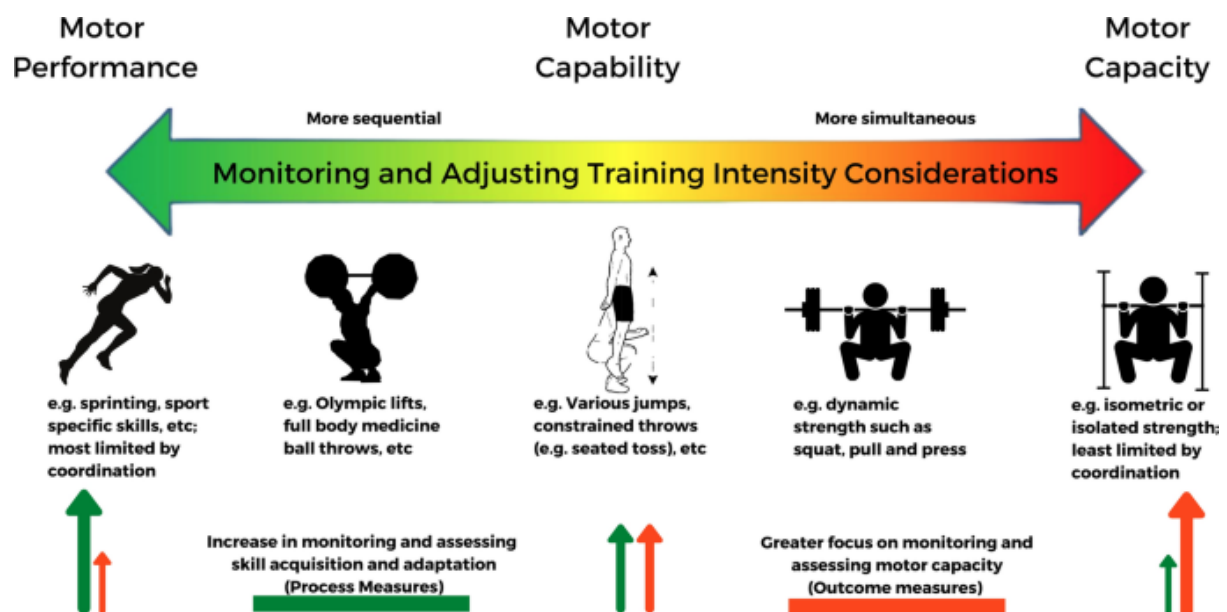


Módulo 2. Prueba isométrica en miembros inferiores

Dr. Rhys-Morris and Dr. Daniel Cohen

La fuerza muscular, definida como la capacidad de ejercer fuerza sobre un objeto externo o una resistencia (Suchomel et al., 2018), es una capacidad o habilidad motora crítica que contribuye a varios aspectos del rendimiento motor, como el salto vertical, el sprint y el cambio de dirección (Brady et al., 2020). La evaluación periódica o elaboración de perfiles (en pretemporada o al inicio del ciclo de entrenamiento) del rendimiento motor, las capacidades motoras y la capacidad motriz (figura 1: Continuo del rendimiento) es una práctica habitual en los entornos de rendimiento para identificar los puntos fuertes y débiles de los atletas e indicar la prescripción de entrenamiento individualizado.

Figura 1: Continuo del rendimiento



Fuente: Suchomel et al, 2021, p. 2059.

Motor performance	Rendimiento motor
Motor capability	Capacidades motoras
Motor capacity	Capacidad motriz

More sequential	Más secuencial
More simultaneous	Más simultáneo
Monitoring and adjusting training intensity considerations	Supervisión y ajuste de las consideraciones relativas a la intensidad del entrenamiento
e.g. sprinting, sport, specific skills, etc, most limited by coordination	ej. sprint, deporte, habilidades específicas, etc., más limitados por la coordinación
e.g Olympic lifts, full body medicine ball throws, etc.	ej. levantamientos olímpicos, lanzamientos de balones medicinales de cuerpo entero, etc.
e.g various jumps constrained throws (e.g. seated toss), etc.	ej. varios saltos, lanzamientos limitados (ej. lanzamiento sentado), etc.
e.g. dynamic strength such as squat, pull and press	ej. fuerza dinámica como sentadilla, tracción y prensa
Eg. Isometric or isolated strength, least limited by coordination	Ej. Fuerza isométrica o aislada, menos limitada por la coordinación
Increase in monitoring and assessing skill acquisition and adaptation (process measures)	Mayor seguimiento y evaluación de la adquisición y adaptación de habilidades (mediciones del proceso)
Greater focus on monitoring and assessing motor capacity (outcome measures).	Mayor atención a la supervisión y evaluación de la capacidad motriz (mediciones de resultados).

Tabla 1. Perfil del atleta

Construcción	Rendimiento	Capacidades	Capacidad
Descripción	Lo hace durante la competición	Puede hacerlo durante la competición	Puede hacerlo en un entorno controlado

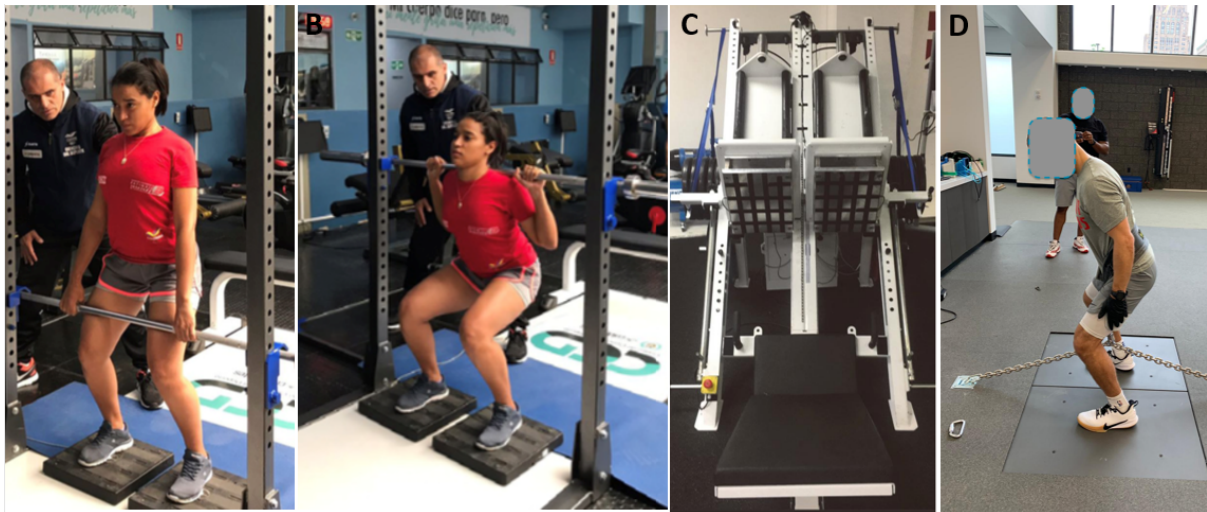
Fuente: elaboración propia.

Pruebas de fuerza isométrica

Dentro del continuo del rendimiento, es evidente que la fuerza muscular es una capacidad motora muy importante que sustenta una serie de rendimientos y capacidades. Aunque existen diversos tipos de pruebas para evaluar la fuerza dinámica concéntrica y excéntrica, la fuerza isométrica se utiliza habitualmente para evaluar la producción de fuerza máxima (Jaric, 2002). Tanto en la práctica como en la literatura científica se emplean múltiples métodos de evaluación de la fuerza isométrica multiarticular o de una sola articulación. Las evaluaciones de una sola articulación (generalmente, la extensión de la rodilla) son comunes en la investigación de laboratorio, que prioriza condiciones y ángulos articulares altamente estandarizados y de control (un determinante importante de la producción de fuerza). Sin embargo, Tillin et al. (2013) recomiendan evaluaciones multiarticulares en poblaciones de atletas, basadas en las condiciones neurales y mecánicas específicas asociadas con la capacidad motora y el rendimiento (por ejemplo, la relación entre el sprint, el salto y la fuerza). Las dos evaluaciones isométricas multiarticulares más comúnmente empleadas para examinar la fuerza extensora de las extremidades inferiores son la tracción isométrica a mitad del muslo (IMTP) y la sentadilla isométrica (ISq), y serán objeto de discusión en esta sección. Sin embargo, en la práctica, la sentadilla con cinturón (belt-squat) (Layer et al., 2018), una variante de la ISq, (descrita en el Curso "Cinética y cinemática de lesiones y rehabilitación", Módulo 4) y la prensa isométrica de piernas con plataforma de fuerza (Harden et al., 2018; Martinopoulou et al., 2022), también son alternativas útiles para evaluar la extensión de las extremidades inferiores, a pesar de que han sido mucho menos tratadas que la IMTP y la IS en la literatura. Cabe destacar que en el caso de las personas con problemas lumbares, se observa una carga espinal significativamente menor y un momento y fuerza máxima de rodilla y tobillo más elevados en la sentadilla con cinturón frente al ISq (Layer et al., 2018), y se prevé que la prensa de piernas también reduzca esta carga. También se ha destacado que la fuerza de agarre puede ser un factor limitante en el rendimiento del IMTP (Rhodes et al., 2022). Como tal, a pesar del gran volumen de bibliografía para IMTP e ISq, los profesionales deben conocer y considerar estas alternativas.

Tanto el IMTP como el IS son evaluaciones isométricas multiarticulares de cadena cerrada. Estas pruebas se realizan en ángulos articulares específicos, son medidas muy fiables de la fuerza máxima (Lum, Haff y Barbosa, 2020; Blazeovich et al., 2002) y se realizan en plataformas de fuerza que pueden utilizarse para evaluar tanto la capacidad de generación de fuerza máxima como las derivadas fuerza-tiempo, como la tasa de producción en diferentes épocas.

Figura 2: Pruebas isométricas de extensión de miembros inferiores



Fuente: adaptación propia con base en A, B: Rodríguez Zárate et al., 2018. C: Harden et al., 2018. D: Antflick.

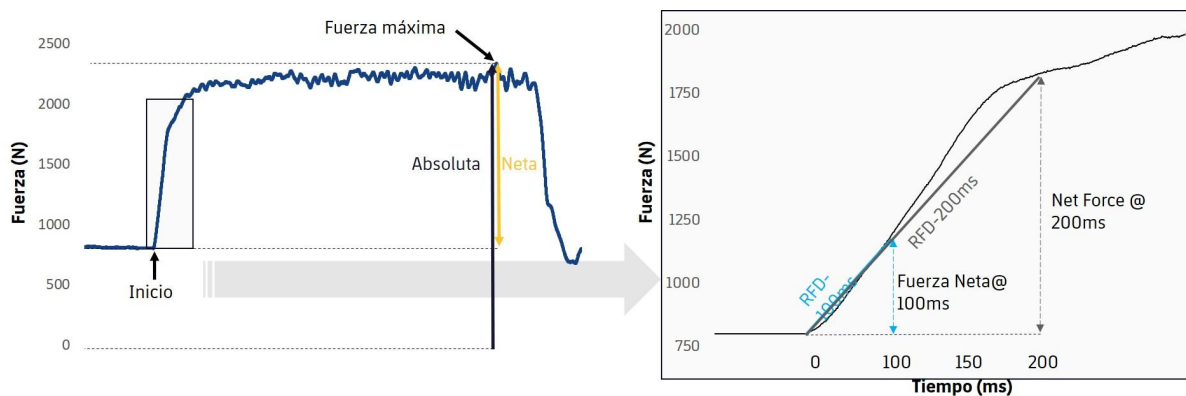
A: Tracción isométrica a mitad del muslo (IMTP) B: Sentadilla isométrica (ISq) C: Prensa isométrica de piernas D: Sentadilla isométrica con cinturón. A, B y D suelen realizarse bilateralmente, pero pueden realizarse unilateralmente. C suele realizarse unilateralmente, pero también puede realizarse bilateralmente.

