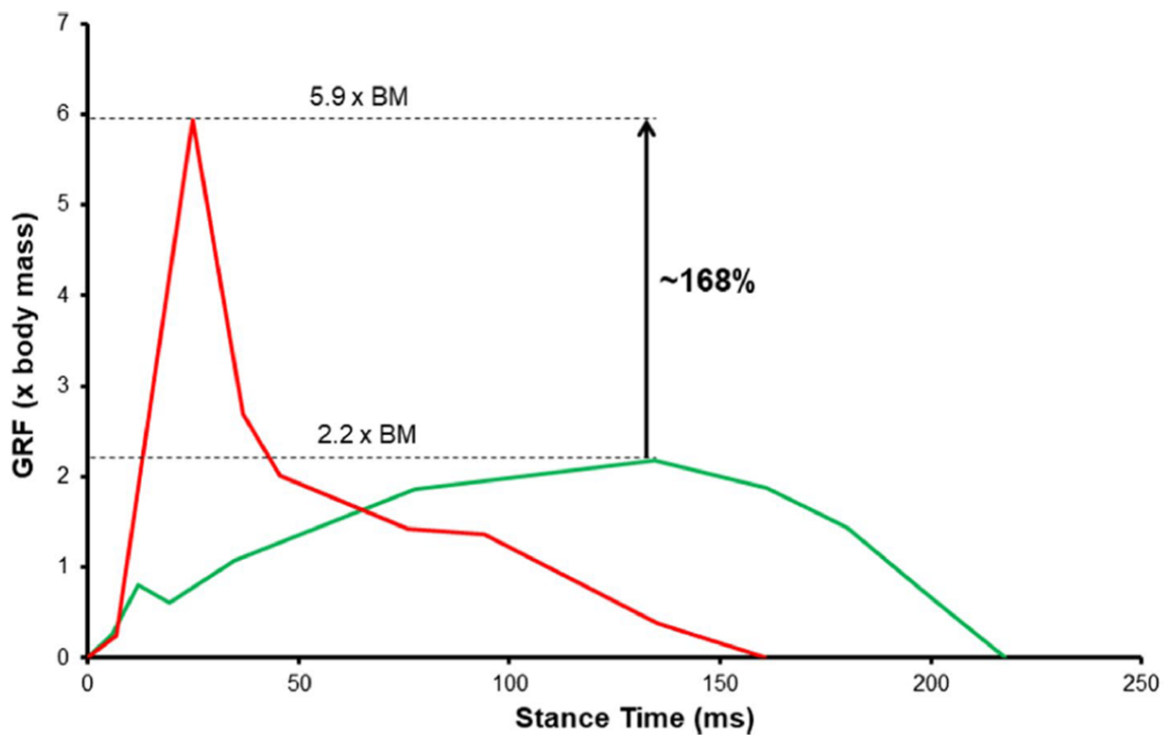
Aunque el trabajo de referencia en esta área descrito anteriormente se está implementando en la AFL, el rugby o utilizando ejercicios de fatiga basados en el laboratorio, existe un gran interés en aplicar el CMJ en la investigación relacionada con la fatiga en el fútbol y en la práctica de LRM en este deporte.

Un metaanálisis de los mismos concluyó que, particularmente a las 48h, las asociaciones no eran claras con respecto a la sensibilidad de las métricas CMJ comúnmente evaluadas (JH y PP Con) y los marcadores de daño muscular a la carga HID, mientras que se observaron asociaciones más sólidas en relación con la carrera de muy alta intensidad (> 5,5 m s<sup>-1</sup>).

De hecho, en un estudio en futbolistas de élite, comparando titulares y suplentes y analizando la asociación entre la carga de carrera y el rendimiento CMJ, Morgans et al., (2018) registraron un efecto positivo de la distancia de carrera de alta intensidad en la altura del CMJ y la potencia máxima concéntrica (pero no examinaron otras métricas). Del mismo modo, dos estudios de Thorpe y colegas (Thorpe et al., 2017) en fútbol de élite sugieren una asociación similar por la cual la distancia de carrera de alta velocidad mostró una correlación positiva, pequeña pero significativa, con la altura del CMJ ( $r=0,23$ ,  $p=0,04$ ) durante un período de 17 días en temporada (Thorpe et al., 2015). En otro estudio, también en jugadores de élite, la distancia de carrera de alta velocidad acumulada durante los 3 y 4 días anteriores tuvo un escaso efecto y una correlación positiva no significativa con la altura del CMJ ( $r=0,21$  a  $0,23$ ). Esto subraya que los componentes de alta intensidad del partido son estímulos para la adaptación neuromuscular (y el corolario: que una carga inadecuada de esta naturaleza puede reflejarse en el rendimiento del CMJ).

Estos hallazgos también pueden sugerir que HSR no es el principal impulsor de las respuestas neuromusculares negativas que se informan en algunos estudios después de un partido competitivo (Hader et al., 2019). De hecho, se argumenta que son las desaceleraciones de alta intensidad (HID) las que representan el componente más exigente y perjudicial de la carga de carrera (Harper & Kiely, 2018). Los GRF máximos sustancialmente más altos en HID que en la carrera de velocidad máxima subrayan cuánto más altas son las demandas mecánicas asociadas con esta acción que otros componentes de la carga de carrera (figura 4).

**Figura 4: Perfiles de la fuerza de reacción en el suelo (GRF) durante la fase de apoyo de máxima desaceleración, aceleración y velocidad**



vGRF durante la desaceleración máxima (línea roja) y la velocidad máxima (línea verde). BM=masa corporal

Fuente: Harper et al, 2022.

GRF (x body mass)	GRF (x masa corporal)
Stance Time	Tiempo de apoyo

Pocos estudios han examinado específicamente las asociaciones entre la carga de HID en el partido, o sus marcadores, y los marcadores de fatiga a las 24 y 48 h (Hader et al., 2019). Varley et al. (2017) no encontraron ninguna asociación entre el número de desaceleraciones en el partido y el cambio de altura del CMJ en las evaluaciones de salto realizadas 40 o 60 h después del partido (Varley et al., 2017). En un intento de aislar los efectos específicos de las desaceleraciones repetidas de alta intensidad (HID) sobre la cinética del CMJ, Cohen et al., (2021) compararon las respuestas a dos protocolos repetidos de carrera de alta velocidad (HSR) - en 16 futbolistas profesionales Sub23 de un equipo brasileño de 1ª división. Ambos protocolos comprendían 10 repeticiones de 50 m de HSR (cada 50 m completados en < 7s) realizadas dos veces, con 35 s entre cada sprint y 5 min entre las 2 tandas de 10 repeticiones. La versión de desaceleración del protocolo incluía una zona de frenado de 3 metros (provocando una desaceleración de alta intensidad) después de cada repetición HSR de 50 metros, mientras que el protocolo de no desaceleración tenía una zona de frenado de 15 metros (los jugadores

desaceleraban y se detenían lentamente). Los jugadores realizaron 6 CMJ antes del protocolo, inmediatamente después, y 24 y 48 horas más tarde.

El estudio demostró que la cinética del CMJ pudo diferenciar el mayor "costo" residual de las desaceleraciones intensas de 20 x 3 m en el protocolo HID, en relación con la realización de sprints sin estas demandas. Los jugadores en el grupo HID mostraron un gran efecto y cambios significativos a las 48h en métricas específicas mientras que aquellos que completaron la misma cantidad de HSR, pero tenían una zona de desaceleración más extendida no mostraron disminuciones significativas en las métricas del CMJ a las 48h, pero sí mostraron un pequeño efecto no significativo en el aumento de la altura del salto. Las duraciones específicas y las variables de CMJ de tiempo limitado; la duración de la desaceleración ECC y la duración CON, la RFD de desaceleración ECC, el impulso CON-100 y el RPD CON-100, mostraron las mayores respuestas negativas a la HID, mientras que las métricas globales como la altura de salto y los impulsos de fase ECC y CON generales se mantuvieron estables (tabla 1).

**Tabla 1: Cinética del CMJ pre vs post protocolo de carrera de alta velocidad repetida con / sin desaceleraciones de alta intensidad**

	REPEATED SPRINT - DECELERATION(RS <sub>DEC</sub> )				REPEATED SPRINT (RS)			
	PRE MEAN(SD)	POST(48-hr) MEAN(SD)	<i>p</i>	ES	PRE MEAN(SD)	POST(48-hr) MEAN(SD)	<i>p</i>	ES
JUMP HEIGHT (FLIGHT TIME) [cm]	36.1 (±4.7)	36.9 (±4.5)	0.094	0.18	35.9 (±3.3)	37.1 (±2.98)	0.053	0.41
FLIGHT TIME:CONTRACTION TIME	0.71 (±0.05)	0.68 (±0.06)	0.012	-0.55	0.68 (±0.08)	0.67 (±0.08)	0.310	-0.14
ECC DECELERATION DURATION [ms]	175 (±25.4)	205 (±22.5)	<b>0.005</b>	0.85	196 (±31.8)	204 (±31.7)	0.142	0.26
ECC DECELERATION IMPULSE [Ns]	111 (±19.6)	108 (±20.2)	0.100	-0.14	94.2 (±14.8)	95.4 (±21.7)	0.390	0.07
ECC DECELERATION RFD [N/s/kg]	85.5 (±27.7)	65.6 (±25.9)	<b>0.007</b>	-0.72	68.8 (±19.5)	59.4 (±16.6)	0.074	-0.51
CON DURATION [ms]	278 (±13.9)	296 (±11.7)	<b>0.007</b>	1.17	282 (±23.5)	287 (±26.0)	0.220	0.19
CON IMPULSE [Ns]	206 (±21.6)	205 (±20.3)	0.307	-0.05	193 (±20.9)	195 (±23.8)	0.120	0.11
CON IMPULSE - 100 [Ns]	97 (±13.6)	84.6 (±16.1)	<b>0.007</b>	-0.79	83.2 (±14.1)	79.1 (±13.6)	0.108	-0.30
CON PEAK POWER [W/kg]	51.4 (±5.4)	51.7 (±4.5)	0.315	0.07	53.5 (±4.3)	54 (±5.2)	0.271	0.09
CON RPD - 100 [W/s/kg]	121.5 (±21.3)	94.5 (±23.6)	<b>0.009</b>	-1.05	112 (±30.6)	103 (±36.1)	0.170	-0.26

SPRINT REPETIDO - DESACELERACIÓN(RS DEC) = Protocolo HSR repetido con zona de desaceleración de 3m (protocolo de desaceleración de alta intensidad); SPRINT REPETIDO (RS) = Protocolo HSR repetido con zona de desaceleración de 15m (protocolo de desaceleración no de alta intensidad)peated HSR

ECC=Excéntrico (fase descendente); CON=Concéntrico (fase ascendente); RFD=velocidad de desarrollo de la fuerza; CON impulso-100=impulso neto +100 ms después del inicio de la fase CON; RPD=velocidad de desarrollo de la potencia; CON RPD-100=pendiente de la curva de potencia calculada desde el inicio de la fase CON hasta el inicio de CON+100 ms.

Fuente: Cohen, Spinetti, Neto, Vianna, De Souza, Gathercole, Harper y Taberner, 2022.

Reapeated Sprint – Decelerations (RS dec)	Sprint repetido - Desaceleraciones (RS dec)
Reapeated sprint (rs)	Sprint repetido (rs)
Pre mean	Media pre
Post (48 hr) mean (sd)	Media post (48 h) (sd)
Jump height (flight time)	Altura de salto (tiempo de vuelo)
Flight time: contraction time	Tiempo de vuelo: tiempo de contracción
Ecc deceleration duration	Duración de la desaceleración Ecc
Ecc deceleration impulse	Impulso de desaceleración Ecc
Ecc deceleration rfd	RFD de desaceleración Ecc
Con duration	Duración Con
Con impulse	Impulso Con
Con peak power (w/kg)	Potencia máxima Con (w/kg)
Con Rpd	RPD Con

También se ha argumentado que el control de estos cambios en la mecánica del salto también puede proporcionar una imagen más completa de las adaptaciones del entrenamiento y mejorar el diagnóstico de la fuerza (Cormie et al., 2009; Gathercole et al., 2015a,b; Schmitz et al., 2013). Por lo tanto, es muy recomendable que, siempre que sea posible, la monitorización del NMF se realice utilizando una plataforma de fuerza para obtener curvas de fuerza-velocidad y potencia-tiempo en el CMJ, que pueden revelar alteraciones en la mecánica del salto (Cormie et al., 2009; Gathercole et al., 2015a,b) además de la altura del salto y otras variables de salida, como la fuerza máxima (Johnson et al., 2013; McLellan et al., 2011). Cohen et al. (2021) también identificaron alteraciones CMJ-cinéticas específicas tras el entrenamiento de aislamiento COVID-19 fuera del terreno de juego en futbolistas

profesionales, un perfil muy distinto del observado fuera de temporada en el mismo equipo. Estos datos también sugieren que la CMJ-cinética puede ayudar a revelar distintos cursos temporales de decaimiento en las cualidades neuromusculares que son promovidas por la eliminación de estímulos de carga específicos.

### **Detección de la respuesta positiva a la carga**

En conjunto, los estudios descritos anteriormente sugieren que las variables cinéticas, en particular las duraciones y las métricas limitadas por el ritmo o el tiempo, aumentan la capacidad del profesional para detectar la fatiga neuromuscular que no se expresa en "métricas de salida" como la altura del salto y la potencia máxima concéntrica. En la bibliografía y, a menudo, en la práctica, la evaluación y las métricas se han convertido en sinónimos del potencial para proporcionar una visión más profunda de las respuestas neuromusculares negativas y las alteraciones en la estrategia de movimiento, como parte de la FRM. Sin embargo, como se destacó al principio de este módulo, la cinética mejora la FRM (que puede revelar tendencias positivas, tendencias negativas o estabilidad), y las pruebas también demuestran que la cinética del CMJ puede revelar adaptaciones positivas al entrenamiento y la competición que no se han manifestado en cambios significativos en la altura del salto. Como tal, la evaluación del CMJ debe considerarse también como una herramienta para verificar que la prescripción de entrenamiento está impulsando ampliamente adaptaciones positivas, o en una cualidad neuromuscular específica. Varios estudios han demostrado mejoras mayores en métricas cinéticas específicas que las observadas en la altura de salto o cambios significativos en estas métricas junto con cambios no significativos o estabilidad en la altura de salto durante el mismo periodo en programas de entrenamiento a corto (Kijowski et al., 2015) o largo plazo (Cormie et al., 2009; Gathercole et al., 2015b), durante una temporada en jugadores universitarios de baloncesto (Heishman et al., 2020), y a lo largo de una temporada en jugadores de élite de Rugby 7 (Lonergan et al., 2022). Las métricas seleccionadas del estudio de Lonergan et al (tabla 3) destacan a un alto nivel que FT:CT demuestra una mayor sensibilidad a la entrada positiva de carga, y en general que entre las métricas cinéticas, las que representan tasas o métricas de tiempo limitado también fueron más sensibles a la entrada de entrenamiento específico dirigido a mejorar el rendimiento en el último bloque de la temporada del equipo - que conduce a las eliminatorias olímpicas. Un hallazgo importante en el contexto del interés por los impulsos de desaceleración concéntricos y excéntricos, principalmente sobre la base de su fiabilidad, fue que debido al cambio opuesto en el componente de duración (reducido) y en la fuerza (aumentada) el impulso global en las fases excéntrica y concéntrica permaneció estable. Esto respalda las indicaciones sobre el valor de utilizar un impulso limitado en el tiempo; por ejemplo, un impulso concéntrico de 50 o -100 ms o examinar la "forma" del impulso (Mizuguchi et al., 2015), como se destaca en un estudio de caso del curso "Evaluación de la fuerza e introducción a la cinemática", módulo 2.