El método - Tracción isométrica a mitad del muslo

Para los profesionales que utilizan la prueba para el seguimiento de los cambios, la fuerza máxima del IMTP es altamente fiable y su ejecución es sencilla y relativamente rápida. El IMTP también es una alternativa segura en comparación con las pruebas de 1 repetición máxima (1 RM), que llevan mucho más tiempo y además plantean ciertos inconvenientes en cuanto a la fatiga y el riesgo de lesiones durante la evaluación (Beckham et al., 2013; Brady et al., 2020). Cuando se trabaje con poblaciones jóvenes sin un largo historial de entrenamiento, el uso del IMTP ofrece una valiosa visión de su capacidad de fuerza máxima en extensión sin la adquisición de la habilidad necesaria para expresar la fuerza máxima en una sentadilla 1 RM o en un levantamiento olímpico, por ejemplo. No obstante, para obtener datos precisos es fundamental asegurarse de que existe un protocolo estandarizado y replicable para realizar el IMTP.

Se ha acumulado bibliografía sobre el IMTP a lo largo de 25 años, con una serie de enfoques metodológicos a tener en cuenta a la hora de aplicar la prueba. Dos'Santos et al., (2019) proporciona una revisión exhaustiva relativamente reciente de los protocolos y la interpretación del IMTP con un enfoque según el cual el IMTP debe realizarse con el atleta posicionado como lo estaría en la segunda fase de tracción clean, donde produce la mayor fuerza (Garhammer, 1993; Haff et al., 1997). Específicamente, con un ángulo óptimo de rodilla de 125-145° y de cadera de 140-150°. Los profesionales pueden cambiar la altura de la barra para lograr estos ángulos y ajustarlos para asegurar que el atleta esté en una posición en la que se sienta cómodo. Como para todas las pruebas utilizadas para supervisar el cambio en un atleta, es más importante asegurar una estandarización precisa interna que externa (así que anota estas posiciones finales, incluida la postura, para que otros practicantes puedan repetir esta disposición en la prueba). Otros aspectos posturales del protocolo que se deben entrenar son un torso erguido, una ligera flexión de la rodilla que dé lugar a cierta dorsiflexión, la cintura escapular retraída y contraída, los hombros por encima o ligeramente por detrás del plano vertical de la barra, los pies aproximadamente centrados debajo de la barra separados a la altura de la cadera, las rodillas por debajo y por delante de la barra, y los muslos en contacto con la barra (cerca del pliegue inguinal en función de la longitud de las extremidades). Antes del "tirón" de esfuerzo máximo, el atleta también debe eliminar cualquier "flojera" (por ejemplo, flexión del codo, elevación/protracción de la cintura escapular) en el sistema para evitar cualquier cambio en los ángulos articulares durante el esfuerzo máximo, lo que se conoce como "pretensión".

Figura 3 a.b: Curva "ideal" de fuerza-tiempo en tracción isométrica a mitad del muslo



Fuente: elaboración propia.

Peak Force	Fuerza máxima
Absolute	Absoluta

Net	Neta
Force (N)	Fuerza (N)
Start	Inicio
RFD 100 ms	RFD 100 ms
Net force	Fuerza Neta
Time	Tiempo

A (panel izquierdo): Fuerza-tiempo IMTP "ideal" que muestra la fuerza máxima (absoluta=valor total, neta=total - peso corporal). B (panel derecho): los primeros 200 ms de la tracción ampliados para mostrar las métricas de fuerza a y RFD a 100 y 200 ms. Las métricas de fuerza neta se expresan en newtons (N) - fuerza aplicada entre el inicio de la tracción y el punto de tiempo x, las métricas de RFD (tasa de desarrollo de fuerza) se expresan en N/s y = cambio de fuerza/época de tiempo (por ejemplo, 100 o 200 ms). La RFD también puede expresarse en relación con el peso corporal como N/s/kg. Nótese que el aspecto general de la curva ISq es similar.

La fiabilidad de cualquier prueba de rendimiento es un indicador esencial de la consistencia de la prueba. La fiabilidad puede determinarse y expresarse de varias maneras, dependiendo tanto del Error Estándar de Medición (SEM) como del rango de habilidad (desviación estándar, SD) de los atletas que realizan la evaluación (Tighe et al., 2010). Al cuantificar la fiabilidad de las métricas de fuerza-tiempo utilizando estos indicadores en nuestro grupo de atletas y en atletas individuales, podemos definir qué variables entre las recomendadas o citadas en la bibliografía son las más apropiadas para elaborar informes sistemáticos y cuáles deberían considerarse con precaución. Una práctica común dentro de las ciencias del deporte es registrar también el coeficiente de correlación intraclase (ICC), el coeficiente de variación (CV) con intervalos de confiabilidad calculados al 90% (CI 90%) (Atkinson & Nevill, 1998; Haff et al., 2015; Hopkins, 2000). El ICC ofrece información sobre el grado de coherencia y concordancia entre dos conjuntos de datos. Sin embargo, un ICC no detectará ningún error sistemático y, por lo tanto, es posible tener dos conjuntos de puntuaciones altamente correlacionadas que no sean replicables. El CV estima el error de medición y es la expresión típica del CV (Hopkins, 2015).

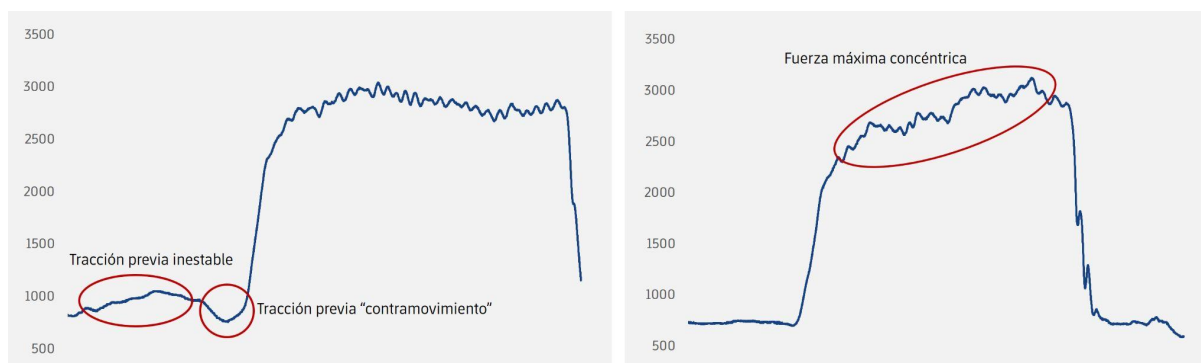
La evidencia sugiere que de las variables de rendimiento IMTP, la fuerza máxima es altamente fiable (ICC = 0,89 - 0,99, CV = 1,7-5%) y puede determinar el cambio detectable más pequeño (~8,5%, Brady et al., 2020) y los profesionales deberían considerarlo como un estándar en los informes, ya sea absoluto o relativo. Varios de los primeros estudios también señalaron a las características de fuerza-tiempo, como la tasa máxima de desarrollo de fuerza (pRFD), como fiables (ICC > 0,8) (Haff

et al., 2005; Kawamori et al., 2006; Stone et al., 2003; West et al., 2011). Además, Kraska et al. (2009) informaron que la fuerza a 90 ms y la fuerza a 250 ms eran fiables ($ICC \geq 0,94$). Sin embargo, reportar los ICC sin los CV y, en la mayoría de los casos, sin los CI, hace que sea difícil evaluar si estos hallazgos son fiables. Beckham et al., (2012) fueron los primeros en presentar tanto los ICC como los CV de la IMTP y también establecieron la fiabilidad de la PF ($ICC = 0,92$ y $CV = 5\%$) y $\leq 4,3\%$ a través de varios estudios (Beckham et al., 2014; Haff et al., 2015; Thomas et al., 2015). Se reportó una fiabilidad similar de la PF entre atletas jóvenes, incluidos surfistas competitivos ($ICC = 0,98$ y $CV = 4,2\%$) (Secomb et al., 2015) y jugadores de fútbol jóvenes ($ICC=0,98$; $CV = 4,91\%$) (Morris et al., 2018). En conjunto, los ICC y CV de las medidas de RFD de $> 10\%$ (un umbral arbitrario para una "buena" fiabilidad (se notifican $CV > 10\%$ a pesar de valores de $ICC > 0,8$) (Beckham et al., 2014; Thomas et al., 2015). Haff et al. (2015) registraron una serie de RFD en varias épocas que cumplían los criterios de un $ICC > 0,8$ y un $CV < 10\%$, mientras que el RFD medio estaba fuera de los niveles aceptables de fiabilidad ($ICC = 0,74$ y $CV > 10\%$) (Haff et al., 2015). En general, observaron una mejor fiabilidad en las épocas (por ejemplo, RFD 0-50 ms, 0-250 ms) que en las medidas de RFD máxima y RFD media con un ICC de 0,90 (Haff et al., 2015).

La investigación sobre la fiabilidad del ISq es limitada en comparación con la disponible sobre el IMTP. La investigación ha examinado la fiabilidad de las variables en varios ángulos de la articulación de la rodilla, encontrando también que la fuerza máxima es la variable más fiable con ICC de $\geq 0,97$ (Bazyler et al., 2015; Blazeovich et al., 2002; Hart et al., 2012) y $r \geq 0,98$ (Cormie et al., 2007; Nuzzo et al., 2008). Hart et al., (2012) evaluaron la CV y la CCI en el ISq bilateral y unilateral e informaron de una $CCI = 0,97$ y una $CV = 3,6\%$ de la fuerza máxima en el ISq bilateral con un ángulo de rodilla de 140° (y unilateralmente con el mismo ángulo de rodilla ($CCI = 0,98$ y $CV = 3,6\%$). Sin embargo, existen pocas investigaciones sobre la fiabilidad de otras variables como las épocas de RFD, la RFD máxima o las épocas de impulso en el ISq.

La fiabilidad de las variables IMTP e ISq (en particular de RFD) se ve afectada por las sesiones de familiarización. Drake et al., (2018) sugirieron que se requiere un mínimo de tres sesiones de familiarización para estabilizar el efecto de aprendizaje cuando se utilizan estas pruebas. Es importante que los profesionales lo comprendan cuando empiecen a aplicar estas pruebas.

Figura 4.a.b: Tracción isométrica a mitad de muslo: Ejemplos de problemas y errores



Fuente: elaboración propia.

Unstable pre-pull	Tracción previa inestable
Pre pull "countermovement"	Tracción previa "contramovimiento"
Progressive peak force	Fuerza máxima concéntrica

A (panel izquierdo): Errores de ejecución observados a menudo durante el IMTP (que también pueden observarse en el ISq) que pueden afectar a la detección de inicios y a los cálculos de las épocas de RFD. B (panel derecho) La consecución progresiva de la fuerza máxima después de alcanzar gran parte de ella rápidamente es un fenómeno que podría no considerarse un error, pero que sugiere que el deportista no está cumpliendo completamente la instrucción de producir la fuerza máxima lo más rápidamente posible.

Protocolo

La forma más eficaz de preparar a un atleta es pedirle que seleccione por sí mismo la posición de segunda tirada de la limpia. Una vez en posición, ajuste la altura de la barra para conseguir el ángulo óptimo de rodilla (125-145°) y de cadera (140-150°). Una vez que tengas los ángulos articulares deseados, toma nota de la altura de la barra, la posición de los pies y la anchura de agarre. Esto garantizará que los procedimientos de prueba puedan repetirse la próxima vez. Los primeros trabajos han demostrado que las diferentes posiciones de la cadera y la rodilla influyen en el rendimiento del IMTP. Aunque los autores sugieren aplicar una tensión previa mínima, esto es importante para evitar cualquier cambio en el ángulo de la articulación cuando se realiza la prueba máxima. Aunque este conjunto de trabajos no se ha tenido realmente en cuenta, la necesidad de minimizar la pretensión, pero asegurándose de que el atleta ha eliminado la "holgura" del sistema, son igualmente importantes. Los autores sugieren que el trazo de la fuerza en vivo sea visible (en la pantalla del portátil o del televisor), para garantizar que no haya desviación del trazo de la fuerza del peso corporal.

El método - Sentadilla isométrica

Al igual que el IMTP, el ISq tiene varios ángulos de articulación reportados en la literatura (90-150°) (Blazevich et al., 2002; Wilson et al., 1995). A diferencia del IMTP, que se dice que replica la posición de segunda tracción de la limpia, el ISq se varía más comúnmente según la posición articular más relevante para la acción de interés o como sugiere Bazzyler et al., (2015), el ángulo o ángulos articulares que corresponden a aquel que en el movimiento dinámico de interés la salida de fuerza es la más alta (ángulo de rodilla de 120°). Otro ángulo a considerar es la posición en el levantamiento cuando la ventaja mecánica es la más baja, específicamente, la "región de pegada" en la tarea de sentadilla (ángulo de rodilla de 90° para la sentadilla de espalda). Por lo tanto, el autor sugiere una evaluación de los ángulos 90-120° dentro del ISq para evaluar la capacidad de fuerza del atleta lo suficiente como para proporcionar datos significativos que puedan utilizar los profesionales. Un ángulo de rodilla de 90°-100° es el más utilizado en la investigación (Bazzyler et al., 2015; Blazevich et al., 2002; Cormie et al., 2007; Loturco et al., 2016; Newton et al., 2002; Young & Bilby, 1993) y, por lo tanto, facilita las comparaciones con los datos publicados, aunque algunos estudios utilizaron un ángulo de rodilla de 140° (Dumke, Pfaffenroth, McBride, & McCauley, 2010; Nuzzo et al., 2008).

Análisis de la curva fuerza-tiempo

Estos procedimientos de prueba suelen tener lugar en un bastidor adaptable que permitirá a los atletas empujar/tirar de la barra inmóvil durante al menos 5 segundos. En la figura 4 se muestra un ejemplo de estantería personalizable. El análisis y la fiabilidad de la curva fuerza-tiempo requieren coherencia por parte de los profesionales, tanto para el procedimiento como para el cálculo de las variables de las pruebas. Una vez que los profesionales y los deportistas están familiarizados con los procedimientos de las pruebas, la identificación de los movimientos es esencial para calcular las variables. Históricamente, los investigadores han utilizado umbrales arbitrarios de 40 N por encima del peso corporal medio (West, 2011). No obstante, en trabajos recientes se ha definido el punto de inicio cuando la primera derivada supera la media más 5 DE de los valores de fuerza específicos del tiempo para obtener los resultados más precisos y fiables. Este umbral elimina la posible influencia del ruido (Dos'Santos et al., 2017). La tabla 2 muestra las variables más comunes calculadas a partir de las curvas fuerza-tiempo. Los profesionales deben indicar cómo han calculado sus variables para poder replicarlas en caso necesario (u otros).

Figura 5: Gradilla isométrica personalizable



Fuente: Tecnologías de medición humana. Rendimiento de Vald

Atleta realizando IMTP, con gradilla ajustable que permite realizar ISq y otras pruebas isométricas.

Tabla 2. Cálculo de variables

Variable	Abreviatura	Valor	Cálculo
Fuerza máxima absoluta	PF	N	PF producida menos el peso corporal del participante
Fuerza máxima relativa	RPF	N/kg	PF absoluta ÷ masa corporal de los participantes (kg)
Fuerza máxima alométrica	AlloPF	N/kg ^{0.67}	PF absoluta ÷ masa corporal de los participantes (kg) ^{0,67}
Tasa de desarrollo de la fuerza	RFD	N/s	Δ Fuerza/ Δ Tiempo
Tasa máxima de desarrollo de la fuerza	pRFD	N/s	RFD más alto durante las ventanas de muestreo
Tasa media de desarrollo de la fuerza	avgRFD	N/s	PF alcanzada y tiempo transcurrido entre el inicio de la tracción (0) y los valores de PF

Variable	Abreviatura	Valor	Cálculo
Impulso	IP	N/s	avgForce × ΔTiempo
Índice de explosividad	IES	N/s	Igual que avgRFD
Coeficiente de reactividad	RC		PF/(TPF × BW)
S-gradiente	SG		PF _{0.5} /TPF _{0.5}
A-gradiente	AG		PF _{0.5} /(TPF – TPF _{0.5})
Fuerza inicial	F30 ms	N/s	(ΔFuerza/30 ms)

Fuente: elaboración propia.

Valores normativos

¿Hasta qué punto es suficientemente fuerte? Los científicos del deporte siempre se plantean esta cuestión, y está claro que nunca se es demasiado fuerte. Los datos normativos ayudan a crear el perfil de un deportista y permiten al entrenador determinar la dirección y el contenido de sus programas de entrenamiento (Loturco et al., 2016) y evaluar los efectos del entrenamiento en el rendimiento (Mangine et al., 2015). Así pues, comprender las normas atléticas puede ser beneficioso para quienes trabajan en el sector. Aun así, los profesionales deben ser conscientes de su población (edad de entrenamiento, nivel de juego, sexo, etc.) a la hora de realizar comparaciones, ya que esto influirá en la interpretación de los resultados. Por ejemplo, los datos normativos publicados suelen basarse en medias de grupo y en el rango de puntuaciones en torno a la media (DE, IC del 95%, Media, etc.). La comparación de los resultados de las pruebas informará al entrenador de la puntuación de su atleta en comparación con la media de la población, no necesariamente con la mejor de esa población.

Además, los resultados deben normalizarse en función de la masa corporal, ya que la inclusión de la masa corporal inflará los resultados. Los datos normativos proporcionan un punto de referencia para la interpretación de los resultados, pero deben utilizarse con precaución. Cuando se utiliza la bibliografía para comparar, es crucial que el profesional pueda acceder a los detalles de los protocolos y de cómo se recogieron los datos, teniendo en cuenta factores como la familiarización, la frecuencia de muestreo de las plataformas de fuerza, el umbral de detección de inicio y las instrucciones dadas. A continuación se muestran ejemplos de poblaciones deportivas y valores normativos para la fuerza máxima (fuerza máxima) y la fuerza máxima normalizada (fuerza máxima relativa). Curiosamente, algunos valores normativos para deportes similares presentan una amplia gama de datos.

Por ejemplo, los jugadores de rugby han notificado un intervalo de 1855 a 2100 para los jugadores juveniles y de 2500 a 2900 N para los jugadores sénior. Anecdóticamente, estos valores parecen bajos, sobre todo desde una perspectiva absoluta. Por ejemplo, datos no publicados en boxeadores de élite, han producido valores de fuerza máxima de 3000 N y fuerza máxima relativa de alrededor de 41 Newtons por kilogramo de masa corporal. Además, Beckham et al., (2012 y 2013) publicaron valores para levantadores de pesas. El grupo no de élite del autor produjo una mayor FP (5942 ± 844) frente a los valores de fuerza máxima publicados de élite (5829 ± 867). Mientras que en otros deportes, el estatus de juego puede no importar tanto con el IMTP porque el deporte se basa en diferentes variables de rendimiento, pero la halterofilia se basa principalmente en la producción de fuerza y, por lo tanto, se debe tener precaución al interpretar los valores normativos percibidos.

Tabla 3. Valores normativos de fuerza máxima IMTP e ISqT.

Prueba	Estudio	n	Participantes	Sexo	Masa corporal (kg)	Fuerza máxima		RFD (N/s)	RFD tipo
						Absoluto (N)	Relativo (N/kg)		
IMTP	Haff et al. (1997)	8	Levantadores de pesas entrenados	M	95.1 ± 4.4	2,847 ± 256		29,693 ± 3,070	máxima
IMTP	Stone et al. (2003)	11	Lanzadores colegiados	M & F	101.3 ± 25.3	3,002 ± 933**	29.1 ± 9.1**	15.000-18.000**	máxima
IMTP	Stone et al. (2004).	20	Ciclistas nacionales de pista	M & F	77.6 ± 13.6	3,591 ± 875**	46.1 ± 7.0**	12,576 ± 4,230**	máxima
IMTP	Stone et al. (2005)	16	Levantadores de pesas de élite	M	83.4 ± 27.0	5,127 ± 1,056**	54.0 ± 51**		
				F	68.9 ± 18.5	3,510 ± 587**	48.8 ± 9.5**		
IMTP	Haff et al. (2005).	6	Levantadores de pesas de élite	F	82.8 ± 18.9	3,649 ± 824	43.4 ± 5.1	13,997 ± 4,450	máxima

IM TP	Kawamori et al. (2006)	8	Lanzadores colegiados	M	85.1 3.3	±	3.178 ± 285	37.4 ± 3.4	22.008 ± 4.270	máxima
IM TP	McGuigan et al. (2006)	8	Luchadores NCAA D3	M	78.0 4.2	±	2.645 ± 465**	33.9 ± 5.9**	32.063 ± 18.834 **	máxima
IM TP	Nuzzo et al. (2008)	1 2	NCAA D1 (AF y Atletismo)	M	90.1 14.8	±	3.144 ± 792*	35.2 ± 6.8*	3.556 ± 1.026*	máxima
IM TP	McGuigan y Winchester (2008)	2 2	Jugadores de fútbol americano D1	M	107.6 22.9	±	2.159 ± 218*		13.489 ± 4.041*	Descon ocido
IM TP	Kraska et al. (2009)	6 3	Atletas colegiados	M y F	72.9 19.6	±	2.138 ± 323*		12.175 ± 4.338*	máxima
IM TP	West et al. (2011)	3 9	Liga profesional de rugby	M	97.0 8.2	±	2.529 ± 398		23.653 ± 7.424	máxima
IM TP	Leary et al. (2012)	1 2	Golfistas recreativos	M	77.0 9.8	±	2.138 ± 323*			
IM TP	Beckham et al. (2012)	1 4	Levantadore s de pesas	M	109.9 20.0	±	5.829 ± 867*	53.0 ± 7.9*		
IM TP	Beckham et al. (2013)	1 2	Levantadore s de pesas de subélite	M	96.0 19.2	±	5.942 ± 844*	63.9 ± 14.3*		
				F	66.6 4.8	±	3.743 ± 42.4*	56.4 ± 4.7*		
IM TP	Beckham et al. (2014)	1 0 6	NCAA D1 atletas	M Y F	76.1 12.7	±	3.802 ± 1.053*	50.0 ± 13.8*	6.544 ± 3.427	0-200 ms
IM TP	Haff et al. (2015)	1 2	Jugadores de volley	F	68.6 8.2	±	2.507 ± 421*			