Lonergan et al. llegaron a la conclusión de que si solo se tenían en cuenta los resultados más comunes (altura del salto y potencia máxima concéntrica), uno "podría concluir falsamente que su prescripción de acondicionamiento ha sido ineficaz".

Tabla 2: Métricas CMJ al inicio y al final de una temporada de rugby 7

Métrica CMJ	Inicio de temporada	Fin de temporada	ES	Valor P
Altura de salto	45.2 ± 5.9	45.5 ± 3.7	0.06	1.0
Tiempo de vuelo: tiempo de contracción	0.95 ± 0.1	1.11 ± 0.1	1.28	0.00*
Impulso concéntrico	264 ± 23	251 ± 24	0.55	0.45
Impulso concéntrico -100ms	166 ± 19	189 ± 29	0.98	0.04*
Potencia máxima / BM	60.8 ± 7.1	63.6 ± 5.2	0.46	1.0
RPD/BM concéntrico	399 ± 110	546 ± 146	1.14	0.00*
Impulso excéntrico de desaceleración	137 ± 14	130 ± 11	0.52	1.0
Desaceleración excéntrica RFD/BM	166 ± 53	243 ± 95	1.03	0.01*

Evaluaciones CMJ obtenidas en jugadores de rugby de élite masculinos (n=15)

ES = tamaño del efecto; /BM = variable expresada en relación al peso corporal; ms = milisegundos; RFD = índice de desarrollo de la fuerza; RPD = índice de desarrollo de la potencia;

Fuente: adaptado de Lonergan et al., 2022, p. 84.

CMJ metric	Métrica CMJ
Start of season	Inicio de temporada
End of season	Fin de temporada
P value	Valor P
Jump height	Altura de salto
Flight time: contraction time	Tiempo de vuelo: tiempo de contracción
Concentric impulse	Impulso concéntrico
Peak power	Potencia máxima
Concentric RPD/BM	RPD/BM concéntrico
Eccentric deceleration impulse	Impulso excéntrico de desaceleración
Eccentric deceleration RFD/Bm	Desaceleración excéntrica RFD/Bm

### ***Del papel a la práctica***

Ya hemos esbozado la base de pruebas para el uso de evaluaciones de saltos en la monitorización de la respuesta a la carga en el deporte. Esperamos haber comunicado que la plataforma de fuerza CMJ en particular, es factible de implementar, incluso en los entornos de alto rendimiento más exigentes y una enorme fuente de información sobre el estado neuromuscular del atleta y sus cambios. También hemos demostrado que una métrica CMJ-cinética puede detectar tipos muy específicos de carga y respuestas a la carga y proporcionar un nivel de

sensibilidad que revela cambios no identificados por otras variables "clásicas". Como profesional de alto rendimiento, el potencial para mejorar su práctica y sus resultados es imposible de ignorar. Las pruebas que demuestran que una métrica es fiable o que responde a la entrada de desaceleraciones de alta intensidad son relevantes y útiles, pero la pregunta sigue siendo: ¿cómo puedo generar estos conocimientos y aplicarlos en mis atletas? Incluso si trabajas en un deporte para el que existen estudios que demuestran su valor, debes llevar los datos que tienes o vas a recopilar en tu contexto a través de un proceso gradual que permita definir un cambio significativo en tu grupo. A continuación, en la sección "caja de herramientas", definimos las herramientas estadísticas y describimos el proceso mediante el cual los profesionales pueden trasladar estas pruebas del documento de investigación al campo de entrenamiento para obtener información sobre los deportistas.

### **Evaluación de la fatiga neuromuscular mediante pruebas de salto cuando no se dispone de plataformas de fuerza**

Aunque recomendamos encarecidamente el uso de una plataforma de fuerza en la monitorización de LRM, se reconoce que, en muchos casos, solo se dispone de un dispositivo de tiempo de contacto (como una alfombrilla de contacto o sistemas ópticos de cronometraje). Hemos esbozado pruebas sustanciales de que los cambios en la altura del CMJ o SJ (estimados a partir del tiempo de vuelo) pueden ser un marcador útil de la NMF. También hemos discutido las pruebas que no apoyan la altura de salto como un marcador suficientemente sensible y demostrado que el atleta puede alterar la estrategia de salto en condiciones de fatiga y, al hacerlo, mantener o minimizar la pérdida de altura de salto. En concreto, recientemente se han puesto de relieve alteraciones en la fase excéntrica de la CMJ (Gathercole et al., 2014a,b; Mooney et al., 2013).

Se ha demostrado previamente que la NMF reduce la capacidad de alterar la utilización de la energía elástica y de tolerar las fuerzas de impacto, lo que resulta en una transición más lenta de las fases excéntrica a concéntrica, que se reflejan en tiempos de contacto con el suelo más largos en un drop jump (Nicol et al., 1991; Paavolainen et al., 1999). Sobre esta base, si sólo se dispone de un dispositivo de tiempo de contacto, el drop jump puede ser un medio alternativo útil para la NMF de salto (Hamilton 2009; Comyns et al., 2011), que podría fatigar los cambios relacionados con la fase excéntrica/transición.

El DJ proporciona dos variables sensibles a la NMF:

Tiempo de contacto, que se refiere al tiempo entre el aterrizaje en el aparato/suelo desde el cajón hasta el despegue de la punta del pie para el salto vertical. Como se ha comentado anteriormente, el tiempo de vuelo

puede mantenerse a pesar de la fatiga por alteraciones en la biomecánica y el tiempo de contracción excéntrica durante un contramovimiento. En el CMJ, estas alteraciones no pueden detectarse con un dispositivo de tiempo de contacto, pero en un drop jump, una fase excéntrica más larga se manifestaría como un tiempo de contacto más largo. Por lo tanto, en teoría, la monitorización del tiempo de contacto, el tiempo de vuelo y su ratio -el índice de fuerza reactiva- tiene características similares a la monitorización del CMJ-FT:CT, que muestra valor como marcador de la FNM y predictor del rendimiento.

Hay pruebas de que el tiempo de contacto aumenta con la fatiga aguda y residual (Horita et al., 1996; Hamilton, 2009), pero varios estudios de fatiga aguda no muestran cambios en el tiempo de contacto, pero sí una disminución de la altura DJ (Nicol et al., 1991; Oliver et al., 2008). Esto se alinea con el concepto de que los cambios en el tiempo de contacto se relacionan más con la respuesta inflamatoria secundaria y reflejan alteraciones en la sensibilidad del reflejo de estiramiento debido al daño muscular y la fatiga residual (Nicol et al., 1996; Horita et al., 1996; Millet y Lepers, 2004), lo que reduce la magnitud de la activación muscular estimulada por un grado dado de estiramiento muscular.

Como se informó para la CMJ, la NMF subyacente puede (Nicol et al., 1996) o no, resultar en una reducción del tiempo de vuelo de la DJ/altura alcanzada en el salto vertical que sigue al aterrizaje en caída. El RSI refleja la interacción entre los dos objetivos de la prueba: minimizar el tiempo de contacto con el suelo y maximizar la altura del salto, y proporcionar un único valor, que también puede ser un indicador de la NMF en la fase de tiempo de contacto o de vuelo, o en ambas (Hamilton, 2009a/b).

Por lo tanto, en los sitios donde no hay acceso a una plataforma de fuerza o transductor lineal, la evaluación del tiempo de contacto o RSI es potencialmente un medio más eficaz para capturar el cambio biomecánico asociado con la fatiga del SSC que un dispositivo de tiempo de contacto derivado CMJ-altura de salto/tiempo de vuelo (Hamilton, 2009a/b; Oliver et al., 2008). Al igual que el CMJ, se observan disminuciones en el rendimiento del DJ no solo después de fatigar el CSS dominado por ejercicios pliométricos (Comyns et al., 2011) o HIIS (Oliver et al., 2008; Hamilton, 2009a/b), sino también después de eventos de resistencia como un maratón (Nicol et al., 1991). Sin embargo, a pesar de las sugerencias de que el rendimiento de la DJ es una mejor medida de la NMF que la altura de la CMJ (Hamilton, 2009a/b), se han publicado pocas comparaciones (Nicol et al., 1996; Oliver et al., 2008) y, al menos en lo que respecta a la fatiga aguda tras un HIIS, la SJ, la CMJ y la altura de la DJ mostraron cambios significativos, observándose el mayor cambio medio en la

altura de la CMJ (-3,0 cm), seguida de la altura de la DJ (-2,3 cm) (Oliver et al., 2008).

Además, mientras que los practicantes de deportes de élite han presentado datos que muestran que la RSI varía de acuerdo con los cambios en la carga de entrenamiento, lo que sugiere que es un marcador potencial de la NMF acumulada, también hay una falta de literatura que describa los cambios en el rendimiento de la DJ durante periodos superiores a una semana. No obstante, las principales desventajas del DJ en comparación con la medición del CMJ en FRM son de tipo práctico:

- El DJ requerirá un periodo de familiarización más largo que el del CMJ, antes del cual no podrá utilizarse como marcador de la FNM. En consecuencia, el CMJ podría ser preferible si hay pocas oportunidades de familiarización antes del periodo de seguimiento.
- Debido a la percepción de una mayor carga y estrés musculoesquelético en comparación con el CMJ, los atletas/prácticos pueden estar menos dispuestos a realizar el DJ en la FRM de temporada.

### **5CMJ**

El tiempo medio de vuelo de 5 CMJ consecutivos (5-CMJ), ambos protocolos de 1 salto cada 5 segundos (Mohr & Krustup, 2013) y 5 saltos continuos (Cormack et al., 2008) pueden ser implementados con un dispositivo de tiempo de contacto. Se informó que el tiempo medio de vuelo/altura de salto de 5-CMJ se compara favorablemente con un solo CMJ en términos de sensibilidad a la fatiga aguda 5CMJ (1 cada 5 segundos), pero no CMJ mostró una disminución significativa del 6% después del fútbol competitivo jugado en un ambiente caluroso (Mohr & Krustup, 2013).

Además, Cormack et al (2008) también descubrieron que el 5CMJ era un mejor marcador de la fatiga acumulada que la altura del CMJ, pero era inferior a un único CMJ-FT:CT. La superioridad de 5CMJ-tiempo de vuelo frente a CMJ-tiempo de vuelo puede estar relacionada con el mayor poder para detectar cambios significativos mostrado anteriormente cuando se emplea un mayor número de ensayos, en contraste con los 3 ensayos con los que comúnmente se evalúa la altura del CMJ única. También puede ser una función de las demandas fisiológicas de la 5CMJ siendo más reflexivo de la naturaleza de la fatiga producida por HIIS, alineándose con los mayores descensos en la velocidad de sprint repetida frente al pico reportado después del fútbol competitivo (Mohr y Krustup, 2013).

### ***La caja de herramientas***

Por las razones descritas anteriormente, la medición del estado neuromuscular en los atletas se ha vuelto cada vez más popular entre los profesionales que trabajan en múltiples deportes. También se ha convertido en el tema de numerosos estudios de investigación realizados en sujetos "activos" o atletas de nivel inferior, al tiempo que se aplica en poblaciones profesionales y de élite. Al igual que ocurre con otras tecnologías, como el GPS, que proporcionan métricas extraídas y procesadas a partir de grandes volúmenes de datos continuos, el proveedor de la tecnología y/o el profesional deben tomar decisiones sobre qué datos deben mostrarse o notificarse. Lo mismo ocurre si se utiliza Matlab o una hoja de cálculo propia para calcular los parámetros a partir de la curva FT sin procesar. Como se ha señalado anteriormente, se puede calcular un gran número de parámetros a partir de las curvas derivadas de fuerza, velocidad, potencia y desplazamiento-tiempo. Navegar por la lista de variables disponibles puede parecer difícil de manejar y abrumador, y puede ser un obstáculo para el uso de la información por parte del profesional en el entorno de rápido movimiento del deporte de alto rendimiento.

En su editorial "In the Age of Technology, Occam's Razor Still Applies" (2014), el distinguido profesor Aaron Coutts postula lo siguiente:

Independientemente de la métrica elegida, para hacer frente de la mejor manera posible al creciente volumen de información, los científicos del deporte deben desarrollar mejores habilidades en la gestión de datos y aprender nuevos métodos de análisis de datos... Debemos evitar la tentación de sobreutilizar la tecnología y todos sus datos, antes de que se completen las pruebas de concepto y los ensayos de validez y fiabilidad. Sin la capacidad de separar la señal del ruido en las medidas, no podemos hacer inferencias significativas en la práctica. También debemos tratar de establecer sistemas parsimoniosos que sean rentables y eficaces en el tiempo. Este enfoque científico nos permitirá aprovechar los recientes avances tecnológicos y situarnos en la mejor posición para influir positivamente en el rendimiento deportivo de élite.

Entonces, ¿por qué hay tantas métricas y cuál de esta misteriosa lista debo utilizar?

Un proveedor de sistemas de plataformas de fuerza evita por completo el problema de la selección de métricas proporcionando al usuario 3 variables y sin acceso a los datos brutos: un enfoque sencillo, sí, pero que también crea una caja negra que no satisface a muchos profesionales y que implica que ya se conoce todo lo que

necesitamos saber sobre métricas para todos los deportes, niveles y géneros. Otro sistema en el otro extremo del espectro, un sistema como Vald Performance-ForceDecks, proporciona más de 80 variables (y asimetrías, por tanto, en su caso), que evolucionan a medida que los investigadores publican o los profesionales solicitan nuevas variables o ratios. Como discutimos en el Curso "Evaluación de la fuerza e introducción a la cinemática", Módulo 2, el análisis de forma de onda (punto por punto) representa un medio para retener todos los datos dentro del movimiento - ya que cada punto de datos expresa y representa una visión potencial del patrón motor del atleta. El análisis de forma de onda permite al practicante implementar una evaluación totalmente libre de métricas y agnóstica de lo que difiere entre grupos o lo que ha cambiado con el tiempo. Sin embargo, incluso entre los profesionales que utilizan el análisis de la forma de onda, resulta de interés la caracterización de fases / subfases y características específicas. No obstante, ¿son suficientes 3 variables, es necesario examinar 80?

¿Cómo deciden los proveedores de sistemas de plataformas de fuerza, los investigadores y los gurús que asumen el papel de asesorar a los profesionales, qué métricas ofrecer en una lista de métricas más sencilla, corta y manejable? Generalmente, quedándose con las variables que se suelen comunicar, que ellos han utilizado, que han utilizado las publicaciones más recientes o que utilizan quienes tienen grandes seguidores en twitter o instagram. En otras palabras, reduciendo la lista a aquellas métricas basadas en la investigación interna, las convenciones y los prejuicios de quienes tienen una mayor producción investigadora. También se descartan métricas por no ser fiables en un estudio determinado o por su experiencia.