IM TP	Thomas et al. (2015)	2 2	Atletas colegiados	M	78.1 ± 10.8	2.709 ± 587*	34.6 ± 5.3*	10.899 ± 4.543	máxima
IM TP	Thomas, Comfort et al., (2015)	1 4	Collegiate Soccer y RL	M	72.8 ± 9.4	2.752 ± 546*			
IM TP	Secomb et al. (2015)	3 0	Surfistas junior de competición	M y F	54.8 ± 12.1	1.520 ± 412*			
IM TP	Darrall-Jo nes et al. (2015)	6 7	Jugadores de rugby de la Academia	M — U1 6	79.4 ± 12.8	2.158 ± 310*	28.1 ± 0.3*		
				M — U1 8	88.3 ± 11.9	2.561 ± 339*	29.9 ± 2.9*		
				M — U2 1	98.3 ± 10.4	3.105 ±354*	31.4 ± 2.8*		
IM TP	McMahon et al. (2015)	1 5	Atletas universitario s de deportes de campo	M		3.045 ± 497*			
IM TP	Wang et al. (2016)	1 5	Unión Colegial de Rugby	M	86.5 ± 14.2	2.945 ± 618			
IM TP	Parsonag e et al. (2016)		La competenci a sufre	M	72.1 ± 8.8	2.422 ± 489**	33.6 ± 5.1**		
				F	59.1 ± 5.4	1.644 ± 252**	27.8 ± 3.3**		
IM TP	Beattie et al. (2016)	6	Ciclista de carretera de competición	M	69.1 ± 3.6		34.9 ± 6.0*		

IM TP	Dobbin et al. (2017)	5 6	Jugadores de rugby	M		2,533 ± 243*— Jugadores veteranos			
						1,855 ± 325* Jóvenes jugadores			
IM TP	Dos'Santos et al. (2017)	2 8	Atletas colegiados	M & F — Hip 14 5°		2.840 ± 678			
				Hip 17 5°		2,747 ± 627*			
IM TP	Dos'Santos et al. (2017)	1 2	Futbolistas juveniles	M		2,230 ± 347*			
ISq	Young y Bilby (1993)	1 8	Estudiante universitario	M	70,5	1,902 ± 129*			
ISq	Wilson et al. (1995)	1 5	Atletas	M — 11 0°	78.0 ± 8.0	1.855 ± 361		14.059 ± 7.876	máxima
				M — 15 0°		1.989 ± 361		11.662 ± 7.036	máxima

ISq	Newton et al. (2002)	18	Jóvenes sanos	M	88,4 ± 12,3	1,318 ± 247*			
ISq	Cormie et al. (2007)	26	Entrenamiento recreativo	M	81,6 ± 18,8	2.202 ± 280			
ISq	Nuzzo et al. (2008)	12	NCAA D1 (AF y Atletismo)	M	90,1 ± 14,8	3,522 ± 635*	39.6 ± 4.6*	6.102 ± 1.579*	máxima
ISq	Dumke et al. (2010)	12	Corredores de fondo	M	66,7 ± 3,2	2.373 ± 362*			
ISq	Tillin et al. (2013)	18	Unión colegial de rugby	M	92 ± 8	2.934 ± 339			
ISq	Loturco et al. (2016)	15	Boxeadores aficionados	M	64.6 ± 12.1 (combinado)	2.601 ± 951			
				F		1.808 ± 314			

Nota. n = número de participantes; * = incluye el peso corporal de los participantes; ** = se desconoce o no está claro si el cálculo incluye el peso corporal de los participantes; M = hombre; F = mujer.

Fuente: Brady et al., 2020, <https://acortar.link/D2Vvya>

Asociaciones con rendimiento dinámico

La importancia de poseer altos niveles de fuerza en la parte inferior del cuerpo está bien documentada en la literatura científica (Suchomel et al., 2019). Existen correlaciones de moderadas a muy grandes entre las características fuerza-tiempo de los miembros inferiores y la fuerza máxima (tanto absoluta como relativa) con rendimientos dinámicos como la altura de salto (Kraska et al., 2009; Kawamori et al., 2006; Lum & Joseph, 2020; Comfort et al., 2014), tiempo y velocidad de sprint (Lum & Joseph, 2019; Comfort et al., 2014, Brady, et al., 2019; Seitz et al., 2014; Townsend et al., 2019), y prueba temporal de cambio de dirección (Thomas et al., 2015; Thomas et al., 2017; Thomas et al., 2016; Spiteri et al., 2014). Mason et al. (2021) informaron de asociaciones entre las métricas IMTP y las características del movimiento horizontal, incluyendo la aceleración, la velocidad máxima de la carrera y la prueba de cambio de dirección 505 en una pequeña muestra (n=11) de jugadores de fútbol de desarrollo profesional (edad: 20±2 años). La velocidad

máxima de carrera se correlacionó significativamente con la fuerza máxima absoluta IMTP, la fuerza relativa@150 y @200 ms y la fuerza máxima y ($r=0,57$, $r=0,51$, $r=0,66$ y $r=0,76$ respectivamente); el tiempo COD se correlacionó con la fuerza relativa@150 y @ 200 ms y ($r=-0,68$ y $r=-0,60$ respectivamente) y la aceleración de 10 m con la fuerza relativa@200 y la fuerza máxima ($r=-0,55$ y $r=-0,53$).

Debido a estas relaciones, es esencial evaluar la fuerza de la parte inferior del cuerpo de un atleta para controlar la progresión del entrenamiento del atleta y examinar la eficacia del programa de entrenamiento. Los datos de fuerza-tiempo recogidos durante estas pruebas están fuertemente correlacionados con varios marcadores de rendimientos deportivos dinámicos como el salto (Kraska et al., 2009; Kawamori et al., 2006; Lum & Joseph, 2019; Comfort et al., 2014), sprints (Lun & Joseph, 2019; Comfort et al., 2014; Townsend et al., 2019; Kuki et al., 2017), lanzamientos (Stone et al., 2003), boxeo (Loturco et al., 2016), balanceo de golf (leary et al., 2012), ciclismo (Stone et al., 2004) y kayak (Van Someran & Howatson, 2008). Si bien ha habido informes de fuertes asociaciones, algunos estudios no han demostrado relaciones entre el IMTP y la altura de salto (Nuzzo et al., 2008). Brady et al., (2019) tampoco mostraron asociación entre las características de fuerza-tiempo obtenidas a partir del IMTP y el ISq con el rendimiento de aceleración de la carrera en atletas de carreras femeninas. Noreste et al., (2017) no demostraron una relación estadísticamente significativa entre la fuerza IMTP a 100 Ms y el tiempo de carreras en futbolistas profesionales, mientras que Dos'Santos et al. (2018) no mostraron asociación entre las características fuerza-tiempo de la altura del squat jump. De interés, Dos'Santos et al. (2018) sugieren utilizar una cohorte heterogénea de atletas y no una muestra homogénea. Por último, un acuerdo de instrucción debe ser claro y coherente con los métodos anteriores. Dos'Santos et al. (2018) sí sugiere que el uso de la consigna puede haber impactado en el rendimiento del SJ y la posterior relación con el IMTP.

Por último, aquellos estudios que no han mostrado relación con las tareas dinámicas, como las carreras y las características de fuerza-tiempo (Noreste et al., 2017; Brady et al., 2019), pueden ser consecuencia de la contribución de fuerza relativa que influye en el desplazamiento de todo el cuerpo en comparación con la producción de fuerza absoluta. Dado que el rendimiento de la carrera lineal depende de la aceleración de la masa corporal, en lugar de superar la inercia y la resistencia del aire, la capacidad de producir altos niveles de fuerza en relación con la masa corporal se han propuesto como superiores a las medidas de fuerza máxima absoluta. Por lo tanto, la expresión de la fuerza a 100 ms puede no ser apropiada para la carrera, mientras que los autores informaron una relación de la fuerza máxima relativa con el rendimiento de la carrera (Noreste et al., 2017). Del mismo modo, los atletas utilizados en el estudio de Northeast et al., (2017) se consideraron débiles y, por lo tanto, se debe tener precaución al interpretar estos hallazgos.

Se ha demostrado que las características de fuerza-tiempo de las pruebas isométricas van de moderadas a muy fuertemente correlacionadas con los rendimientos dinámicos de las extremidades superiores e inferiores y el rendimiento de los movimientos específicos del deporte, lo que indica que las características de fuerza-tiempo isométricas fueron capaces de proporcionar información sobre la capacidad de producción de fuerza de un atleta para realizar los movimientos. Sin embargo, los profesionales deben seguir midiendo y utilizando protocolos de pruebas específicos, dadas algunas limitaciones de las pruebas isométricas. El mayor inconveniente es la imposibilidad de programar sesiones de entrenamiento de fuerza o potencia basadas en los datos de las pruebas isométricas. Por ejemplo, la fuerza máxima, tanto del IMTP como del ISq, se relaciona bien con el rendimiento en sentadilla, pero esto no puede utilizarse para planificar cargas de entrenamiento con el rendimiento en sentadilla. Blazeovich et al. (2002) informaron de una diferencia del 8,5% respecto a la carga 1RM real cuando se utilizó la fuerza máxima producida durante el ISq para predecir la carga 1RM. Hasta la fecha, no se ha informado de ninguna otra mejora en el error estándar ni del uso de una ecuación de predicción para convertir la fuerza máxima de cualquiera de las pruebas en una carga de entrenamiento.

Aunque falta la prescripción de la carga de entrenamiento, los datos de fuerza-tiempo que ofrecen las pruebas isométricas son fructíferas. La captura de estos datos e información pueden ayudar a controlar, adaptar y modificar los planes de entrenamiento con los atletas. Por ejemplo, las fuerzas de reacción del suelo captadas mediante placas de fuerza detectarán cambios en la fuerza y en las métricas subsiguientes. Aunque no hay ninguna hipótesis concreta que lo ponga en duda (las placas de fuerza se consideran el patrón oro para detectar cambios en la GRF), los profesionales deben tener en cuenta el ruido del sistema (ruido de la señal eléctrica). El ruido típico puede captarse promediando datos de GRF de muestra (digamos 1 segundo). Esto aproximará el ruido del sistema, que los profesionales pueden utilizar para detectar cambios significativos en la fuerza por encima y más allá de lo que la placa está capturando. Dependiendo del sistema de la placa de fuerza, del entorno (como el suelo, la carcasa de las placas, los aparejos, etc.) el ruido típico, capturado a partir de 1000 Hz será normalmente de alrededor de 9-10 Newtons (alrededor de 0,9 kg). Además, una vez que los practicantes han identificado la variación en el rendimiento del atleta y determinadas métricas (coeficiente de variación), pueden utilizar ambas informaciones para determinar un cambio significativo en el practicante sin que el proceso sea demasiado pesado. La aplicación y el uso de pruebas isométricas en diversas poblaciones es valiosa, ya que proporciona a los profesionales datos significativos. Aunque las pruebas tienen sus limitaciones, sus ventajas las superan.

Estudio de caso individual - Boxeador de élite

El boxeo es un deporte que requiere las capacidades físicas de todos los componentes comunes de la forma física (fuerza, potencia velocidad, aeróbica y anaeróbica, etc.), pero no es infrecuente en los boxeadores. Según las reglas unificadas del boxeo profesional, tres jueces otorgan puntos en función de la "potencia y cantidad" de los golpes asestados (Comisión, 2005). En consecuencia, la fuerza y la potencia son factores determinantes del éxito (Chaabène et al., 2015; Halperin et al., 2016; Hembrough et al., 2016). Los combates de boxeo se disputan en categorías de peso predefinidas (Comisión, 2005), y los boxeadores suelen intentar competir en una categoría por debajo de su peso natural para evitar ceder tamaño, fuerza y potencia a un oponente (Halperin et al., 2016; Morton et al., 2010; Pettersson et al., 2013). Esto pone de relieve la importancia de controlar la fuerza (y otras métricas). Sin embargo, el uso tradicional de las pruebas de RM no es apropiado con atletas que están haciendo peso, y tienen un riesgo potencial de lesión. El IMTP, sin embargo, se utilizó debido a los beneficios anteriores descritos, pero no sin algunas limitaciones. Así pues, el estudio del caso siguió al atleta hasta la última semana de su combate. Los resultados que capturamos incluyen los valores máximos (absolutos y relativos) y la fuerza en determinados intervalos de tiempo.