La reducción de datos (métricas) es un proceso útil, ya que permite al profesional generar un cuadro de mandos de informes menos recargado y más parsimonioso para una retroalimentación y un análisis inmediatos, y la rápida identificación de actores con tendencias indeseables. Por otra parte, al descartar sistemáticamente variables se corre el riesgo de perder información que puede ser importante para comprender los cambios en el estado neuromuscular de un deportista concreto o, de hecho, de todo el grupo. Los autores recomiendan utilizar la reducción métrica, para crear cierto grado de parsimonia, pero conservar toda la información de forma que se pueda acceder fácilmente a capas adicionales, puntos temporales, subfases, etc. Proporcionamos ejemplos de las variables que muestran la mayor respuesta a la carga (más arriba). Sin embargo, el objetivo de esta sección no es concluir con una lista de las mejores variables, sino proporcionar al alumno los mejores procesos/herramientas de reducción de datos con los que determinar las métricas más útiles dentro del contexto en el que se está trabajando. También destacamos algunas de las limitaciones dentro de la "literatura métrica" que podrían inducir a

error o desviar al practicante de lo que podrían ser métricas útiles y conocimientos sobre la respuesta a la carga de sus atletas.

Dado que, entre las pruebas de salto, la cinética del CMJ es la más investigada y la que se integra con mayor facilidad en los entornos de alto rendimiento, el profesional dispone tanto del "peso de la evidencia" como del "peso de las buenas prácticas" para orientarse en la aplicación del CMJ en su entorno. Esto ha convertido al CMJ en una prueba casi omnipresente en la elaboración de perfiles de atletas de muchos deportes, no sólo de aquellos que dependen del salto en su rendimiento. Esto surge de los primeros estudios que validan los resultados de rendimiento del CMJ frente a otras actividades más "ecológicamente relevantes", como el sprint y el cambio de dirección. Estas relaciones son importantes para contextualizar el uso del CMJ como medida del estado neuromuscular. La información que se puede obtener con esta prueba es valiosa, ya que se trata de una tarea máxima (requiere el máximo esfuerzo por parte del deportista), pero la fatiga resultante es insignificante, lo que significa que se pueden realizar evaluaciones frecuentes sin que ello afecte al resto del rendimiento, factores que contribuyen a que se considere una herramienta de control óptima. No obstante, con algunas "herramientas" estadísticas y lógicas, esperamos dilucidar mejor el valor de esta prueba.

¿Por qué una caja de herramientas y qué contiene? ¿Por qué no me basta con una lista de las métricas que debo utilizar?

La caja de herramientas tiene varios compartimentos y tipos de herramientas, hemos descrito las métricas en la primera parte de este módulo y en otros módulos en referencia al perfil del deportista sano o al seguimiento y clasificación del estado del deportista lesionado. Sin embargo, debido a que las características de su población pueden diferir de las de los estudios en atletas profesionales a los que se hace referencia principalmente en este módulo o a las poblaciones examinadas en otras investigaciones publicadas, de varias maneras diferentes - nivel, deporte, historial de entrenamiento, exposición al acondicionamiento, etc. - para optimizar/maximizar su comprensión y clasificación del cambio en sus atletas no sólo necesitará comprender las métricas, sino que también necesitará eventualmente herramientas estadísticas que le permitan determinar lógicamente y sistemáticamente cuáles de ellas se incluirán en su batería de detección, pruebas o seguimiento. Mientras que la primera sección describía el impacto de la exposición a tipos específicos de carga en una serie de métricas en atletas sanos y destacaba las que responden a los tipos de entradas a las que están expuestos y las que no responden y/o responden menos, esta sección se centra en el proceso de evaluación de las características de medición de estas y otras métricas que encontrará en su sistema de plataforma de fuerza. El objetivo es ir más allá de la

selección de métricas basada en su capacidad de respuesta o su fiabilidad, y permitirle reducir el número de variables de una forma más sistemática que tenga en cuenta todos estos factores y, lo que es más importante, dentro de su contexto de carga y en sus atletas.

Dado que "no se deben utilizar más cosas de las necesarias" para la aplicación de datos, el uso de procesos de reducción métrica basados en datos específicos de la cohorte para crear una "parsimonia inteligente" es una actividad prudente dada la demanda del mundo real en los equipos deportivos de alto rendimiento, donde el tiempo y la claridad de la información son fundamentales para los profesionales.

Las principales herramientas / procesos utilizados para lograrlo son:

1. Evaluación de las características de medición de cada métrica; su fiabilidad y sensibilidad, y el impacto del método de tratamiento de datos en estas características.
2. Análisis de componentes principales (PCA) para comprender las características de medición de cada métrica.
3. Modelización de efectos mixtos para establecer la relación dosis-respuesta de cada métrica en relación con la carga interna y externa.

## **Características de la medición**

### ***Fiabilidad***

Uno de los conceptos más importantes en la investigación inicial de los datos es la fiabilidad de prueba/reprueba de los resultados (métricas). Aunque existen numerosos ejemplos en la bibliografía en los que la fiabilidad se utiliza para referirse a la variabilidad a lo largo de una serie de ensayos dentro de una única sesión, aquí nos referimos a la fiabilidad entre días, en la que se seleccionan dos (o más) días en los que se pueden repetir las pruebas en condiciones similares. En un entorno de laboratorio, es probable que las condiciones estén muy controladas, por lo que se eliminan todas las influencias potenciales sobre el estado neuromuscular del individuo (p. ej., fatiga o potenciación inducida por el entrenamiento, influencias dietéticas). Sin embargo, este grado de control no suele ser factible para el profesional que recopila los datos, especialmente en los deportes de equipo. Conceptualmente, esto puede superarse eligiendo dos días dentro de una proximidad relativamente corta o, de hecho, en el intervalo elegido para el seguimiento en sentido longitudinal (es decir, dentro de una semana o semana a semana) en el que los deportistas realicen la prueba en condiciones muy similares. Un ejemplo de ello sería realizar la prueba en la mañana del primer día de entrenamiento de dos semanas consecutivas de pretemporada (es decir, el primer y

el segundo lunes). En la Tabla 3 se muestran algunas combinaciones alternativas de días dentro del periodo más habitual (pretemporada) para establecer los datos de referencia. En el curso "Evaluación de la fuerza e introducción a la cinemática" se tratan con más detalle las condiciones/factores que tienen un impacto reconocido en el rendimiento del salto, como la hora del día, el calentamiento, etc.

**Tabla 3: Ejemplo de programa de pretemporada con sesiones de pruebas de fiabilidad para CMJ**

	Monday <sub>1</sub>	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday	Monday <sub>2</sub>	
09:00 - 09:45	CMJ <sup>1,2,4,5</sup> Monitoring	CMJ <sup>1,3,5</sup> Monitoring	NO TRAINING	CMJ <sup>2,3,5</sup> Monitoring	Monitoring	NO TRAINING	NO TRAINING	CMJ <sup>4</sup> Monitoring	
09:45 - 12:30	Resistance training (60 min)	Resistance training (60 min)		Resistance training (60 min)	Resistance training (60 min)			Resistance training (60 min)	Resistance training (60 min)
	Low intensity rugby skills (60 min)	Low intensity rugby skills (60 min)		Low intensity rugby skills (60 min)	Low intensity rugby skills (60 min)			Low intensity rugby skills (60 min)	Low intensity rugby skills (60 min)
14:30 - 14:45	Mobility	Mobility		Mobility	Mobility			Mobility	Mobility
14:50 - 16:00	Cross training (60 min)	Running (45 min)	Cross training (45 min)	Running and high intensity rugby skills (60 min)	Running and high intensity rugby skills (60 min)	Running and high intensity rugby skills (45 min)			

CMJ = salto con contramovimiento; Entrenamiento cruzado = combinación de acondicionamiento aeróbico y anaeróbico, incluyendo entrenamiento de intervalos de alta intensidad en ergómetros de ciclismo y remo, trabajo de alta repetición con mancuernas y kettlebell, entrenamiento con cuerda y balón medicinal; Monitorización = evaluaciones musculoesqueléticas (dorsiflexión de tobillo en cadena cerrada, sentarse y alcanzar, fuerza de aductores) y cuestionario de bienestar; 1= datos CMJ utilizados en la condición 1 (lunes1-martes); 2 = datos CMJ utilizados en la condición 2 (lunes1-jueves); 3 = datos CMJ utilizados en la condición 3 (martes-jueves); 4 = datos CMJ utilizados en la condición 4 (lunes1-lunes2); 5 = datos CMJ utilizados en la condición 5 (lunes1-martes-jueves).

Fuente: Howarth et al, 2021.

Monday	Lunes
Tuesday	Martes
Wednesday	Miércoles
Thursday	Jueves
Friday	Viernes

Saturday	Sábado
Sunday	Domingo
CMJ monitoring	Control del CMJ
Resistance training	Entrenamiento de resistencia
Low intensity rugby skills	Habilidades de rugby de baja intensidad
Mobility	Movilidad
Cross training	Entrenamiento cruzado
Running	Correr
No training	Sin entrenamiento
Monitoring	Seguimiento
Running and high intensity rugby skills	Carrera y habilidades de rugby de alta intensidad

Una vez recogidos los datos de 2-3 días, se puede evaluar su fiabilidad utilizando las dos medidas ampliamente utilizadas para establecer la fiabilidad test/retest de las métricas en el rendimiento deportivo y la ciencia (Hopkins):

1. Coeficiente de correlación intraclase (CCI)
2. Error de medición típico expresado como coeficiente de variación (CV%)

*1. Coeficiente de correlación intraclase (CCI)*

El ICC evalúa la coherencia del orden de clasificación de los resultados de cada día de los sujetos. Los ICC oscilan entre 0 y 1, considerándose 0,7 como umbral de fiabilidad aceptable. Conceptualmente, puede considerarse que el ICC evalúa la

coherencia entre dos evaluadores, representados por el Día 1 y el Día 2. Suele utilizarse para comprender la diferencia entre los resultados de un día y los de otro. Se suele utilizar para comprender la diferencia en la calificación de una puntuación entre dos personas o dos tecnologías diferentes. En este caso, es una medida de "fiabilidad relativa" (variación de rango entre sujetos) y actúa como control de calidad para la ejecución de pruebas y protocolos de medición de variables. Un buen ICC es importante para comparar a los deportistas de un grupo, como en la elaboración de perfiles, ya que significa que, independientemente de que los valores puedan ser diferentes en la repetición de la prueba al día siguiente, es probable que la clasificación de los deportistas dentro del grupo sea la misma.

## *2. Error típico de medición (CV%)*

El error típico de medición se utiliza para evaluar la variación esperada en los valores de las métricas resultante tanto del error metodológico como del biológico. Los valores para una métrica dada difieren en los individuos; por ejemplo, dos días de pruebas de CMJ pueden dar como resultado valores medios ( $\pm$  desviación estándar) para la Potencia Máxima Concéntrica a través de 3 saltos de 6000 ( $\pm$  155) W para la prueba A y 4500 ( $\pm$  115) W para la prueba B. Sin embargo, cuando estos resultados se expresan como porcentaje de sus respectivas medias, el cambio resultante es muy similar (prueba A: SD = 2,55%, prueba B: = 2,58%). Agregando las puntuaciones de cambio y las desviaciones típicas de un grupo de atletas a lo largo de cada día, se puede calcular el error típico ( $TEM = SD_{diff}/\sqrt{2}$  - Hopkins 2000) y expresarlo como porcentaje de la puntuación media (como CV%) para caracterizar la "fiabilidad absoluta" (variación metodológica y biológica normal) de una métrica para ese grupo.

Evidentemente, ésta es también una característica importante de la medición y es incluso más importante que el CCI cuando se examinan tendencias longitudinales con el objetivo de identificar "cambios significativos". Debido a esto, la baja fiabilidad de la prueba o métrica se ha utilizado como criterio para la reducción de datos (exclusión métrica) con un punto de corte del 10% CV% para calificar como "fiable" generalizado en la literatura (Cormack et al. 2008; Claudino et al. 2017; Anicic et al. 2023). Este enfoque se justifica por los hallazgos que sugieren que las variables con CV >10% tienen menos probabilidades (por odds ratio) de ser sensibles (Claudino et al. 2017). Sin embargo, la misma investigación citada por Claudino et al. como justificación para la exclusión de variables con CV >10% (Kraufvelin, 1998) también afirma:

Por lo tanto, una variable que es muy variable podría seguir siendo muy útil como criterio de valoración de una prueba eficaz, si el tratamiento provoca

una respuesta lo suficientemente grande. Por lo tanto, no sólo deberíamos buscar variables de prueba menos variables. También podríamos seguir utilizando variables de prueba muy variables, siempre que tengan una tendencia inherente a mostrar grandes desviaciones de la media de control una vez sometidas a estrés. Una variable con un CV bajo sigue teniendo una utilidad limitada si cabe esperar que las desviaciones correspondientes en los tratamientos sean también muy pequeñas.

En otras palabras, se sugiere que utilicemos la fiabilidad de una métrica no como criterio independiente de calificación de la "utilidad", sino como punto de referencia. En concreto, esta medida de la "variación metodológica y biológica normal" puede considerarse "ruido" en la medición derivado de los cambios normales en la persona (mecánicos, fisiológicos, mentales, etc.) y el equipo (entorno, umbrales, procesamiento). Al establecer el ruido, podemos referenciar los cambios en la "señal" con respecto a él y, por tanto, medir la sensibilidad directamente, en lugar de hacer suposiciones basadas en "la mitad de la información". Sin embargo, la otra mitad de la característica de medición de la métrica requiere mediciones repetidas del grupo objetivo previsto, los deportistas, un proceso que es mucho más difícil de aplicar en un entorno universitario, una posible razón por la que estos datos se comunican con menos frecuencia en los estudios de investigación.

La Tabla 4 muestra los resultados del análisis del error típico (CV%) a través de una serie de métricas tomadas de diferentes estudios, todos los cuales adquirieron datos CMJ utilizando el mismo sistema de placa de fuerza (Vald Performance-ForceDecks). Estos resultados y las diferencias evidentes reflejan probablemente la influencia de los distintos contextos y condiciones, como se ha mencionado anteriormente. Estos CV  $\pm$  los CI pueden utilizarse para evaluar directamente el nivel de cambio en cada métrica, y los resultados que varían fuera de esta banda de variación metodológica y biológica normal indican una diferencia significativa con respecto a la línea de base. Nótese la gran diferencia en el CV para los resultados de RFD de desaceleración excéntrica de Howarth frente a Heishman en la tabla 4 a continuación.

**Tabla 4: Comparación de la fiabilidad absoluta (CV%) de cuatro estudios que utilizan métodos similares**

Variable	Howarth	Mercer	Heishman	Lonergan
Altura de salto (tiempo de vuelo)	2.7	8.0	4.7	NA
Altura de salto (impulso-momento)	6.0	7.8	5.4	3.5
Relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción	4.4	8.6	9.3	2.7
Rigidez CMJ (N/m)	6.5	9.3	NA	NA
Relación duración excéntrica/concéntrica	4.2	10.3	NA	NA
Duración excéntrica (ms)	5.0	9.5	11.7	3.5
Duración de la desaceleración excéntrica (s)	5.5	7.2	17.3	NA
Impulso de desaceleración excéntrica (Ns)	4.5	7.7	NA	5.7
Desaceleración excéntrica RFD (N/s)	11.6	18.5	26.3	11.0
Profundidad contramovimiento (cm)	4.2	6.5	NA	4.0
Potencia media excéntrica (W)	8.9	10.5	NA	9.9
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	4.3	7.7	NA	4.7
Duración concéntrica (ms)	2.6	5.3	7.9	3.4
Fuerza media concéntrica (N)	2.0	3.3	3.6	NA
Impulso concéntrico (Ns)	3.1	3.6	2.7	2.1
Impulso concéntrico – 50ms (Ns)	6.3	13.9	NA	NA
Impulso concéntrico – 100ms (Ns)	5.7	14.7	NA	4.6
Fuerza media concéntrica (W)	4.5	6.5	5.5	NA
Potencia máxima concéntrica (W)	3.9	5.5	3.7	1.9
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica (W/s)	4.9	8.5	12.6	7.1
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 50ms (W/s)	9.1	20.5	NA	NA
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 100ms (W/s)	7.6	22.6	NA	NA
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	2.7	3.6	2.4	1.6

Fuente: adaptación propia de Howarth et al, 2021; Mercer et al., 2021; Heishman et al., 2018 y Lonergan et al., 2022.

Variable	Variable
Howarth	Howarth
Mercer	Mercer
Heishman	Heishman

Lonergan	Lonergan
Jump height (flight time)	Altura de salto (tiempo de vuelo)
Jump height (impulse-momentum)	Altura de salto (impulso-momento)
Flight time/contraction time ratio	Relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción
CMJ stiffness (N/m)	Rigidez CMJ (N/m)
Eccentric/concentric duration ratio	Relación duración excéntrica/concéntrica
Eccentric duration (ms)	Duración excéntrica (ms)
Eccentric deceleration duration	Duración de la desaceleración excéntrica
Eccentric deceleration impulse	Impulso de desaceleración excéntrica
Eccentric deceleration RFD	Desaceleración excéntrica RFD
Countermovement Depth	Profundidad contramovimiento
Eccentric peak power	Potencia media excéntrica
Eccentric peak velocity	Velocidad máxima concéntrica
Concentric duration	Duración concéntrica
Concentric mean force	Fuerza media concéntrica
Concentric impulse	Impulso concéntrico

Concentric mean power	Fuerza media concéntrica
Concentric peak power	Potencia máxima concéntrica
Concentric rate of power development	Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica
Concentric peak velocity	Velocidad máxima concéntrica

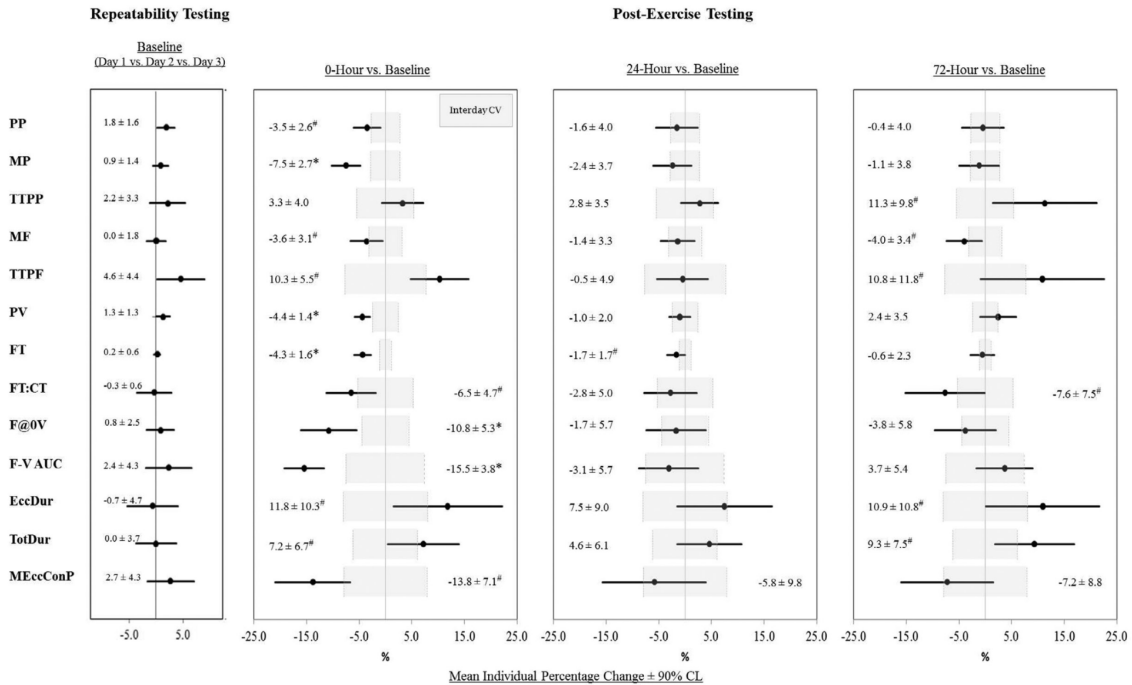
### ***Sensibilidad***

A primera vista, la sensibilidad se utiliza indistintamente con la capacidad de respuesta, es decir, la magnitud o el porcentaje de cambio de una variable determinada. Esto es sólo una parte de la ecuación de la sensibilidad, ya que la sensibilidad también tiene en cuenta el ruido descrito anteriormente. Se evalúa comparando el cambio en una métrica en respuesta a un estímulo (por ejemplo, entrenamiento, competición, microciclo) y relacionándolo con (dividiéndolo por) el cambio "normal" esperado en una variable (es decir, fiabilidad test/retest). Recuerde que el "cambio normal" significa obtener pruebas repetidas en condiciones específicamente seleccionadas para minimizar la influencia de la carga o la recuperación de la misma, y de otros factores fisiológicos. La comparación de estos dos constructos se consigue (normalmente) mediante la creación de una relación señal (respuesta al estímulo)-ruido (variación metodológica y biológica normal) (SNR) cuyos resultados pueden interpretarse de la siguiente manera:

- SNR < 1,0 - La señal no supera el ruido; NO ES SENSIBLE
- SNR > 1,0 - La señal supera al ruido; es SENSIBLE

La mayoría de los estudios de CMJ han evaluado la respuesta aguda (es decir, inmediatamente después del estímulo) y/o residual (24-72 horas después del estímulo) de las métricas a los protocolos de fatiga o al estímulo de coincidencia. Gathercole et al. 2015a examinaron la respuesta aguda de una variedad de métricas "típicas" (que definieron como métricas comúnmente reportadas) y "alternativas" (definidas como métricas novedosas o aquellas que son infrecuentemente o no evaluadas) a pruebas repetidas de Yo-Yo IR2 como protocolo de fatiga. Examinaron la magnitud del cambio (tamaño del efecto - ES) inmediatamente después, y 24 y 72 horas después, en referencia al % CV (basado en la fiabilidad entre días) para esa métrica, determinada previamente en el mismo grupo. Sus resultados se muestran en la figura 5.

**Figura 5: Sensibilidad de las variables típicas y alternativas a las pruebas Yo-Yo IR2 repetidas**



La media y el nivel de confianza (CL) del 90% para el porcentaje de cambio entre el valor inicial, 0 horas, 24 horas y 72 horas después del ejercicio para variables seleccionadas y el coeficiente de variación (CV) entre días (n = 8; 16 saltos de contramovimiento por participante). El CV de la medición entre días se muestra para cada parámetro en gris claro.

PP: potencia máxima; MP: potencia media; TTPP: tiempo hasta la potencia máxima; MF: fuerza media; TTPF: tiempo hasta la fuerza máxima; PV: velocidad máxima; FT: tiempo de vuelo; FT:CT: relación entre el tiempo de vuelo y el tiempo de contracción; F@0V: fuerza a velocidad cero; F-VAUC: área bajo el trazo fuerza-velocidad; EccDur: duración excéntrica; TotDur: duración total; MEccConP: potencia excéntrica y concéntrica media a lo largo del tiempo. \*Cambio medio ± CL ≥ CV entre días. #Cambio medio ≥ CV entre días.

Fuente: Gathercole et al., 2015.

Repeatability testing	Pruebas de replicabilidad
Baseline (day 1 vs day 2 vs day 3)	Línea de base (día 1 vs día 2 vs día 3)
0-hour vs baseline	0 horas vs línea de base

Post exercise testing	Prueba posterior al ejercicio
72 hour vs baseline	72 horas frente a la línea de base

Aunque este estudio, y más ampliamente la investigación de Gathercole y sus colegas, representa un trabajo histórico desde una perspectiva métrica - llevando el examen de la cinética CMJ en la monitorización a una nueva era - tales estudios de respuestas agudas a protocolos de fatiga proporcionan una instantánea de las respuestas agudas-residuales a una carga controlada (protocolo) o caótica (partido), y ayudan a comprender la respuesta y el perfil de recuperación de la fatiga de métricas específicas a cargas específicas o no específicas. Sin embargo, no crean un marco para la monitorización longitudinal necesaria en muchos entornos de alto rendimiento. Hay varios factores que sugieren cautela en la transferencia/traducción directa de los hallazgos de los estudios de respuesta a estímulos de ciclo corto a la aplicación de monitorización a lo largo de la temporada.

El cambio observado en un solo ciclo puede no coincidir con lo que un deportista demuestra a lo largo de toda una temporada, ya que puede estar moderado como consecuencia de su adaptación a estímulos tan discretos. Además, el personal médico y de rendimiento interviene a lo largo de la temporada a medida que estos estímulos promueven adaptaciones positivas o negativas. Por lo tanto, el periodo entre pruebas está lleno de factores moderadores y mediadores que afectan al estado neuromuscular y a la respuesta a la carga. Sobre esta base, un enfoque dirigido a comprender la respuesta "típica" de un atleta a lo largo de una temporada también puede proporcionar información importante sobre la sensibilidad "ecológicamente relevante" de una variable. Utilizamos el término ecológico para denotar que, como se ha demostrado anteriormente con respecto a la fiabilidad, la sensibilidad de una métrica determinada también puede no ser una propiedad intrínseca fija, sino depender del atleta, el deporte y las condiciones de la prueba; en particular, su proximidad al componente caótico/incontrolado de la semana de carga: la competición.

Un enfoque adoptado por los autores consiste en evaluar de nuevo el "error típico", pero esta vez con un conjunto de datos mucho mayor e incluyendo evaluaciones realizadas a lo largo de toda la temporada. Para evaluar a los atletas en "igualdad de condiciones", es decir, para reducir la influencia altamente variable de los minutos jugados y los componentes de la carga en el partido más reciente sobre el NMP, se incluyen en los análisis las evaluaciones realizadas semanalmente en un día en el que las condiciones de carga -aportes de los entrenamientos y los partidos- son lo más homogéneas posible en todo el equipo. Teniendo en cuenta la

evidencia de los estudios de respuesta aguda-residual (Cormack et al. 2008a, Cormack et al. 2008b, Gathercole et al. 2015), las pruebas obtenidas >72 horas después del partido son ideales, ya que los atletas que no compitieron (no seleccionados) habrán tenido la oportunidad de completar un acondicionamiento adicional y los que sí compitieron, la oportunidad de recuperarse. También es probable que el estímulo agudo-residual del entrenamiento haya sido similar. Cuando estos calendarios no puedan cumplirse debido a la congestión de los partidos (intervalos entre partidos de menos de 72 horas, por ejemplo, en la NBA, la NHL o la EPL), es posible que las sesiones de pruebas que se ajusten a las condiciones deseadas sean menos frecuentes (es decir, no semanales) y que el "criterio" de más de 72 horas deba relajarse. Por ejemplo, en un calendario de la NBA, las evaluaciones en el segundo día de entrenamiento después de un partido podrían proporcionar circunstancias similares para las pruebas y realizarse con la frecuencia suficiente para llevar a cabo una evaluación longitudinal. Es probable que utilizar este día para el seguimiento longitudinal, no sólo para la evaluación de la sensibilidad, sea lo mejor para comprender los cambios de "baja frecuencia" en el estado del deportista. Al aplicar esta evaluación retrospectiva en su entorno -tanto si siempre ha podido realizar las pruebas el día ideal como si no-, el análisis debe incluir manzanas (es decir, día de partido + 2) o naranjas (es decir, día de partido + 3), incluso si realiza ambos con regularidad (o irregularmente).

El CV% resultante (es decir, el error típico del cambio de una semana a otra) puede considerarse una señal, y el cociente de este número dividido por el ruido para una métrica determinada es indicativo de su "sensibilidad ecológico-longitudinal". Cuanto mayor sea el número, mayor será la respuesta a los estímulos; sin embargo, para calificar mejor la sensibilidad de una métrica, debe realizarse una inspección visual de los intervalos de confianza del 95% (IC 95%) de la "señal" y el "ruido" para identificar las métricas que no se solapan. La ausencia de solapamiento de los IC del 95% indica que, dentro de todo el grupo, es probable que esa métrica tenga una señal que varía más que el ruido. En otras palabras, la métrica es sensible en todos/casi todos los jugadores. Esto no significa que para usos específicos otras métricas no sean más perspicaces, pero sugiere que para la mayoría de los jugadores estas variables serán sensibles a los estímulos a lo largo de la temporada.

**Tabla 5: Comparación de la sensibilidad entre dos estudios que utilizan métodos similares**

<b>Variable</b>	<b>Howarth</b>	<b>Mercer</b>
Altura de salto (tiempo de vuelo)	1.4	1.2
Altura de salto (impulso-momento)	1.5	1.7
Relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción	1.2	1.6
Rigidez CMJ (N/m)	1.8	5.5
Relación duración excéntrica/concéntrica	1.9	1.7
Duración excéntrica (ms)	1.5	3.1
Duración de la desaceleración excéntrica (s)	1.3	4.8
Impulso de desaceleración excéntrica (Ns)	1.1	5.2
Desaceleración excéntrica RFD (N/s)	1.2	1.8
Profundidad contramovimiento (cm)	1.9	4.5
Potencia media excéntrica (W)	1.3	4.3
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	1.3	5.2
Duración concéntrica (ms)	1.1	1.7
Fuerza media concéntrica (N)	1.4	1.3
Impulso concéntrico (Ns)	1.6	1.6
Impulso concéntrico – 50ms (Ns)	1.5	1.5
Impulso concéntrico – 100ms (Ns)	1.7	1.3
Fuerza media concéntrica (W)	1.6	1.5
Potencia máxima concéntrica (W)	1.3	1.4
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica (W/s)	1.2	1.5
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 50ms (W/s)	1.6	1.3
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 100ms (W/s)	1.7	1.2
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	1.5	1.7

Fuente: adaptación propia de Howarth et al., 2022 y Mercer et al., 2021.

Una consideración importante al interpretar estos resultados es que la propia SNR es una medida específica de la cohorte, y los IC del 95% deben utilizarse para evaluar la "fuerza" de la respuesta, ya que un tamaño de muestra más pequeño creará IC más grandes, ya que hacen suposiciones sobre la amplitud de los resultados en una población, aumentando así el ancho de banda de estos con el fin de permitir la menor confianza en estas suposiciones. Los tamaños de las muestras y las sesiones de prueba en estos estudios fueron 28 jugadores (profesionales) de Rugby Union para 30 sesiones de prueba en Howarth et al., y 13 jugadores (profesionales) de la G-league para 11 sesiones de prueba en Mercer et al.