Tabla 4. Datos longitudinales del tiempo de fuerza IMTP en un boxeador de élite

Semana	Fuerza 150 ms	Fuerza 250 ms	Fuerza máxima	Con Fuerza Máxima	Peso corporal
1	1130	1485	2770	34	81,4
2	1063	1658	2936	36,5	80,3
3	1185	1703	3039	38,4	79,1
4	1294	1917	3102	39,4	78,8
5	1297	1927	3003	38,7	77,5
6	1499	2071	2948	38,7	76,2
7	1306	1940	2972	39,2	75,9
Semana de lucha					

Fuente: elaboración propia.

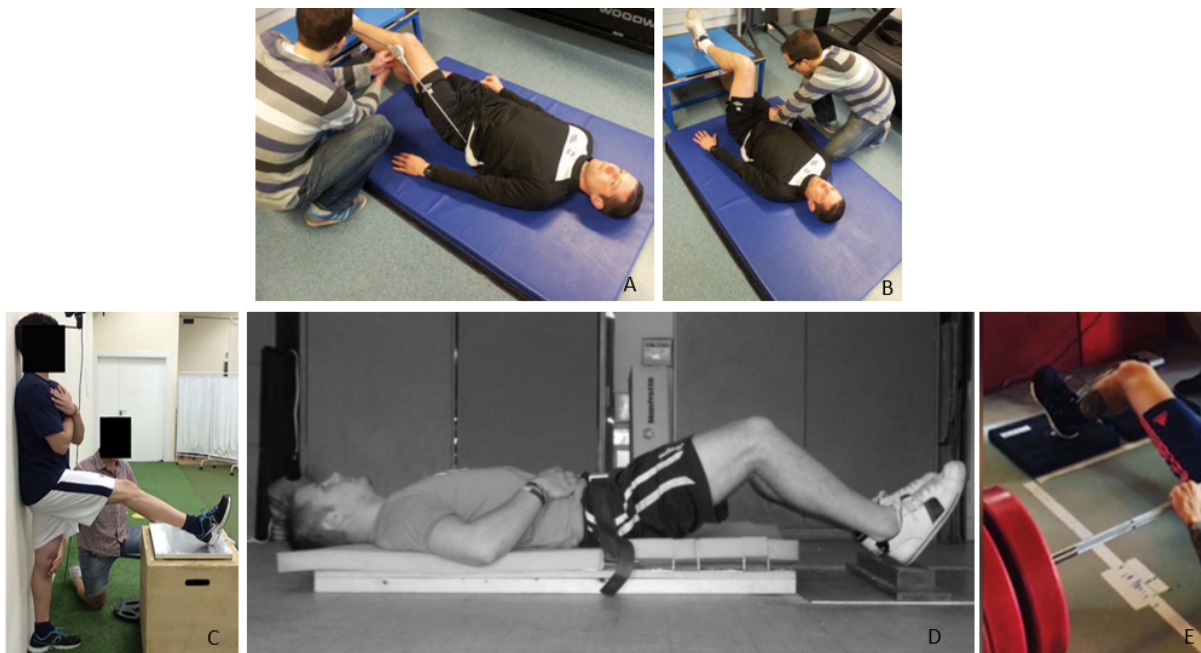
Los datos anteriores corresponden a un entrenamiento típico del boxeador, que ha incluido la pérdida de peso junto con una intervención periodizada de fuerza y potencia. Aún más interesante es el uso del IMTP para captar la máxima expresión de fuerza del atleta durante ese periodo. Como se puede ver, hay un ligero descenso en la expresión de fuerza absoluta, pero la expresión de fuerza relativa del atleta ha aumentado de la semana 1 a la 7. Esto es imperativo dada la asociación con la expresión de la fuerza por kg de masa corporal. Además, no es infrecuente que el boxeador recupere peso después del pesaje, y algunas pruebas sugieren que el artista marcial mixto recupera alrededor de ~ 10% de masa corporal (Kirk et al., 2020). Esto es muy importante, ya que el rendimiento absoluto con un aumento de la masa mejorará, pero quizás la expresión de la fuerza relativa disminuya. El IMTP permite el seguimiento y control de estos cambios.

Pruebas de cadena posterior

Las pruebas isométricas de la cadena posterior (IPC) o de los isquiotibiales son, después del IMTP, una de las evaluaciones isométricas de las extremidades inferiores más aplicadas en entornos de alto rendimiento. El IPC y otras pruebas de isquiotibiales/cadena posterior se utilizan con mayor frecuencia en deportes con carrera o con carreras repetidas de alta velocidad, en los cuales la distensión de isquiotibiales es la lesión más común. Aunque el grupo muscular de los isquiotibiales es fundamental para el rendimiento en carrera de velocidad (Pandy et al., 2021), la mayor parte de la bibliografía relacionada con la medición de las características neuromusculares de los isquiotibiales está relacionada con la identificación de factores de riesgo de lesiones primarias o recurrentes por distensión de isquiotibiales (HSI). Las HSI son una de las lesiones más comunes en el fútbol profesional y otros deportes de carrera de velocidad repetida, representando aproximadamente el 12% de todas las lesiones musculares en el fútbol (Ekstrand et al., 2011). Aunque la carga de tiempo perdido por lesión puede no ser alta a menos que haya afectación tendinosa (Taberner et al., 2022), la alta incidencia y la tasa de recurrencia (Ekstrand et al., 2011) justifican la atención prestada a la lesión.

Las pruebas de IPC pueden realizarse con diversos dispositivos y, para los profesionales sin acceso a la tecnología de plataformas de fuerza, en la figura 12, al final de esta sección, se muestran medios alternativos para capturar la fuerza máxima de IPC-hamstring (Wollin et al., 2016; Lahti et al., 2020). También hay una serie de variantes de pruebas de CIP de plataforma de fuerza, descritas en la literatura (McCall et al., 2015; Matinlauri et al., 2019; Goodwin & Bull, 2021) y o evolucionadas e implementadas en la práctica (figura 6, panel E).

Figura 6: Pruebas isométricas de cadena posterior en plataforma de fuerza de cadena cerrada en decúbito supino



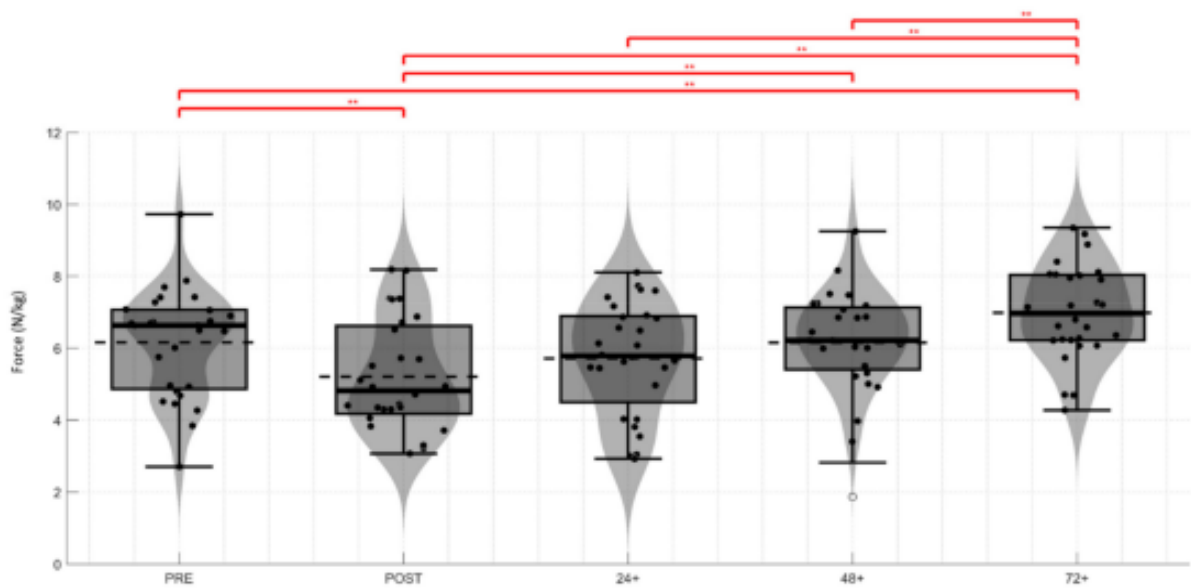
Fuente: A, B: McCall et al., 2015. C: Matinlauri et al., 2019. D: Goodwin y Bull, 2021. E: archivo propio.

A: 30° y B: 90°. puente C: De pie 90°:20° manos en el pecho. D: puente de cadera bilateral en el suelo con cinturón de seguridad. E: puente de cadera unilateral en el suelo, la barra cargada se utiliza para evitar la extensión de la cadera.

Como se ha comentado en el curso "Cinética y cinemática de las lesiones y la rehabilitación" con referencia a las mediciones de la fuerza durante la rehabilitación, el "patrón oro" y el medio bien establecido para evaluar la fuerza del músculo isquiotibial es la dinamometría isocinética. Como se ha destacado, existen obstáculos para el uso rutinario y frecuente de esta tecnología, su disponibilidad limitada (debido al coste) y, si está disponible, la naturaleza relativamente lenta de la evaluación, la hacen poco práctica en entornos de alto rendimiento y, en particular, de deportes de equipo. La evaluación nórdica de los músculos isquiotibiales ("Nordbord") es un medio alternativo para evaluar rápidamente la fuerza y la asimetría dinámica (excéntrica) de los músculos isquiotibiales/cadena posterior, con pruebas que demuestran puntos de corte para un riesgo de lesión elevado (Timmins et al., 2016; Bourne et al., 2015). Mientras que la evaluación isométrica de los isquiotibiales utilizando un dinamómetro de mano o pruebas manuales ha sido utilizada durante décadas por los fisioterapeutas en RTS después de una lesión de isquiotibiales, es relativamente reciente que las pruebas IPC se hayan reportado en el seguimiento regular de atletas sanos y se hayan integrado más ampliamente a lo largo de la vía de rehabilitación de isquiotibiales (Taberner & Cohen, 2018; Taberner et al., 2020; Taberner et al., 2022) - incluyendo evaluaciones frecuentes y el uso de

datos de fuerza máxima y RFD para informar la progresión durante la rehabilitación. Hasta donde sabe el autor, Schache et al (2011) describieron por primera vez el uso de pruebas de CIP como herramienta de control durante la temporada en el deporte profesional. Esbozaron dos pruebas isométricas supinas unilaterales posteriores de miembros inferiores de esfuerzo máximo, de 3 segundos de duración, realizadas a 90°:90° (flexión de rodilla:cadera) (90°:90°) o a 30° (flexión de rodilla). En este informe de caso, un HSI viene precedido por un jugador que manifiesta una tendencia anómala de asimetría (en relación con el equipo) en el rendimiento de IPC, que se estaba controlando rutinariamente de forma semanal mediante un manguito de presión. Nedelec et al. (2014) demostraron posteriormente disminuciones significativas de los valores máximos en ambas posiciones tras fútbol de competición, lo que confirma la sensibilidad de esta prueba isométrica a la fatiga residual inducida por el juego del partido. McCall et al. (2015) demostraron por primera vez que las mismas pruebas se evaluaban utilizando plataformas de fuerza e informaron de descensos agudos tras el partido en la fuerza máxima en ambas posiciones en jugadores profesionales y de la fiabilidad interdiaria de la prueba. En futbolistas de academia, Constantine et al. (2019), examinaron la respuesta de la CIF a los partidos de competición, demostrando fatiga en las evaluaciones inmediatamente posteriores al partido y en la evaluación a las 24 horas y recuperación en las 48-72 horas posteriores (figura 7). Matinlauri et al., 2019 examinaron la fiabilidad de una prueba 90:20 de pie (figura 6, panel C) en jugadores semiprofesionales, y compararon el perfil de fatiga-recuperación de la prueba (inmediatamente después, +24h y +48h) tras un protocolo de fútbol simulado con el de la prueba 90:90 supina.