Es importante aclarar que los resultados de tal análisis de señal-ruido no demuestran la dirección de los cambios individuales, simplemente que en respuesta al estímulo la métrica demuestra una variación mayor que la variación metodológica y biológica esperada. Esto significa que una métrica podría aumentar o disminuir a lo largo de la temporada o de una semana a otra, pero que es probable que ese cambio se deba a los estímulos y no al ruido de la métrica. También hay que tener en cuenta que esto se refiere al ciclo de prueba recuperado (> 72 horas) y que los resultados pueden no ser generalizables a un ciclo de evaluación de jornada +2 en el que hay una influencia mucho mayor de la competición. Este análisis se realiza específicamente para caracterizar variables. Para conocer la dirección del cambio y las respuestas individuales, es más apropiado otro análisis, el modelo mixto (que se analiza más adelante).

### ***Métodos de tratamiento de datos***

Una decisión aparentemente sencilla, pero en realidad algo compleja para el profesional, es la cuestión de si utilizar en el análisis posterior el "mejor" salto o la media de los resultados del conjunto de ensayos realizados (normalmente de 3 a 5). Aunque una revisión reciente del uso del CMJ en la monitorización (Claudino et al. 2017) concluyó que debería utilizarse la media, y la cuestión se ha abordado en algunos estudios (Kennedy & Drake 2018; Howarth et al. 2021), a menudo se deja a la discreción o al sesgo del profesional, y existen argumentos a favor del uso de la mejor, al menos en la elaboración de perfiles.

De hecho, el nivel de esfuerzo e intención de los atletas en pruebas máximas como el CMJ se debate a menudo en la práctica y la investigación. Es evidente, a partir de la inspección de la velocidad máxima excéntrica -una métrica que es indicativa de la intención- a lo largo de las pruebas, que muchos atletas de élite "se acompañan" a lo largo de 3 pruebas, es decir, muestran niveles crecientes de intención. Este fenómeno podría cuestionar el uso de la media para todos los atletas, e indica que los profesionales deberían examinar sus datos para obtener resultados por mejor salto con el fin de comprender la intención de rendimiento de sus jugadores.

La recopilación de datos de saltos que sean precisos (es decir, que reflejen la verdadera capacidad máxima del atleta en un momento dado) se discute mejor en el contexto del entorno y la motivación. Según la experiencia de los autores, cuando el personal comunica el uso y el objetivo de los datos de saltos y proporciona información inmediata sobre los resultados a los jugadores, es más probable que el jugador acepte el proceso y aprecie el propósito y el uso de los datos en relación con la programación del entrenamiento y el cuidado general del atleta. Además, la creación de un entorno competitivo entre los jugadores mediante tablas de clasificación que se actualizan en tiempo real genera ánimo de grupo y ayuda a

obtener el máximo esfuerzo en las pruebas. Como la altura del salto del atleta es la métrica más reconocible del salto, generalmente se selecciona para las tablas de clasificación. Sin embargo, en deportes con grandes diferencias posicionales en esta métrica, las tablas de clasificación posicionales son más apropiadas que las listas de todo el equipo. Además, algunos deportistas se sienten más motivados compitiendo contra sus propias puntuaciones, por lo que el feedback inmediato referido a sus propios datos también puede ser pertinente, así como, o en lugar de, una tabla de clasificación de grupo.

En relación con el tratamiento de los datos, estudios en rugby union (Kennedy y Drake 2018; Howarth et al. 2021) y baloncesto (Mercer et al. 2021) han demostrado que la media de varios saltos da como resultado un CV% más bajo que los "mejores" saltos, seleccionados como los datos del salto con mayor altura de salto o el salto con mayor relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción (FTCT). Además de esto, los estudios de sensibilidad en esos mismos deportes (Howarth et al., 2022; Mercer et al. 2021) han demostrado que el uso de la media da como resultado una mayor sensibilidad para la mayoría de las métricas en el análisis ecológico-longitudinal. Sin embargo, Howarth et al. mostraron resultados similares para la sensibilidad utilizando la Mejor FTCT como método de tratamiento de datos (véase la figura 6 a continuación). Esto es alentador para los profesionales que no confían en el esfuerzo realizado por sus atletas a lo largo de sus saltos: Seleccionando los resultados de la prueba con la mejor FTCT, el practicante puede controlar los cambios variables a partir del salto más eficiente (es decir, la mejor combinación de altura y tiempo empleado - equivalente a la fuerza reactiva modificada) realizado. Esto podría considerarse como un enfoque de "salto mínimo viable" para las pruebas de CMJ. El uso de la mejor FTCT también tiene el efecto de "limpiar" un conjunto de ensayos, por lo que los saltos realizados con poca intención (baja o incluso "inadecuada" velocidad excéntrica - como se discutió en el curso "Evaluación de la fuerza y una introducción a la cinemática"), no se conservan para su posterior análisis. En la práctica, el uso de la media requerirá inspeccionar los datos para identificar las pruebas que podrían justificar la exclusión.

**Figura 6: Comparación de los resultados de sensibilidad utilizando diferentes métodos de tratamiento de datos**

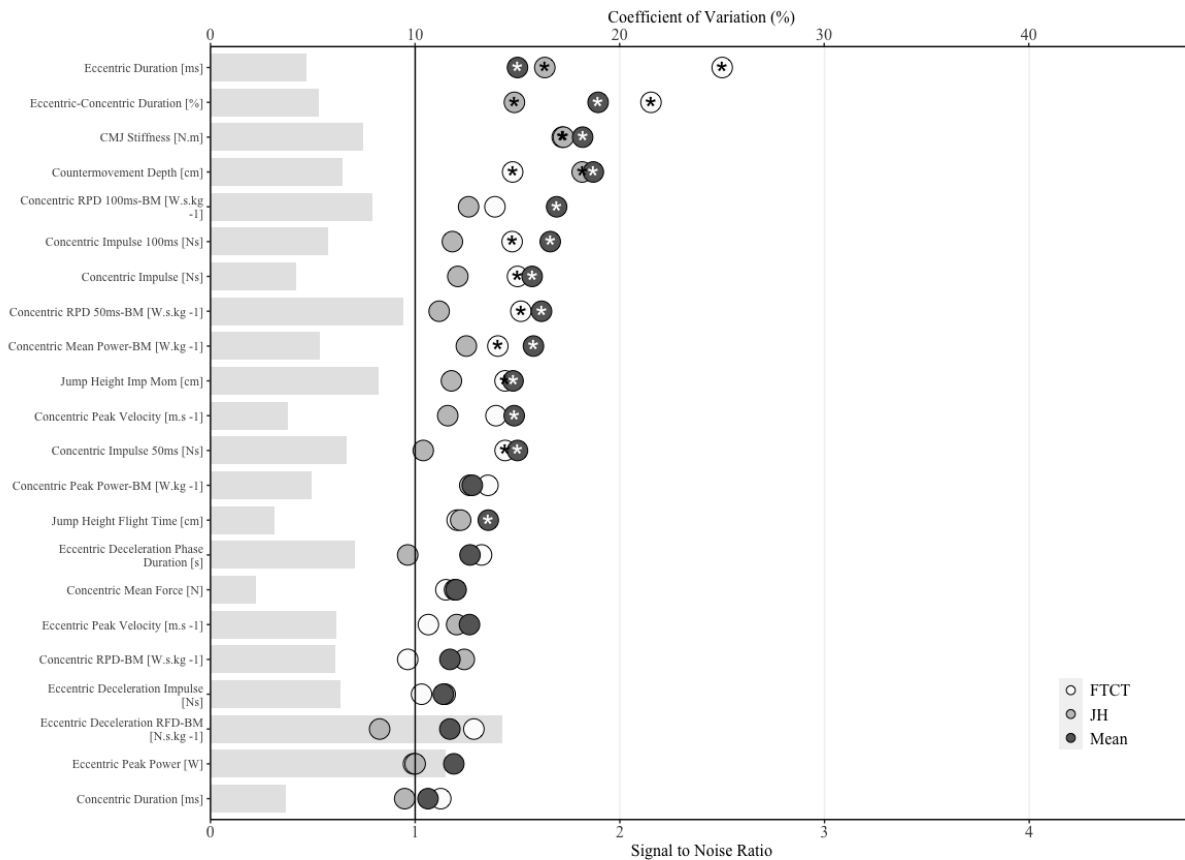


Figura adaptación propia de Howarth et al., 2022.

Las variables están ordenadas de mayor a menor en función de la SNR media para los tres métodos de tratamiento de datos para calcular las métricas CMJ (es decir, Media = media de 3 saltos; JH = ensayo con la mejor altura de salto por tiempo de vuelo; FTCT = ensayo con la mejor relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción). Las barras grises representan el CV% (ruido) medio de ensayo/retest para los tres métodos de tratamiento de datos. \* = el método de tratamiento de datos no presenta solapamiento de los IC del 95% para las medidas de señal y ruido

Coefficient of variation	Coeficiente de variación
Concentric RPD 100ms -BM	RPD concéntrica 100 ms -BM
Eccentric deceleration phase - duration	Duración de la fase de desaceleración excéntrica
Signal to noise ratio	Relación señal/ruido

## Rasgos de medición

### *Análisis de componentes principales (PCA)*

Hasta este punto, hemos descrito el proceso utilizado para examinar las características de medición de las métricas de salto, dándonos una idea de su variabilidad esperada en la línea de base y longitudinalmente y hemos mostrado resultados de tales análisis en Rugby y Baloncesto (Howarth et al., 2022; Mercer et al. 2021). Los resultados del componente de fiabilidad se han utilizado a menudo en investigaciones anteriores como único criterio para la inclusión exclusión de variables en futuras investigaciones y prácticas. La sensibilidad también se ha utilizado como único criterio de inclusión. Sin embargo, las características de medición por sí solas no determinan la utilidad de una variable, no sólo porque, como se ha comentado, ambas características deben combinarse en un análisis SNR, sino también porque hay variables identificadas como fiables y sensibles que pueden medir el mismo constructo o constructos muy similares. Por lo tanto, si bien se califican en función de la sensibilidad, el análisis de múltiples variables que demuestran redundancia (que proporcionan la misma información que otra métrica) en el seguimiento no cumple nuestro objetivo de parsimonia. Debido a la naturaleza típicamente temporal de los análisis de fuerza, velocidad, potencia e impulso, un número considerable de variables tienen puntos temporales y medidas que se solapan (véase la figura 3 anterior).

Para solucionarlo, podemos utilizar una técnica estadística denominada Análisis de Componentes Principales (PCA). El PCA es un procedimiento mediante el cual se analizan las puntuaciones de un conjunto de variables en busca de covarianza entre sujetos con el objetivo de determinar si las métricas están tan correlacionadas que es probable que estén midiendo el mismo constructo. En el PCA, las métricas se examinan en diferentes ejes (denominados "dimensiones de análisis") para ver cuáles muestran las relaciones más fuertes entre sí (denominadas "valor de carga"). El profesional puede utilizar un valor de corte de carga para identificar con qué componente (dimensiones) está más cargada la variable (por ejemplo, 0,6). Los componentes se organizan numéricamente en función del que tiene mayor influencia sobre el conjunto de las métricas analizadas (% de varianza explicada). Así, el primer componente principal (CP) explica la mayor varianza de todas las métricas, el segundo CP la segunda mayor varianza, y así sucesivamente.

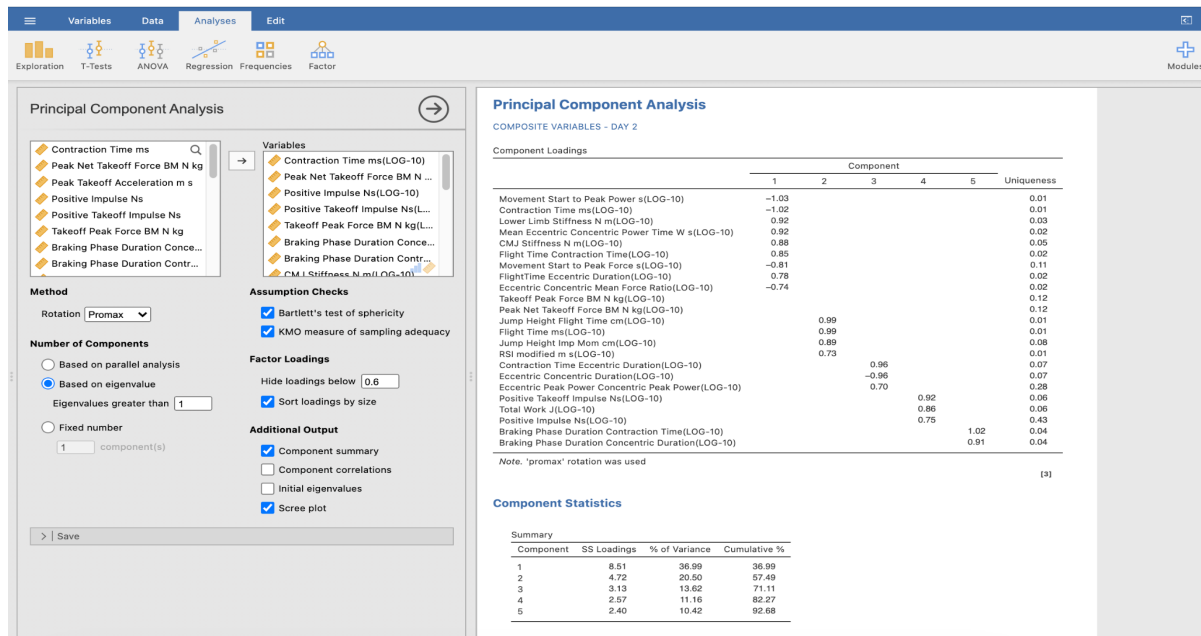
Existen 4 reglas estadísticas que el profesional debe tener en cuenta al utilizar el PCA:

1. Multicolinealidad: Las medidas repetidas no pueden introducirse en un PCA, ya que el proceso analiza la varianza dentro de un grupo, y las medidas múltiples de los individuos crean "una covarianza artificial" que sesga los resultados, particularmente para valores extremos (muy altos o muy bajos) dentro del grupo (Matsunaga 2010). El PCA se utiliza para evaluar los componentes importantes del salto no dentro de un conjunto de datos de seguimiento, sino que este análisis se utiliza para ayudarnos a comprender dónde puede existir redundancia en las métricas para el seguimiento (es decir, métricas que miden el mismo constructo/componente) o, de hecho, para la elaboración de perfiles. El PCA no se diseñó para el análisis de la sensibilidad longitudinal o la respuesta a estímulos.
2. Tamaño de la muestra y número de métricas: Una de las reglas del PCA es que el conjunto de datos debe incluir al menos 1 sujeto más que el número de métricas (Matsunaga 2010). Por lo tanto, esto puede no ser factible para el profesional que comienza este proceso con datos obtenidos de su plantilla de deportes de equipo (normalmente 20-30 jugadores) y un sistema de plataforma de fuerza contemporáneo (con un número sustancialmente grande de variables disponibles). Un enfoque para sortear esta limitación del PCA en estudios con tamaños de muestra inadecuados para incluir una lista extensa, ha sido incluir sólo un número limitado de métricas. Sin embargo, este enfoque, por definición, implica la preexclusión de métricas basadas en investigaciones previas, prejuicios y/u opiniones de expertos, y podría decirse que socava el objetivo de realizar un PCA: examinar una amplia gama (completa) de variables disponibles y determinar la redundancia y reducir el número de métricas mediante un proceso estadístico agnóstico. Otro enfoque, que permite conservar todas las métricas, consiste en analizarlas en grupos. Por ejemplo, fase por fase (es decir, excéntrica/hacia abajo, concéntrica/hacia arriba, aterrizaje y "compuesta" [no ligada a una de estas fases ni cruzándolas]). Esto permite reducir el número de métricas en cada PCA sin dejar de explorar todas las variables disponibles para el profesional.
3. Validación de los resultados: Como se ha dicho, el objetivo del PCA es revelar los componentes cinéticos importantes del CMJ. Para estar seguros de que estos son persistentes en diferentes contextos/condiciones de seguimiento del atleta, sugerimos repetir el PCA en dos puntos temporales diferentes, es decir, los criterios utilizados para seleccionar, por ejemplo, dos sesiones de pruebas de fiabilidad y, de hecho, estos dos días pueden utilizarse para la "validación" del PCA.
4. Tratamiento de los datos: Un aspecto importante del tratamiento de los datos que se analizan en el PCA es el escalado de los valores de cada métrica, por ejemplo mediante la transformación  $\log_{10}$  (Matsunaga, 2010). Esto permite la evaluación de variables para rasgos de medición comunes en cada componente, independientemente de la magnitud de la unidad medida de la

variable. Esto garantiza que los componentes se basan en la varianza real y proporciona más confianza a la hora de afirmar las redundancias resultantes reveladas. De hecho, al examinar las variables que componen cada componente, surgen rasgos de medición comunes, lo que proporciona al profesional una visión que ayuda a la selección de variables representativas para cada componente identificado. Combinado con la comprensión de las otras características de medición de estas métricas, el profesional podría incluir con confianza aquellas que demuestren la mayor sensibilidad (no superposición de los IC del 95%) en su lista de métricas utilizadas para monitorizar los cambios en el estado neuromuscular.

Como se sugirió anteriormente, el examen de las variables en sus agrupaciones temporales ayudará al profesional a gestionar los datos sin dejar de examinar todas las métricas. Aunque no se identificarán asociaciones entre fases como en otras investigaciones (Richter, O'Connor et al. 2014, Sole, Mizuguchi et al. 2018), la fidelidad de cada métrica se conserva y puede analizarse en función del impacto que tiene en esa fase del CMJ. Una demostración de esto puede verse en la figura 7 a continuación, que muestra los componentes resultantes de un análisis de este tipo en Jamovi sobre variables "compuestas".

**Figura 7: Demostración de PCA en Jamovi utilizando métricas "compuestas" de CMJ**



Fuente: captura de pantalla.

Análisis de datos de CMJ recogidos de jugadores profesionales de rugby. Para completar el análisis, el software gratuito de código abierto Jamovi ofrece un proceso cómodo y validado. Además, varios grupos han utilizado funciones del paquete psych disponible en R junto con paquetes y aplicaciones

creados que completan el análisis y proporcionan informes detallados sobre los datos, como FactoMineR y FactoShiny que se han desarrollado bajo la dirección de Francois Husson.

## **Examen de la relación dosis-respuesta con la carga: Modelización de efectos mixtos**

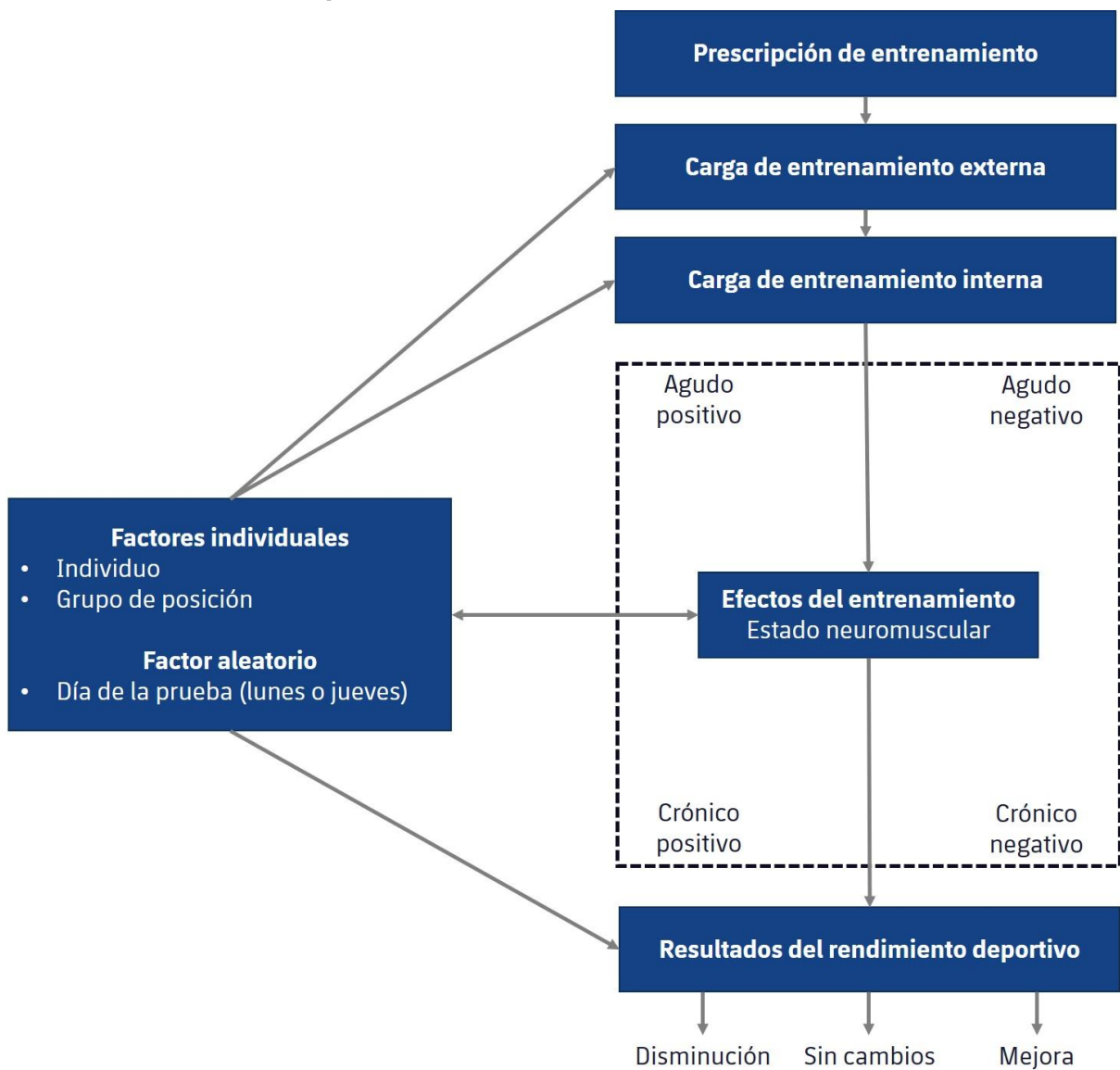
Cuantificar la respuesta de los atletas individuales a la carga a lo largo de distintos periodos de tiempo es esencial dada la complejidad biológica de la adaptación humana (Kiely 2012) y las altas exigencias de la competición deportiva moderna (Mercer et al. 2022). De hecho, el uso del CMJ como parte de un marco holístico y polifacético que mide la entrada (carga) y la salida (rendimiento) del atleta, y por lo tanto la respuesta a la carga, es el núcleo de la atención al atleta y sustenta las mejores prácticas en rendimiento, S&C, ciencia del deporte, medicina con modelos específicos defendidos en publicaciones recientes (Jeffries et al. 2021, Mercer et al. 2022). El CMJ ofrece al profesional una prueba agnóstica y no fatigante de la capacidad neuromuscular máxima que puede utilizarse varias veces a la semana y en relativa proximidad al juego. En consecuencia, puede utilizarse para cuantificar la respuesta neuromuscular a cargas agudas, residuales o crónicas. Pero, como se ha destacado anteriormente, el profesional debe tener en cuenta que las evaluaciones realizadas en condiciones diferentes no deben introducirse en el mismo análisis de señales, es decir, si se realizan tanto en la jornada + 2 como en la jornada -1 a lo largo de la temporada, se formarían dos análisis separados. Podría realizarse un análisis adicional de la jornada + 2 frente a la jornada - 1 para evaluar las trayectorias de recuperación durante la semana, pero no se trataría de un análisis SNR.

Sostenemos que los procesos descritos hasta ahora son herramientas válidas y apropiadas para aplicar a la fiabilidad entre días y a los datos de CMJ semanales/repetidos a lo largo de la temporada de un "atleta recuperado" con el objetivo de determinar la sensibilidad métrica y comenzar la reducción métrica dentro de un grupo de atletas. Sin embargo, como se ha destacado anteriormente, debido a la variabilidad de la entrada a través del grupo de atletas, también sugerimos que este mismo proceso NO se aplicaría a las evaluaciones CMJ realizadas <72 horas después de la competición. En su lugar, se utilizaría otro método para cuantificar la respuesta de las métricas a las diferentes cargas: la modelización de efectos mixtos.

Una vez procesadas las métricas (es decir, las características de medición y los análisis de covarianza realizados en los datos dentro de la cohorte), el profesional dispone ahora de un cuadro de mando de variables de seguimiento que puede examinar en el contexto de un programa holístico destinado a cuantificar los efectos de la carga sobre el estado neuromuscular y el bienestar general. Éstos pueden

detallarse en un marco conceptual que detalla los probables efectos del entrenamiento de la carga interna y externa (moderadores) y otros factores individuales (mediadores).

Figura 8: Esquema de un marco conceptual de dosis-respuesta de la carga de entrenamiento en el deporte



Este esquema puede utilizarse para visualizar los efectos que se cree que tienen la carga de entrenamiento y los factores individuales sobre los efectos del entrenamiento.

Fuente: adaptación propia de Jeffries et al. 2021.

Training prescription	Prescripción de entrenamiento
External training load	Carga de entrenamiento externa
Internal training load	Carga de entrenamiento interna
Acute positive	Agudo positivo
Acute negative	Agudo negativo
Training effects	Efectos del entrenamiento
Neuromuscular status	Estado neuromuscular
Chronic positive	Crónico positivo
Chronic negative	Crónico negativo
Sport performance outcomes	Resultados del rendimiento deportivo
Decline	Disminución
No change	Sin cambios
Improvement	Mejora
Individual factors	Factores individuales
Individual	Individuo

Position group	Grupo de posición
Random factor	Factor aleatorio
Test day (Monday or Thursday)	Día de la prueba (lunes o jueves)

Utilizando este marco conceptual para guiar la aplicación de un modelo mixto; las variables que estamos examinando son los cambios en la métrica CMJ en diferentes puntos temporales (es decir, los efectos del entrenamiento), los efectos fijos son la carga de entrenamiento (es decir, la carga interna y externa cuantificada), y los efectos aleatorios son factores individuales y contextuales (por ejemplo, edad, posición, etc.). Una demostración de este proceso puede verse en la investigación de Mercer et al. en baloncesto profesional (G-League - EE.UU.), donde midieron el efecto del tiempo de juego, la carga de entrenamiento, los viajes y el bienestar percibido sobre el rendimiento en métricas que habían determinado previamente como sensibles utilizando un enfoque longitudinal como el sugerido anteriormente. Aunque esta investigación carece de la aplicación de un PCA a los datos (introduciendo así potencialmente redundancia en su examen), pueden evaluarse los efectos simples de la carga y el estrés acumulados. Se pueden encontrar resultados significativos para el efecto de la carga acumulada y los estímulos agudos/residuales (en este caso, los viajes), pero el tamaño del efecto es pequeño. Como se mencionó anteriormente en este módulo, es probable que esto se deba a los efectos moderadores y mediadores de la adaptación del deportista y la intervención del personal. Es poco probable que se produzcan grandes cambios en el tamaño del efecto en entornos aplicados si el personal de rendimiento, médico y entrenador está gestionando bien el entrenamiento y la fatiga de los deportistas.

**Tabla 6: Efecto del entrenamiento y la carga de viaje en las medidas de CMJ en el baloncesto profesional**

	Coefficient estimate	Standard Error	95% CI	df	t	p	Effect size (r)
<b>Countermovement Depth</b>							
Intercept (cm)	-31.7	-1.2	-34.1, -29.4	21.9	-27.5	<0.001	
Soreness (AU—z-score)	-0.641	0.325	-1.282, 0.001	152.8	-2.0	0.050	0.16
Hours travelled 3-day (hrs)	-0.548	0.198	-0.939, -0.158	150.1	-2.8	0.006	0.22
<b>Eccentric Braking RFD</b>							
Intercept (N/s)	4535	461	3,589, 5,480	26.6	9.8	<0.001	
Accumulated training load 10-day (AU)	0.208	0.062	0.085, 0.330	136.7	3.4	0.001	0.28
<b>Eccentric Duration</b>							
Intercept (ms)	621	25	570, 671	32.1	25.2	<0.001	
Accumulated training load 3-day (AU)	-0.037	0.015	-0.068, -0.007	154.2	-2.5	0.015	0.19
<b>Eccentric Mean Deceleration Force</b>							
Intercept (N)	1505	54	1,394, 1,615	25.7	27.9	<0.001	
Accumulated training load 10-day (AU)	0.021	0.007	0.008, 0.034	139.8	3.2	0.002	0.26
<b>Mean Eccentric+Concentric Power:Time</b>							
Intercept (W/s)	1565	106	1,347, 1,783	26.4	14.8	<0.001	
Accumulated training load 10-day (AU)	0.042	0.017	0.008, 0.077	50.6	2.5	0.017	0.33
<b>Eccentric Deceleration Phase Duration</b>							
Intercept (s)	0.213	0.011	0.189, 0.236	26.2	18.6	<0.001	
Accumulated training load 10-day (AU)	-0.000005	0.000002	-0.000008, -0.000002	74.6	-3.2	0.002	0.35
<b>Eccentric Peak Power</b>							
Intercept (W)	1413	112	1,180, 1,645	23.3	12.6	<0.001	
Days away from home city 10-day (days)	23.276	8.589	6.287, 40.264	132.6	2.7	0.008	0.23
<b>Eccentric Peak Velocity</b>							
Intercept (m/s)	-1.116	0.049	-1.218, -1.014	22.2	-22.6	<0.001	
Hours travelled 3-day (hrs)	-0.013	0.006	-0.025, -0.001	149.2	-2.2	0.033	0.17

Fuente: Mercer et al., 2022.

UA: unidad arbitraria; IC: intervalo de confianza para la estimación del coeficiente. Los estadísticos clave son el valor p que determina la significación de los resultados (significativo =  $p \leq 0,05$ ) y el tamaño del efecto (valor r) que puede interpretarse como: < 0,1 = trivial; 0,10- 0,29 = pequeño; 0,30- 0,49 = moderado; 0,50- 0,69 = grande; 0,70- 0,89 = muy grande; 0,90- 0,99 = casi perfecto; 1,0 = perfecto.