Figura 7: Valores CIP en futbolistas de academia tras un partido de competición.



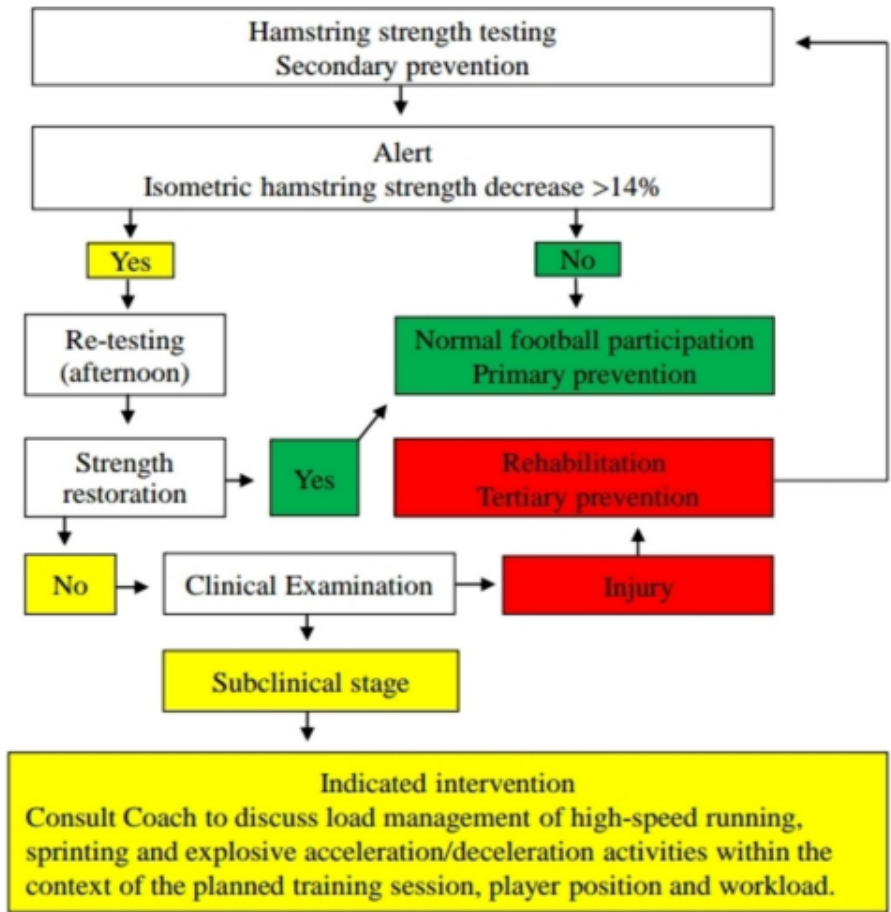
Fuente: Constantine et al.,2019 p. 5.

Los valores son la media de los valores totales (extremidad izquierda y derecha) de la prueba de puente supino de 90° y 30° en 14 jugadores de la academia. Pre=prueba realizada antes del partido; Post=prueba realizada después; 24+, 48+ y 72+ después del partido, respectivamente. Las barras rojas indican diferencias significativas entre puntos temporales.

En conjunto, estos estudios, y la experiencia del autor en el fútbol profesional, confirman la viabilidad de integrar las pruebas de CIP en los microciclos competitivos sin interrumpir el entrenamiento, ya que suelen ser bien toleradas entre los jugadores profesionales. La prueba se ha consolidado en varios equipos de la Premier League inglesa y, por ejemplo, es un elemento central de la supervisión de la jornada +2 en el Arsenal Football Club (conferencia del Arsenal SEMS, 2019).

Wollin et al. (2020) describen el control regular de la CIP de los futbolistas como un modelo de prevención secundaria de las ISH que incluye la repetición de las pruebas en el mismo día o en días consecutivos si se detectan anomalías (figura 8).

Figura 8: Hamstring strength testing cycle



Fuente: Wollin et al 2020. p. 1.

Hamstring strength testing Secondary prevention	Ciclo de pruebas de fuerza de los isquiotibiales.
Alert. Isometric hamstring strength decrease	Alerta Disminución de la fuerza isométrica de los isquiotibiales
Yes	Si
No	No
Re-testing (afternoon)	Repetición de las pruebas (por la tarde)
Normal Football participation. Primary prevention	Participación normal en el fútbol. Prevención primaria
Strength restoration	Restauración de la fuerza

Rehabilitation. Tertiary prevention	Rehabilitación Prevención terciaria
Clinical examination	Examen clínico
Injury	Lesiones
Subclinical stage	Fase subclínica
Indicated intervention	Intervención indicada
Consult coach to discuss load management of high-speed running, sprinting and explosive acceleration/deceleration activities within the context of the planned training session, player position and workload.	Consultar al entrenador para discutir la gestión de la carga de las actividades de carrera de alta velocidad, corrida y aceleración/desaceleración explosiva en el contexto de la sesión de entrenamiento planificada, la posición del jugador y la carga de trabajo.

En el atleta sano, los IPC se utilizan principalmente en la monitorización de la respuesta de carga a corto plazo y las tendencias semana a semana, siendo menos común su uso en la elaboración de perfiles o comparaciones entre jugadores o grupos. Esto puede deberse en parte al interés tradicional por las relaciones de par máximo concéntrico o excéntrico isocinético dinámico de los isquiotibiales o de par máximo (isquiotibiales:cuádriceps) y al uso generalizado más reciente de la NHE (es decir, Nordbord) con el fin de "perfilar" y clasificar la fuerza. Esto fue estimulado por la evidencia prospectiva que demuestra que los niveles más bajos de fuerza máxima de fuerza excéntrica NHE se asociaron con un riesgo elevado de HSI (Timmins et al., 2016; Bourne et al., 2015), la estimación de puntos de corte de fuerza NHE adecuados y la facilidad de implementación de la prueba NHE en relación con las evaluaciones isocinéticas de isquiotibiales. Además, a pesar de algunas pruebas de que una menor fuerza isocinética de los isquiotibiales o altos niveles de asimetría de fuerza entre las extremidades, o pobres relaciones de par máximo de isquiotibiales:cuádriceps identificadas en el cribado de fuerza de pretemporada, recientes metaanálisis y estudios prospectivos han cuestionado el valor predictivo de estas medidas en el riesgo de HSI (Green et al., 2018).

La base teórica de la importancia de la fuerza isométrica dentro del ciclo de carrera de velocidad y la relevancia de la fuerza isométrica y el entrenamiento de la fuerza en la reducción del riesgo de HSI ha sido esbozada por Van Hooren & Bosch (2017). Sin embargo, hasta donde el autor sabe, con la excepción de un único estudio que muestra un mayor riesgo de recurrencia de lesiones asociado con una mayor

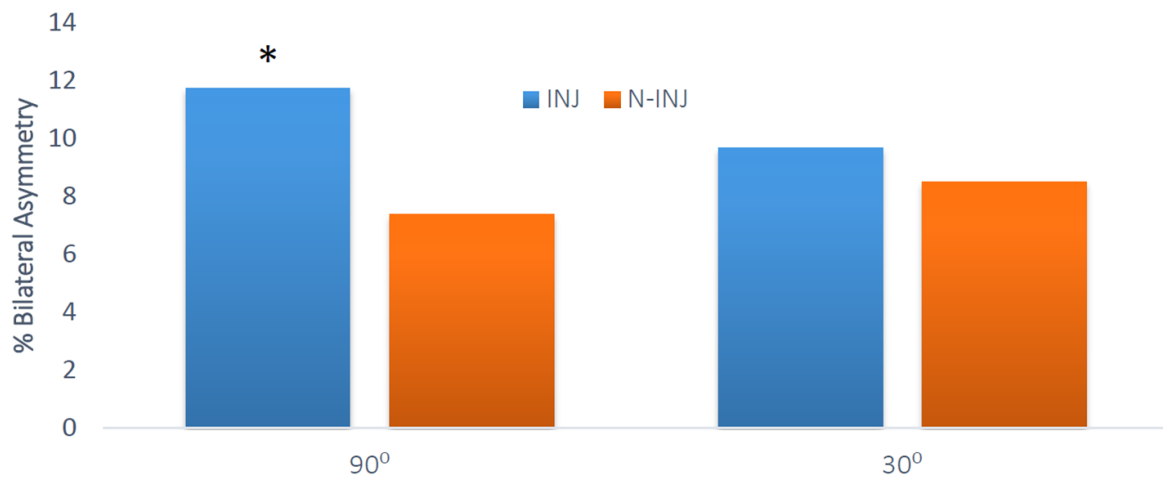
asimetría de fuerza máxima isométrica determinada en flexión de rodilla de 15 ° (De Vos et al., 2014) y un reciente estudio prospectivo de riesgo (Lahti et al., 2022), la investigación que examina la fuerza isométrica de los isquiotibiales o la cadena posterior en relación con las asociaciones de HSI se limita a la evidencia retrospectiva (Cohen et al., 2014; Charlton et al., 2018b; Buhmann et al., 2022). Además, aún no existen pruebas paralelas a los estudios que demuestran que la integración de ejercicios excéntricos de fortalecimiento de los isquiotibiales reduce el riesgo de HSI (Van Dyk et al., 2019; Chebbi et al., 2022). As such, neither cut points for adequate IPC strength associated with risk nor conclusive associations with HSI have yet to be established. Sobre esta base, se recomienda que el cribado de la baja fuerza de los isquiotibiales se realice utilizando la NHE, mientras que las pruebas IPC permiten una evaluación complementaria de la fuerza relevante para la respuesta a la carga en atletas sanos y en rehabilitación.

No obstante, los valores de referencia para la fuerza máxima de la CIP y los datos descriptivos (media y DE), pueden proporcionar puntos de corte estadísticos para la fuerza baja - el último módulo tendrá esos datos.

Datos retrospectivos

Charlton et al. (2018b) examinaron las asociaciones entre las medidas de fuerza máxima isométrica isquiotibial con dinamómetro fijo (fuerza máxima, par máximo, par máximo relativo) y lesiones previas en una muestra de 37 futbolistas masculinos sanos, semiprofesionales de reglas australianas, de los cuales 10 (27%) tenían antecedentes de HSI. Historial de HSI indica que no está lesionado, pero que ha sufrido una HSI que le ha hecho perderse partidos entre una y tres temporadas antes de la prueba. Aquellos con lesiones previas tenían valores que eran aproximadamente un 10-12% más bajos: fuerza máxima (-44,8 N, diferencia media 10,3%), par (-22,2 Nm, diferencia media: -11,1%) y el par normalizado en función de la masa corporal (-0,2 Nm kg⁻¹, diferencia media -12,5%). El par (fuerza máxima*longitud del brazo de momento) en relación con la masa corporal, la medida que mejor distinguía a los lesionados de los no lesionados. Del mismo modo, Cohen et al., (2014), informaron de asimetrías interlimb significativamente mayores en el puente de 90° de la plataforma de fuerza en futbolistas de élite sanos que habían experimentado al menos una HSI en la temporada anterior en comparación con aquellos jugadores que no lo habían hecho (figura 9).