Coefficient estimate	Coeficiente estimado
Standard Error	Error estándar
95% CI	95% CI
Effect size	Tamaño del efecto
Countermovement depth	Profundidad del contramovimiento
Intercept	Intercepción
Soreness	Dolor
Hours travelled 3 day	Horas recorridas en 3 días

Eccentric braking RFD	Frenado excéntrico RFD
Accumulated training load 10 day	Carga de entrenamiento acumulada por 10 días
Eccentric duration	Duración excéntrica
Accumulated training load 3 day	Carga de entrenamiento acumulada por 3 días
Eccentric mean deceleration force	Fuerza media de desaceleración excéntrica
Mean eccentric + concentric power time	Tiempo medio de fuerza excéntrica + concéntrica
Eccentric deceleration phase duration	Duración de la fase excéntrica de desaceleración
Eccentric peak power	Potencia media excéntrica
Days away from home city 10 days	Días fuera de la ciudad de origen en 10 días
Eccentric peak velocity	Velocidad máxima concéntrica
Hours travelled 3 days	Horas recorridas en 3 días

## Conclusiones

Todo lo anterior constituye un conjunto práctico de herramientas estadísticas que se suma a las prácticas basadas en pruebas para recopilar datos útiles a la hora de evaluar el CMJ. Además, estos análisis le aportan al profesional los conocimientos necesarios para determinar con seguridad cuándo se ha producido un cambio real. Al trabajar a lo largo del proceso y dedicar tiempo a comprender la respuesta y las

redundancias, el profesional evita seleccionar variables que pueden no ser tan útiles para el propósito previsto para sus atletas. Es importante comprender que estas características de medición varían según los grupos, como se muestra en las tablas 4 y 5. El profesional puede utilizar esta herramienta para evaluar el rendimiento de sus deportistas. Los profesionales pueden utilizar este conjunto de herramientas para aplicar un proceso de análisis específico para cada población que respalde una base ecológicamente sólida para identificar las métricas principales y crear un cuadro de mandos óptimo más sencillo con una mínima redundancia. En el mismo proceso, también se produce un proceso estadísticamente robusto para clasificar/calificar la magnitud del cambio (clave para convertir los datos cinéticos del CMJ en información para la toma de decisiones).

**Tabla 7: Comparación de la fiabilidad absoluta - CV% (IC 95%) - de las métricas CMJ utilizando diferentes condiciones de prueba (combinaciones de días en la primera semana de pretemporada)**

Variable	Condición 1 - lun-mar	Condición 2 - lun-mar	Condición 3 - mar-jue	Condición 4 - lun-lun	Condición 5 - lun-mar-jue
Altura de salto (tiempo de vuelo)	2.8 (2.6 – 3.4)	3.1 (2.9 – 3.7)	2.7 (2.5 – 3.3)	3.5 (3.2 – 4.3)	2.8 (2.6 – 3.4)
Altura de salto (impulso-momento)	6.9 (6.3 – 8.3)	5.2 (4.8 – 6.2)	6.0 (5.5 – 7.2)	7.4 (6.9 – 9)	6.9 (6.3 – 8.3)
Relación tiempo de vuelo/tiempo de contracción	4.3 (4 – 5.2)	4.9 (4.5 – 5.9)	4.4 (4.1 – 5.3)	5.7 (5.2 – 6.8)	4.3 (4 – 5.2)
Rigidez CMJ (N/m)	6.6 (6.1 – 8)	4.8 (4.4 – 5.7)	6.5 (5.9 – 7.8)	6.3 (5.8 – 7.7)	6.6 (6.1 – 8)
Relación duración excéntrica/concéntrica	4.7 (4.4 – 5.7)	5.3 (4.9 – 6.4)	4.2 (3.9 – 5.1)	4.8 (4.4 – 5.8)	4.7 (4.4 – 5.7)
Duración excéntrica (ms)	5.0 (4.6 – 6.1)	5.6 (5.2 – 6.8)	5.0 (4.6 – 6)	5.8 (5.4 – 7.1)	5.0 (4.6 – 6.1)
Duración de la desaceleración excéntrica (s)	5.6 (5.1 – 6.7)	4.9 (4.6 – 6)	5.5 (5.1 – 6.7)	7.8 (7.1 – 9.4)	5.6 (5.1 – 6.7)
Impulso de desaceleración excéntrica (Ns)	5.1 (4.7 – 6.2)	6.4 (5.9 – 7.7)	4.5 (4.1 – 5.4)	6.4 (5.9 – 7.7)	5.1 (4.7 – 6.2)
Desaceleración excéntrica RFD (N/s)	12.1 (11.1 – 14.6)	11.4 (10.6 – 13.8)	11.6 (10.7 – 14)	16.6 (15.3 – 20.1)	12.1 (11.1 – 14.6)
Profundidad contramovimiento (cm)	5.4 (5 – 6.6)	4.1 (3.8 – 5)	4.2 (3.9 – 5.1)	4.4 (4.1 – 5.3)	5.4 (5 – 6.6)
Potencia media excéntrica (W)	9.0 (8.3 – 10.9)	10.3 (9.4 – 12.4)	8.9 (8.2 – 10.7)	10.4 (9.6 – 12.6)	9.0 (8.3 – 10.9)
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	4.9 (4.5 – 5.9)	6.2 (5.7 – 7.4)	4.3 (4 – 5.2)	6.0 (5.5 – 7.3)	4.9 (4.5 – 5.9)
Duración concéntrica (ms)	3.2 (3 – 3.9)	2.7 (2.5 – 3.3)	2.6 (2.4 – 3.2)	3.0 (2.8 – 3.6)	3.2 (3 – 3.9)
Fuerza media concéntrica (N)	2.0 (1.9 – 2.4)	1.7 (1.5 – 2)	2.0 (1.8 – 2.4)	2.3 (2.1 – 2.8)	2.0 (1.9 – 2.4)
Impulso concéntrico (Ns)	3.5 (3.2 – 4.2)	2.3 (2.1 – 2.8)	3.1 (2.9 – 3.8)	3.5 (3.2 – 4.2)	3.5 (3.2 – 4.2)
Impulso concéntrico – 50ms (Ns)	5.8 (5.4 – 7)	5.9 (5.4 – 7.1)	6.3 (5.8 – 7.6)	7.3 (6.7 – 8.9)	5.8 (5.4 – 7)
Impulso concéntrico – 100ms (Ns)	5.0 (4.6 – 6.1)	5.3 (4.9 – 6.4)	5.7 (5.3 – 6.9)	6.4 (5.9 – 7.8)	5.0 (4.6 – 6.1)
Fuerza media concéntrica (W)	4.7 (4.3 – 5.6)	3.8 (3.5 – 4.6)	4.5 (4.1 – 5.4)	5.7 (5.2 – 6.8)	4.7 (4.3 – 5.6)
Potencia máxima concéntrica (W)	4.4 (4 – 5.3)	3.2 (3 – 3.9)	3.9 (3.6 – 4.8)	4.8 (4.4 – 5.8)	4.4 (4 – 5.3)
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica (W/s)	5.5 (5 – 6.6)	5.3 (4.8 – 6.4)	4.9 (4.6 – 6)	6.9 (6.4 – 8.4)	5.5 (5 – 6.6)
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 50ms (W/s)	8.3 (7.7 – 10.1)	8.8 (8.1 – 10.6)	9.1 (8.3 – 10.9)	11.0 (10.1 – 13.3)	8.3 (7.7 – 10.1)
Tasa de desarrollo de la potencia concéntrica – 100ms (W/s)	7.0 (6.4 – 8.4)	7.9 (7.2 – 9.5)	7.6 (7 – 9.2)	9.4 (8.7 – 11.4)	7.0 (6.4 – 8.4)
Velocidad máxima concéntrica (m/s)	3.1 (2.9 – 3.8)	2.4 (2.2 – 2.9)	2.7 (2.5 – 3.3)	3.5 (3.2 – 4.2)	3.1 (2.9 – 3.8)

Fuente: adaptación propia de Howarth et al., 2021.

Los resultados del error típico y los CI del 95% pueden utilizarse para establecer un ancho de banda del error típico en los resultados en torno a un valor de referencia, con el que se compararán todas las medidas futuras para determinar si una diferencia es "significativa".

Variable	Variable
Condition 1 – mon -tues	Condición 1 - lun-mar
Condition 3 – tue-thu	Condición 3 - mar-jue

Condition 4 mon-mon	Condición 4 lun-lun
Condition 5 – mon-tue-thu	Condición 5 - lun-mar-jue

Como hemos reiterado a lo largo de este curso, para hacer interpretaciones significativas y válidas de las medidas cinéticas, es fundamental comprender el contexto en el que se recogieron los datos y de quién. Generalizar los resultados recogidos de un deporte o incluso de un nivel dentro de un deporte a otro podría llevar tanto a desorientar al profesional en términos de selección de métricas como a conclusiones inexactas dentro de la LRM y la elaboración de perfiles en el atleta sano y en rehabilitación, lo que podría tener un impacto negativo en el tratamiento del atleta. Según la experiencia de los autores, a continuación se exponen las consideraciones fundamentales para comprender al deportista y el contexto de los datos:

- El deporte: El mayor determinante del perfil cinético de un atleta es probablemente el estímulo al que se expone repetidamente... ¡su deporte y el acondicionamiento técnico y físico asociado! Esto no significa que cada deporte vaya a tener una "firma" cinética totalmente distinta, pero sí que, si no se dispone de bibliografía cinética, debe darse prioridad a la recogida de datos y al análisis de perfiles y respuestas antes que a la interpretación y las intervenciones.
- **Nivel del atleta:** En los atletas de resistencia se ha demostrado que, si bien un mayor VO<sub>2</sub> máx. se asocia a un mejor rendimiento cuando se comparan diferentes niveles de atleta, en los atletas de mayor nivel, otros marcadores fisiológicos son mejores indicadores del rendimiento. En términos de rendimiento de salto, la altura de salto o la potencia concéntrica máxima deberían ser superiores en todos los grupos de edad y, en general, en todos los niveles, pero otras métricas CMJ-cinéticas son mejores indicadores del rendimiento / más discriminatorias en el nivel de élite y sub-élite (como se muestra en el Curso "Evaluación de la fuerza e introducción a la cinemática", Módulo 2. Baloncesto profesional frente a baloncesto universitario)
- **Edad de entrenamiento:** Los atletas más jóvenes muestran patrones de movimiento variados a medida que aprenden y están expuestos a demandas de carga (y técnicas) variadas a medida que están expuestos a diferentes deportes. La variabilidad también se manifiesta en la cinética de las evaluaciones de salto en una menor fiabilidad (dentro de la sesión y entre días) de las métricas en los atletas más jóvenes (Nibali et al., 2015) y los profesionales tendrán que ajustar sus expectativas y asegurarse de que la fiabilidad se mide en estos atletas cuando utilicen evaluaciones para controlar

la respuesta a la entrada de entrenamiento y competición a lo largo del tiempo. La familiarización cobra mayor importancia en todas las pruebas físicas.

- **Finalidad de la prueba / uso de los datos:** ¿Los datos se utilizan para perfilar/examinar al atleta (evaluación comparativa para comprender el patrón de movimiento típico de un individuo en caso de lesión, o para perfilar al atleta y compararlo con sus pares deportivos/de posición) o se utilizan principalmente con fines de LRM (para comprender la respuesta a la competición y la carga de entrenamiento o para respaldar las decisiones de programación y cuantificar las cualidades neuromusculares afectadas por un protocolo de entrenamiento específico)? La consideración de la pregunta relacionada con el rendimiento o las lesiones para cuya respuesta se utilizan los datos obtenidos es una consideración esencial en la selección/valor de las métricas. Estas aplicaciones proporcionan orientación sobre otros datos que podrían ser necesarios, el tipo de análisis de datos y las herramientas estadísticas utilizadas. El profesional también descubrirá que determinadas métricas son más útiles para la elaboración de perfiles, es decir, para definir las diferencias entre deportistas o posiciones, pero pueden no ser las más sensibles o receptivas en el contexto de la LRM.

Si bien existen otros factores intrínsecos y extrínsecos que influyen en el grado de obtención de información/percepciones que proporciona una métrica determinada para un atleta o grupo de atletas específico, estos cuatro factores son características identificables del atleta y de la prueba que modulan claramente el valor/utilidad de una métrica dentro de un grupo determinado al modificar sus características de medición y/o sus rasgos de medición. En última instancia, esto también afecta a la información obtenida por el profesional a partir de la evaluación, la interpretación de los resultados y el modo en que estos orientan los programas de entrenamiento, recuperación y rendimiento de sus deportistas. Por lo tanto, recomendamos a todos los profesionales que se tomen el tiempo de seguir estos protocolos para comprender las características de medición y los rasgos de medición de las métricas cinéticas de su población. Esta información puede incorporarse a un marco conceptual para analizar la respuesta a estas métricas, y a dosis variables de carga a lo largo de una temporada, y por extensión analizar el estado neuromuscular de sus atletas.

## Referencias

Anicic, Zdravko, Janicijevic, Danica, Knezevic, Olivera M., Garcia-Ramos, Amador, Petrovic, Milos R., Cabarkapa, Dimitrije, & Mirkov, Dragan M. (2023). Assessment of Countermovement Jump: What Should We Report? *Life (Basel, Switzerland)*, 13(1), 190. doi:10.3390/life13010190

Balsalobre-Fernández C1, Tejero-González CM, Del Campo-Vecino J. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014 Sep;9(5):839-44. Hormonal and neuromuscular responses to high-level middle- and long-distance competition.

Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Mar;81(5):418-27. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans.

Bishop C, Abbott W, Brashill C, Turner A, Lake J, Read P. (2022) Bilateral vs. Unilateral Countermovement Jumps: Comparing the Magnitude and Direction of Asymmetry in Elite Academy Soccer Players. *J Strength Cond Res.* Jun 1;36(6):1660-1666. doi: 10.1519/JSC.0000000000003679.

Boullosa DA, Tuimil JL, Alegre LM, Iglesias E, Lusquiños F. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011 Mar;6(1):82-93. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes.

Brockett, C., Warren, N., Gregory, J. E., Morgan, D. L., & Proske, U. (1997). A comparison of the effects of concentric versus eccentric exercise on force and position sense at the human elbow joint. *Brain Research*, 771, 251 – 258.

Byrne, Chris & Eston, Roger. (2002). The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *Journal of sports sciences.* 20. 417-25. 10.1080/026404102317366672.

Callister R, Callister RJ, Fleck SJ, Dudley GA. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Dec;22(6):816-24. Physiological and performance responses to overtraining in elite judo athletes.

Chaouachi A, Othman AB, Hammami R, Drinkwater EJ, Behm DG. (2014) The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *J Strength Cond Res.* Feb;28(2):401-12J

Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C. & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor

neuromuscular status: A meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397-402. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>

Cohen, D. D., Restrepo, A., Richter, C., Harry, J. R., Franchi, M. V., Restrepo, C., Poletto, R., & Taberner, M. (2020). Detraining of specific neuromuscular qualities in elite footballers during COVID-19 quarantine. *Science and Medicine in Football*, 5, 26-31. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1834123>

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

Cohen & Kennedy, (2021). Force platform technology. In NSCA's Essentials of Sport Science. Ed. French D, Torres-Ronda L and NSCA -National Strength & Conditioning Association

Comyns TM, Harrison AJ, Hennessy LK. (2011) An investigation into the recovery process of a maximum stretch-shortening cycle fatigue protocol on drop and rebound jumps. *J Strength Cond Res*. Aug;25(8):2177-84.

Cormack SJ, Newton RU, and McGuigan M. (2008a). Neuromuscular and endocrine responses of elite players to an Australian Rules Football match. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(3): 359-453

Cormack SJ, Newton RU, McGuigan M, et al. (2008b). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3: 131-144

Cormack SJ, Mooney MG, Morgan W, McGuigan MR.. (2013) Influence of neuromuscular fatigue on accelerometer load in elite Australian football players. *Int J Sports Physiol Perform*. Jul;8(4):373-8

Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. (2009) Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *J Strength Cond Res*. Jan;23(1):177-86.

Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2010). Changes in the eccentric phase contribute to improved stretch-shorten cycle performance after training. *Med Sci Sports Exerc*. Sep;42(9):1731-44. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d392e8.

Coutts A, Reaburn P, Piva T, et al. (2007). Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching

and tapering in rugby league players. *International Journal of Sports Medicine*, 28: 116-124

Coutts, Aaron J. (2014). In the age of technology, Occam's razor still applies. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 741-741. doi:10.1123/IJSPP.2014-0353

Coutts A, Reaburn P, Piva T, et al. (2007). Monitoring overreaching in rugby league players. *European Journal of Applied Physiology*, 99: 313-324

Coutts A, Reaburn P, Piva T, et al. (2007). Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *International Journal of Sports Medicine*, 28:116-124

Coutts AJ, Reaburn P, Piva TJ, Rowsell GJ. Eur (2007) Monitoring for overreaching in rugby league players. *J Appl Physiol*. Feb;99(3):313-24.

Duffield R, Murphy A, Kellett A, Reid M. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014 Mar;9(2):273-82. doi: 10.1123/ijsp.2012-0359. Epub 2013 Jun 24. Recovery from repeated on-court tennis sessions: combining cold-water immersion, compression, and sleep recovery interventions.

Faulkner J, Brooks S, and Opitck J. (1993). Injury to skeletal muscle fibres during contractions: conditions of occurrence and prevention. *Physical Therapy*, 73(12):911-921

Fitts R. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1): 49-94

Freitas VH1, Nakamura FY, Miloski B2, Samulski D3, Bara-Filho MG4. *J Sports Sci Med*. 2014 Sep 1;13(3):571-9. eCollection 2014. Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players.

Fridén J, Sjöström M, and Ekblom B. (1983). Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *International Journal of Sports Medicine*, 4(3): 170-176

Gathercole RJ, Sporer BC, Stellingwerff T, Sleivert GG. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *J Strength Cond Res*. Sep;29(9):2522-31. doi: 10.1519/JSC.0000000000000912.

Gathercole RJ, Stellingwerff T, Sporer BC. (2015). Effect of acute fatigue and training adaptation on countermovement jump performance in elite snowboard cross athletes. *J Strength Cond Res.* Jan;29(1):37-46. doi: 10.1519/JSC.0000000000000622.

Gathercole, Rob, Sporer, Ben, Stellingwerff, Trent, & Sleivert, Gord. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(1), 84-92.

Gomes RV, Moreira A, Lodo L, Nosaka K, Coutts AJ, Aoki MS. (2013) Monitoring training loads, stress, immune-endocrine responses and performance in tennis players. *Biol Sport.* Sep;30(3):173-80.

Hamilton, D. (2009) Drop Jump as an Indicator of Neuromuscular Fatigue in Elite Youth soccer Athletes Following Tournament Match Play. *J. Aust. Strength Cond.* 17(4)3-8.

Harper DJ, Kiely J. (2018). Damaging nature of decelerations: Do we adequately prepare players? *BMJ Open Sport Exerc Med.* Aug 6;4(1):e000379. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000379.

Harper DJ, McBurnie AJ, Santos TD, Eriksrud O, Evans M, Cohen DD, Rhodes D, Carling C, Kiely J. (2022). Biomechanical and Neuromuscular Performance Requirements of Horizontal Deceleration: A Review with Implications for Random Intermittent Multi-Directional Sports. *Sports Med.* Oct;52(10):2321-2354. doi: 10.1007/s40279-022-01693-0.

Heishman, A. D., Daub, B. D., Miller, R. M., Freitas, E. D. S., & Bemben, M. G. (2020). Monitoring external training loads and neuromuscular performance for division I basketball players over the preseason. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(1), 204–212.

Hoffman JR, Nusse V, Kang J. *Can J Appl Physiol.* 2003 Dec;28(6):807-17. The effect of an intercollegiate soccer game on maximal power performance.

Hopkins, Will G. (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports medicine (Auckland)*, 30(1), 1-15. doi:10.2165/00007256-200030010-00001

Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. (1996) Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* ;73(5):393-403.

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.

Hughes S, Chapman DW, Haff GG, Nimphius S. (2019). The use of a functional test battery as a non-invasive method of fatigue assessment. *PLoS One*. Feb 28;14(2):e0212870. doi: 10.1371/journal.pone.0212870.

Hughes S, Warmenhoven J, Haff GG, Chapman DW, Nimphius S. (2022) Countermovement Jump and Squat Jump Force-Time Curve Analysis in Control and Fatigue Conditions. *J Strength Cond Res*. Oct 1;36(10):2752-2761. doi: 10.1519/JSC.0000000000003955.

Jeffries, Annie C., Marcora, Samuele M., Coutts, Aaron J., Wallace, Lee, McCall, Alan, & Impellizzeri, Franco M. (2021). Development of a Revised Conceptual Framework of Physical Training for Use in Research and Practice. *Sports medicine (Auckland)*, 52(4), 709-724. doi:10.1007/s40279-021-01551-5

Johnston RD, Gibson NV, Twist C, Gabbett TJ, MacNay SA, MacFarlane NG.(2013) Physiological responses to an intensified period of rugby league competition. *J Strength Cond Res*. Mar;27(3):643-54.

Johnston RD, Gabbett TJ, Jenkins DG, Hulin BT (2015). Influence of physical qualities on post-match fatigue in rugby league players. *J Sci Med Sport*. Mar;18(2):209-13. doi: 10.1016/j.jsams.2014.01.009.

Kennedy, Rodney A., & Drake, David. (2018). Improving the Signal-To-Noise Ratio When Monitoring Countermovement Jump Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 85-90. doi:10.1519/JSC.0000000000002615

Keeton R and Binder-Macleod S. (2006). Low-frequency fatigue. *Physical Therapy*,86: 1146-1150

Kiely, John. (2012). Periodization paradigms in the 21st century: Evidence-led or tradition-driven? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 242-250. doi:10.1123/ijsp.7.3.242

Kijowski, K. N., Capps, C., Goodman, C., Erickson, T., Knorr, D., Triplett, T., & McBride, J. (2015). Short-term resistance and plyometric training improves eccentric phase kinetics in jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 2186–2196

Kentta G and Hassmen P. (1998). Overtraining and recovery: A conceptual model. *Sports Medicine*, 26(1): 1-16

Kraufvelin, Patrik. (1998). Model ecosystem replicability challenged by the “soft” reality of a hard bottom mesocosm. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 222(1-2), 247-267. doi:10.1016/S0022-0981(97)00143-3

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

Macdougall, J, Wenger, H, and Green, H, Editors. (1991) Modelling elite athletic performance, in *Physiological testing of the high performance athlete*, Human Kinetics: Champaign, Illinois. p. 403-424.

Malone JJ, Lovell R, Varley MC, Coutts AJ. (2017). Unpacking the Black Box: Applications and Considerations for Using GPS Devices in Sport. *Int J Sports Physiol Perform*. Apr;12(Suppl 2):S218-S226. doi: 10.1123/ijssp.2016-0236.

Marcora S M , Staiano W , Manning V . Mental fatigue impairs physical performance in humans . *J Appl Physiol* 2009 ; 106 : 857 – 864

Matsunaga, Masaki. (2010). How to factor-analyze your data right: do’s, don’ts, and how-to’s. *International journal of psychological research*, 3(1), 97-110. doi:10.21500/20112084.854

McLellan CP, Lovell DI. (2012), Neuromuscular responses to impact and collision during elite rugby league match play. *J Strength Cond Res*. May;26(5):1431-40. doi: 10.1519/JSC.0b013e318231a627.

McLean, BD, Coutts, AJ, Kelly, V, McGuigan, MR, and Cormack, SJ. (2014) Neuromuscular, endocrine, and perceptual fatigue responses during different length between-match microcycles in professional rugby league players. *Int J Sports Physiol Perform*. Mar;9(2):273-82. doi: 10.1123/ijssp.2012-0359.

Mooney MG, Cormack S, O’Brien BJ, Morgan WM, McGuigan M. Impact of neuromuscular fatigue on match exercise intensity and performance in elite Australian football. *J Strength Cond Res*. 2013 Jan;27(1):166-73. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182514683.

Meeusen R, Dulcos M, Foster C, et al. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of

Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1): 1-24

Mercer, Richard A. J., Russell, Jennifer L., McGuigan, Lauren C., Coutts, Aaron J., Strack, Donnie S., & McLean, Blake D. (2021). Finding the Signal in the Noise—Interday Reliability and Seasonal Sensitivity of 84 Countermovement Jump Variables in Professional Basketball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ahead of Print. doi:10.1519/JSC.0000000000004182

Mercer, Richard A. J., Russell, Jennifer L., McGuigan, Lauren C., Coutts, Aaron J., Strack, Donnie S., & McLean, Blake D. (2022). Understanding ‘monitoring’ data—the association between measured stressors and athlete responses within a holistic basketball performance framework. *PLOS ONE*, 17(6), e0270409. doi:10.1371/journal.pone.0270409

Millet, G. Y., & Lepers, R. (2004). Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine*, 34, 105 – 116.

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

Mohr M, Krstrup P. J (2013) Heat stress impairs repeated jump ability after competitive elite soccer games. *Strength Cond Res*. Mar;27(3):683-9.

Morgans R, Di Michele R, Drust B. (2018). Soccer Match Play as an Important Component of the Power-Training Stimulus in Premier League Players. *Int J Sports Physiol Perform*; May 1;13(5):665-667. doi: 10.1123/ijsp.2016-0412.

Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., and Dupont, G. (2012). Recovery in soccer: Part I: post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med*. 42, 997–1015

Nédélec M, Wisloff U, McCall A, Berthoin S, Dupont G. Recovery after an intermittent test. *Int J Sports Med*. 2013 Jun;34(6):554-8.

Newham D, Jones D, Ghosh G, et al. (1988). Muscle fatigue and pain after eccentric contractions at long and short length. *Clinical Science*, 74: 553-557

Nicol, C., Komi, P. V., & Marconnet, P. (1991). Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance, I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1, 10 – 17.

Nicol C, Komi PV, Horita T, Kyröläinen H, Takala TE. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* (1996);72(5-6):401-9. Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle exercise.

Nicol, C., Komi, P. V., & Marconnet, P. (1991). Fatigue effects of marathon running on neuromuscular performance, I. Changes in muscle force and stiffness characteristics. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 1, 10 – 17.

Nicol C, Avela J, Komi PV. The stretch-shortening cycle: a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Med* 2006; 36: 977-99

Norris D, Joyce D, Siegler J, Cohen D, Lovell R. (2021). Considerations in interpreting neuromuscular state in elite level Australian Rules football players. *J Sci Med Sport.* Jul;24(7):702-708. doi: 10.1016/j.jsams.2021.02.007.

Oliver J, Armstrong N, Williams C. *J Sports Sci.* 2008 Jan 15;26(2):141-8. Changes in jump performance and muscle activity following soccer-specific exercise.

Ouergui I, Hammouda O, Chtourou H, Zarrouk N, Rebai H, Chaouachi A. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013 Oct;53(5):455-60. Anaerobic upper and lower body power measurements and perception of fatigue during a kick boxing match.

Petersen K, Hansen CB, Aagaard P, Madsen K. Muscle mechanical characteristics in fatigue and recovery from a marathon race in highly trained runners. *Eur J Appl Physiol.* 2007 Oct;101(3):385-96. doi: 10.1007/s00421-007-0504-x.

Pointon M , Duffield R . Cold water immersion recovery after simulated collision sport exercise . *Med Sci Sports Exerc* 2012 ; 44 : 206 – 216

Raastad T, Hallén J. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Jun;82(3):206-14. doi: 10.1007/s004210050673.

Richter, Chris, O'Connor, Noel E., Marshall, Brendan, & Moran, Kieran. (2014). Analysis of Characterizing Phases on Waveforms: An Application to Vertical Jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(2), 316-321.

Robineau J, Jouaux T, Lacroix M, Babault N. (2012) Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *J Strength Cond Res.* Feb;26(2):555-62

Schmitz RJ, Cone JC, Copple TJ, Henson RA, and Shultz SJ. (2013) Lower Extremity Biomechanics and Maintenance of Vertical Jump Height during Prolonged Intermittent Exercise. *Journal of sport rehabilitation,*

Sjökvist J, Laurent MC, Richardson M, Curtner-Smith M, Holmberg HC, Bishop PA. (2011) Recovery from high-intensity training sessions in female soccer players. *J Strength Cond Res.* Jun;25(6):1726-35.

Smith D and Norris S, Training load and monitoring an athlete's tolerance for endurance training, in *Enhancing recovery: Preventing underperformance in athletes*, Kellman, M, Editor. 2002, Human Kinetics: Champaign, IL. p. 81-101.

Sole, J., Christopher, Mizuguchi, L., Satoshi, Sato, H., Kimitake, Moir, H., Gavin, & Stone, H., Michael. (2018). Phase Characteristics of the Countermovement Jump Force-Time Curve: A Comparison of Athletes by Jumping Ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 1155-1165.

Stevenson, O. (2022) Are Typical Tracked Countermovement Jump Variables Enough To Distinguish Responses Following Competition In Elite Premier League Football Players: A Case Series. Master's thesis. St.Mary's University.

Swanik CB, Lephart SM, Giraldo JL, Demont RG, Fu FH. (1999) Reactive muscle firing of anterior cruciate ligament-injured females during functional activities. *J Athl Train.* Apr;34(2):121-9.

Thorlund JB, Michalsik LB, Madsen K, Aagaard P. Scand (2008) Acute fatigue-induced changes in muscle mechanical properties and neuromuscular activity in elite handball players following a handball match. *J Med Sci Sports.* Aug;18(4):462-72.

Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W. (2017) The Influence of Changes in Acute Training Load on Daily Sensitivity of Morning-Measured Fatigue Variables in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* Apr;12(Suppl 2):S2107-S2113. doi: 10.1123/ijsp.2016-0433.

Thorpe RT, Strudwick AJ, Buchheit M, Atkinson G, Drust B, Gregson W. (2015) Monitoring Fatigue During the In-Season Competitive Phase in Elite Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform.* Nov;10(8):958-64. doi: 10.1123/ijsp.2015-0004.

Thorpe RT, Atkinson G, Drust B, Gregson W. (2017). Monitoring Fatigue Status in Elite Team-Sport Athletes: Implications for Practice. *Int J Sports Physiol Perform.* Apr;12(Suppl 2):S227-S234. doi: 10.1123/ijsp.2016-0434.

Varley I, Lewin R, Needham R, Thorpe RT, Burbeary R. (2017). Association between Match Activity Variables, Measures of Fatigue and Neuromuscular Performance Capacity Following Elite Competitive Soccer Matches. *J Hum Kinet.* Dec 28;60:93-99. doi: 10.1515/hukin-2017-0093.

Verheul J, Nedergaard NJ, Pogson M, Lisboa P, Gregson W, Vanrenterghem J. (2021). Biomechanical loading during running: can a two mass-spring-damper model be used to evaluate ground reaction forces for high-intensity tasks? *Sport Biomech.* 2021;20:571–82.

Welsh TT, Alemany JA, Montain SJ, Frykman PN, Tuckow AP, Young AJ, Nindl BC. (2008) Effects of intensified military field training on jumping performance. *Int J Sports Med.* Jan;29(1):45-52.