Figura 9: Asimetría de la fuerza isométrica bilateral máxima en relación con una lesión previa de isquiotibiales en futbolistas profesionales (n=31)



Fuente: Cohen, Ashworth, Taberner, Evans y Lewin, 2014.

INJ=Jugadores con lesión en los isquiotibiales en las 2 temporadas anteriores (n=8); N-INJ=Jugadores sin lesión en los isquiotibiales en las 2 temporadas anteriores (n=23). Los jugadores se sometieron a las pruebas CIP 90 y 30.

*Indica una diferencia significativa en % de asimetría entre INJ y N-INJ $P < 0,05$. Asimetría significativamente mayor en INJ frente a N-INJ a 90° ($p=0,02$, $ES=0,83$, "grande") pero no a 30° ($p=0,24$, $ES=0,28$ "pequeño").

Bilateral asymmetry	Asimetría bilateral
---------------------	---------------------

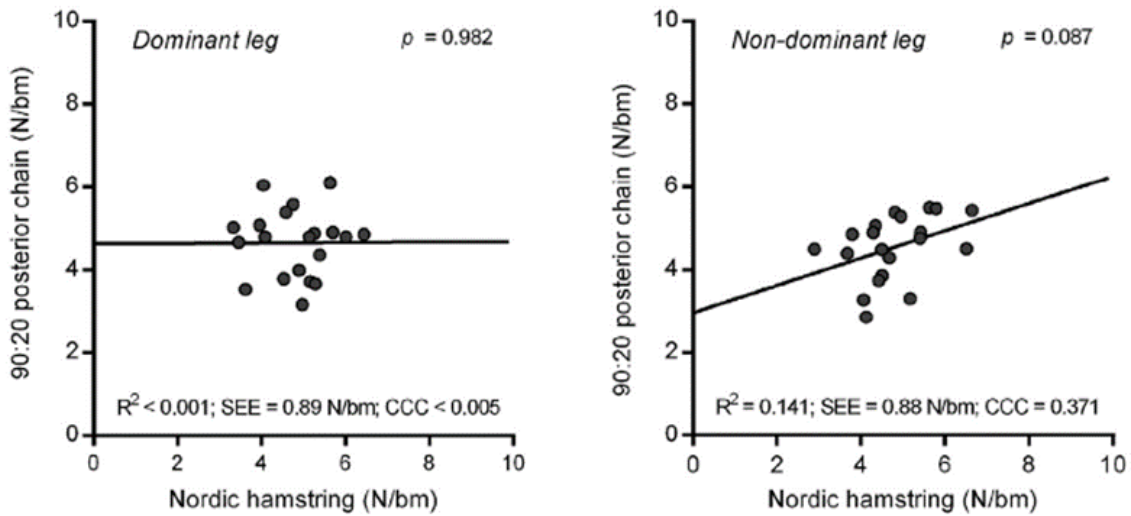
Solo un estudio prospectivo ha evaluado la asociación entre el rendimiento en CPI y el riesgo prospectivo de lesiones en atletas. Este análisis de la asociación entre el rendimiento en un protocolo de cribado multicomponente de 11 ítems (Football Hamstring Screening, (Lahti et al., 2020)) de cuatro componentes (fuerza de la cadena posterior, rendimiento mecánico del sprint, control lumbopélvico y amplitud de movimiento) y el riesgo de HSI en 95 futbolistas profesionales. Las diferencias antes de la temporada entre la fuerza máxima isométrica relativa al peso corporal en las 2 pruebas de fuerza máxima isométrica unilateral con dinamómetro manual en los 17 jugadores que sufrieron lesiones durante la temporada y los 78 que no las sufrieron fueron triviales y no significativas. Las asimetrías de la fuerza máxima isométrica fueron mayores (tamaño del efecto: 0,32, pequeño) en los que llegaron a sufrir una lesión 8,1% (IC: 5,4 a 10,8) que los que no lo hicieron 6,4% (IC: 5,3 a 7,5), pero esta diferencia no fue significativa ($p=0,22$). A pesar de la base mecanicista de los ítems incluidos en el protocolo de detección, el rendimiento en ningún ítem aislado diferenció a los jugadores que sufrirían o no una lesión a lo largo de toda la

temporada, mientras que una menor fuerza horizontal obtenida durante dos sprints máximos de 30 m estimados utilizando una pistola de radar, se asoció con un aumento significativo del riesgo de lesión en la primera parte de la temporada. Dada la naturaleza multifactorial de las lesiones, estos resultados no son inesperados, ya que puede haber factores de riesgo específicos presentes y causales en un jugador determinado, mientras que otros factores son pertinentes para otro jugador.

En el contexto de la existencia de varios estudios prospectivos de riesgo que demuestran el valor predictivo de la NHE, ¿dónde encajan las pruebas de CIP? En primer lugar, se informa de una escasa concordancia entre el rendimiento de la NHE y la fuerza máxima de la CIP, por lo que no puede decirse que la CIP sea un indicador indirecto de la fuerza máxima de la NHE. En 20 futbolistas profesionales masculinos, Moreno-Pérez et al., 2020 midieron la fuerza excéntrica máxima NHE medida con un extensómetro, la evaluación con dinamometría manual de la fuerza isométrica máxima @ 15 flexión de rodilla y la fuerza isométrica 90:20 de la cadena posterior y observaron asociaciones pobres entre las pruebas isométricas y excéntricas. Hubo poca concordancia tanto en los valores absolutos obtenidos en cada extremidad como en las asimetrías identificadas, destacando por ejemplo: El 30% de los jugadores tenían asimetrías interlimb NHE >15%, el 25% tenían > 15% en 15 flexión de rodilla y el 5% en la prueba 90:20. Los datos de Moreno-Pérez et al., 2020 indican que se están caracterizando diferentes cualidades de rendimiento neuromuscular que no están estrechamente asociadas entre sí y no pueden utilizarse indistintamente, apoyando el uso de múltiples pruebas de fuerza durante la rehabilitación de HSI con la inclusión de evaluaciones tanto isométricas como excéntricas (Taberner et al., 2020).

Figura 10: Concordancia entre las pruebas IPC y NHE en futbolistas profesionales

90:20 posterior chain vs. Nordic hamstring



Fuente: Moreno-Pérez et al., 2020.

Relación lineal entre los valores de fuerza en isquiotibiales nórdicos y la fuerza isométrica 90:20 de la cadena posterior). SEE: Error estándar de la estimación. CCC: Coeficiente de correlación de concordancia de Lin.

90:20 posterior chain vs. Nordic hamstring	90:20 cadena posterior vs. isquiotibiales nórdicos
Dominant leg	Pierna dominante
Non dominant leg	Pierna no dominante

Sin embargo, muchos consideran que la CIF es menos invasiva y menos exigente o pesada para el jugador que las evaluaciones IKD y NHE. Como tal, particularmente, durante los períodos de competición congestionados, que se asocian con una mayor incidencia de lesiones musculares (Carling et al., 2016; Bengtsson et al., 2013) la CIF es un medio más aceptable para obtener frecuentes (semana a semana, por ejemplo) en temporada. La CIF también puede ser más aceptable en el seguimiento precoz de la musculatura isquiotibial al inicio de la rehabilitación, (Moreno-Pérez et al., 2020; Taberner 2022) cuando convencionalmente se evitan el ejercicio excéntrico y las evaluaciones sobre la base de la posibilidad de una carga mecánica excesiva en el músculo.

Por lo tanto, la CIP proporciona un medio para obtener datos objetivos del rendimiento neuromuscular e identificar los cambios en la fuerza que pueden reflejar una mala adaptación y abordar o responder a estos cambios, así como la posibilidad de captar las posibles interacciones entre la respuesta de un jugador a las exigencias de un partido individual o partidos acumulados y el riesgo de HSI y permitir que se realicen ajustes en los programas de entrenamiento/recuperación durante el mismo día, tal y como señala Wollin (2020 - figura 7). En cuanto a la integración, es importante que el profesional también considere la evidencia en torno a los efectos analgésicos del entrenamiento isométrico, el estímulo para las adaptaciones tendinosas y musculares y el potencial efecto de preacondicionamiento (Chen et al., 2018; Barreto et al., 2019) que podrían proporcionar vías para incorporar en las sesiones de entrenamiento.

Elección de la prueba CIP

Los protocolos IPC de plataforma de fuerza descritos y las evaluaciones manuales (Lahti et al., 2021) implican diferentes ángulos de articulación de rodilla y/o cadera. Evaluar en más de un ángulo puede proporcionar una ganancia de información debido a las alteraciones en el patrón de activación relativa y las demandas en cada uno con las dos pruebas de 90, 30 Schache/McCall implementadas en algunos entornos (Nedelec et al, 2014; Arsenal FC SEMS conference, 2019). A continuación se analizan las comparaciones directas e indirectas de la sensibilidad. Sin embargo, tal como se propone con respecto a las pruebas de salto, si es factible, un protocolo de detección/examen periódico/de pretemporada sería más exhaustivo -y, por tanto, podría incluir más de un ángulo-, mientras que un protocolo que se aplique con frecuencia durante la temporada como parte de un programa de control de la respuesta a la carga, especialmente en el entorno profesional, se esforzaría por utilizar la evaluación de dosis mínima. Aun así, es importante ser conscientes de que hay equipos en el fútbol de élite que han implementado de forma rutinaria tanto los 30° como los 90° en el seguimiento semanal de la jornada +2 (Arsenal FC SEMS conference, 2019). Aunque existe la posibilidad de obtener información adicional comparando los perfiles en un punto temporal o las tendencias en el rendimiento en las 2 pruebas, por razones prácticas puede preferirse una única CIP y puede considerarse adecuada en función de las consideraciones que se exponen a continuación en las pruebas relacionadas con la monitorización de la recuperación de la fatiga. Sin embargo, puede haber salvedades al respecto y, como siempre, el profesional debe considerar tanto el potencial de obtención de información mediante la adición de pruebas como el coste en tiempo, y la viabilidad y el impacto en la aceptación por parte de los deportistas de la repetición de estas pruebas, o si debe darse prioridad a la obtención de información más frecuente con una sola prueba. Situaciones en las que se obtiene información de pruebas adicionales para obtener un perfil más detallado del rendimiento neuromuscular:

- Un atleta con HSI recurrentes
- Durante la rehabilitación o tras el regreso de HSI
- Durante la rehabilitación o tras el regreso de ACL-R utilizando injerto de isquiotibiales para tener
- Un atleta que realiza un acondicionamiento específico para desarrollar el rendimiento de los isquiotibiales/cadena posterior

La pregunta que se hará el profesional que desee integrar una CIP única será: ¿cuál es la mejor prueba de CIP que se puede utilizar? La respuesta, en entornos de alto rendimiento, se basará en una combinación de pruebas, experiencia profesional, razonamiento clínico y consideraciones prácticas. Teniendo en cuenta las cuestiones clave relacionadas con el rendimiento y/o las lesiones y las limitaciones prácticas de su contexto, la comprensión de las diferencias entre las pruebas en los siguientes aspectos ayudará a fundamentar la decisión de selección de la(s) prueba(s):

- la contribución relativa de los músculos de la cadena posterior implicados
- fiabilidad
- sensibilidad (a la carga)

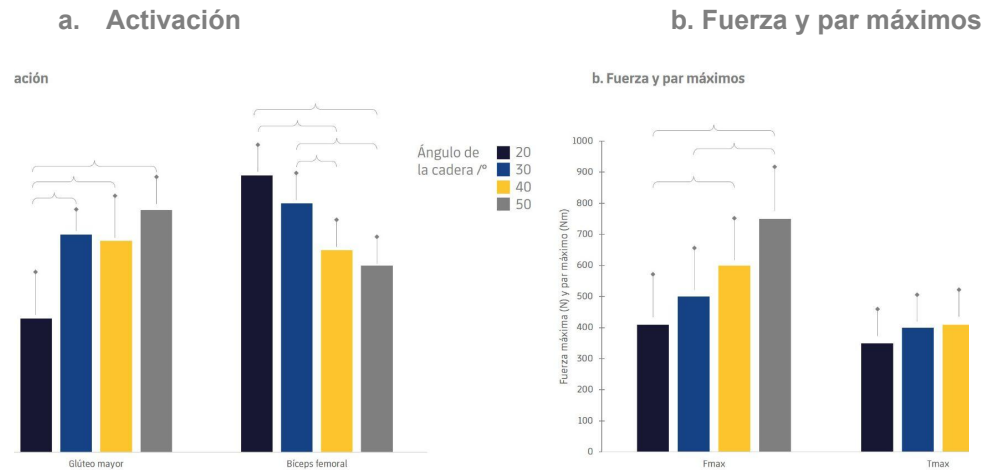
También debe considerarse la disponibilidad/utilización de otras herramientas de evaluación, como la NHE.

Patrones de activación

Las variaciones en el ángulo de la rodilla y la cadera tienen efectos significativos en los patrones de activación de los músculos de la cadena posterior (Onishi et al., 2002) y, por lo tanto, en su contribución relativa a la producción de fuerza en las pruebas de cadena posterior/cuerda isquiotibial. Nótese que, a diferencia de las evaluaciones dyna fijas y manuales de cadena abierta, las variantes de prueba IPC de plataforma de fuerza descritas anteriormente son tareas de cadena cerrada con la extremidad del pie anclada distalmente. Estas últimas permiten una mayor producción de fuerza de extensión de cadera y una mayor activación de la cabeza larga del bíceps femoral en comparación con las tareas de cadena abierta (Bourne et al., 2016) y en las pruebas de plataforma de fuerza supina (figura 6), el reclutamiento de isquiotibiales mayor cuando la pierna está en una posición más extendida. Se ha comparado la activación relativa del bíceps femoral, el glúteo mayor y otros músculos de la cadena posterior en las pruebas de puente supino (30° y 90°) y en varios ángulos de puente de cadera en el suelo (o "empuje de cadera") (Goodwin & Bull, 2021). La posición más alargada de los isquiotibiales en los 30° en comparación con los 90° y en el puente de la cadera en el suelo a 20° en comparación con posiciones de mayor flexión de la rodilla, permiten una transferencia más eficaz del par de extensión al punto distal de contacto del pie con la plataforma de fuerza que el glúteo mayor. En un estudio realizado en 14 hombres

activos, Goodwin y Bull (2021) observaron un aumento progresivo del reclutamiento del bíceps femoral y una disminución del reclutamiento del glúteo mayor en ángulos de flexión de la cadera de 50° a 20° en el puente isocadera del suelo, con valores significativamente inferiores a 20° (figura 11).

Figura 11: Puente isométrico de cadera en el suelo en 4 ángulos diferentes de la articulación de la cadera



Fuente: adaptación propia de Goodwin y Bull, 2021, p. 6.

EMG	EMG
Gluteus Maximus	Glúteo mayor
Biceps Femoris	Bíceps femoral
Hip angle	Ángulo de la cadera
Peak force (N) and Peak torque (Nm)	Fuerza máxima (N) y par máximo (Nm)
Fmax	Fmax
Tmax	Tmax

a. % del EMG máximo (superficie) en el glúteo mayor y el bíceps femoral en 4 posiciones; media de 3 ensayos en cada ángulo normalizada al valor más alto registrado en todos los ensayos para el músculo considerado. También se midió la activación del vasto lateral (no mostrada) y no difirió significativamente según el ángulo articular. Los corchetes indican diferencias significativas post hoc emparejadas. b. Plataforma de fuerza medida: F máx. = Fuerza vertical máxima; T máx. = Par

máximo (Fuerza * momento brazo). Ensayo de puente de cadera en el suelo mostrado arriba en la figura 6, panel D.

Read et al., (2019) compararon la activación en las pruebas de puente supino de 30° y 90° (figura 6. Panel A, B) en 10 jugadores masculinos de fútbol recreativo y encontraron una activación del bíceps femoral significativamente mayor a 30° (31 ± 9) que a 90° (22 ± 7), lo que representa una gran diferencia de tamaño del efecto (1,19). La activación medial de los isquiotibiales también fue un 15% mayor en la posición de 30° (ES: 0,40, "pequeña"), pero esta diferencia no fue significativa.

Fiabilidad

McCall et al., (2015) reportaron por primera vez valores de fiabilidad para las pruebas de plataforma de fuerza 90 y 30 puente supino - en 29 futbolistas profesionales masculinos. Tras dos sesiones de familiarización, se observaron CV interdiarios de 4,3% y 5,4% en la pierna dominante y no dominante respectivamente en los 90° y de 6,3% (dominante) y 4,8% (no dominante) en los 30°. El menor cambio en los valores medios se observó en la pierna dominante 30°: 1.0 N (90%CI: -6,9 a -9,0) y la mayor en la extremidad no dominante, también en los 30°: -4.1 N (-9.9 to -1.7) (tabla 5). También se muestran los valores de ICC y de cambio mínimo detectable (MDC) para las dos posiciones de prueba. El MDC facilita una estimación de la "diferencia mínima necesaria para ser considerada como real" para una prueba determinada y se calcula como el error típico (ET) * 1,96 × √2 (Weir, 2005).

Tabla 5: Fiabilidad interdiaria y características de medición de la fuerza máxima en pruebas de puente supino de 90° y plataforma de fuerza de 30° en futbolistas profesionales masculinos (n=29)

	CV	TE (90% CL)	Change in mean (90% CL)	ICC (90% CL)	MD
Dominant leg at 90°	4.34%	9.4 N (7.3–13.6)	2.1 N (-3.8 to -7.9)	0.95 (0.88–0.98)	26.2
Non-dominant leg at 90°	5.48%	11.5 N (8.9–16.8)	-2.3 N (-9.7 to -5.1)	0.95 (0.88–0.98)	31.9
Dominant leg at 30°	6.31%	13.3 N (10.4–18.9)	1.0 N (-6.9 to -9.0)	0.86 (0.69–0.94)	36.9
Non-dominant leg at 30°	4.84%	9.7 N (7.6–13.7)	-4.1 N (-9.9 to -1.7)	0.93 (0.84–0.97)	26.8

CV=coeficiente de variación; ET=error típico de medición; CCI=coeficiente de correlación intraclase; DM=diferencia mínima. Posiciones de ensayo mostradas en la figura 6 (a.b) anterior.

Fuente: McCall, Nedelec, Carling, Le Gall, Berthoin y Dupont, 2015.

Dominant leg at 90°	Pierna dominante a 90°
Non dominant leg at 90°	Pierna no dominante a 90°
Dominant leg at 30°	Pierna dominante a 30°

Non dominant leg at 30°	Pierna no dominante a 30°
Change in mean	Variación de la media

Mientras que estos valores indican una fiabilidad buena-alta, Cuthbert et al., (2021) informaron de CV mayores entre días e ICC más bajos para las mismas pruebas en futbolistas femeninas profesionales después de 1 sesión de familiarización (tabla 6):

Tabla 6: Fiabilidad interdiaria de la fuerza máxima en pruebas de puente supino de 90° y plataforma de fuerza de 30° en futbolistas profesionales femeninas (n=23)

Posición de prueba	Extremidad	CV (%)	ICC (95%CI)
30°	Izquierda	8,7	0.76 (0.29–0.82)
	Derecha	6,5	0.86 (0.64–0.94)
90°	Izquierda	10,2	0.70 (0.27–0.87)
	Derecha	7,5	0.80 (0.53–0.91)

Fuente: adaptación propia de Cuthbert, 2021.

En relación con la fiabilidad de los 90° y 30° informada por McCall et al., (2015), también se informó de una menor fiabilidad entre días para los 90°:20°, evaluados en 24 futbolistas masculinos semiprofesionales después de 2 sesiones de familiarización. El protocolo de manos en el pecho (figura 6, panel c) mostró CV (IC 95%) de 8,1% (5,3 a 10,9) y 7,3% (4,7 a 9,9) en las extremidades dominantes y no dominantes, respectivamente. La mayor variabilidad en el 90°:20° es quizás esperable dado que el atleta está de pie en lugar de apoyado y tiene más grados de libertad y segmentos corporales que controlar, en el sentido de que tiene que estabilizarse en el tronco para aplicar fuerza en las plataformas.

Goodwin & Bull (2021) examinaron la fiabilidad dentro de la sesión y entre días del puente isométrico de cadera en el suelo a lo largo de 4 días consecutivos. Los CV combinados (media de 4 posiciones probadas) dentro de la sesión (a lo largo de 3 ensayos) para la fuerza máxima fueron del 6,2% el primer día, 4,3 el segundo, 3,6 el tercero y 3,3% el cuarto, lo que indica una pequeña mejora a lo largo de los días, pero un nivel aceptable de fiabilidad el primer día. También observaron una baja

variabilidad interdiaria de la fuerza máxima en las pruebas bilaterales, izquierda y derecha, sobre todo después del día 1; por ejemplo, el cambio en la media de la fuerza máxima de la extremidad derecha entre el día 1 y el 2 fue de 0,37 (IC 95%: 0,03 a 0,71) -0,05 (-0,37 a 0,27) entre el día 2 y el 3 y 0,00 (-0,26 a 0,26) entre el día 3 y el 4. Se observaron mejores valores en las pruebas bilaterales y en la extremidad derecha (que suele ser la dominante); el ICC de la extremidad izquierda fue de 0,60 (0,12 a 0,85) el primer día frente a 0,87 (0,66 a 0,96) en la derecha; el CV de la extremidad izquierda también se estabilizó una sesión más tarde que en la derecha.

Basándose en los altos valores de CCI en la evaluación de 2 días, concluyeron que para la evaluación basada en la clasificación (es decir, la comparación entre un equipo), los valores máximos pueden utilizarse sin familiarización. Sin embargo, basándose en el cambio absoluto de la media, los errores típicos (CV) y los cambios entre los pares de sesiones de prueba, sugirieron que la familiarización es apropiada si el propósito de la prueba es la detección de un cambio significativo.

The EMG study of Read et al (2019), comparing the 30° and 90° did not measure force output, they did however report the reliability of activation across the muscle groups evaluated. Observaron que, si bien la fiabilidad (CV) interdiaria de la activación del bíceps femoral era del 13-14%, el reclutamiento del glúteo mayor presentaba una variabilidad mucho mayor, sobre todo dentro de un mismo sujeto; el 19% a 90° y el 36% a 30°, lo que representaba una escasa fiabilidad. Aunque no se midió la fuerza, es lógico que estas variaciones influyeran en la producción de fuerza. Los autores sugieren que la variabilidad dentro de un mismo sujeto que observaron se debía en parte a la interpretación de los atletas de la instrucción de la prueba de "empujar" el talón dentro de la caja. Algunos atletas interpretan que el empuje enfatiza la producción de fuerza dominante en la extensión de la cadera e intentarán / conseguirán levantar las caderas. Como se muestra en la figura 6 (a.b), los protocolos implican que los profesionales apliquen presión sobre la cadera del deportista para intentar garantizar que la cadera permanezca en contacto con el suelo durante la contracción. Otros atletas seguirán la instrucción de clavar el talón en la caja y con más intención de flexionar la rodilla. Read et al. sugieren que estos diferentes enfoques de la tarea contribuyen de forma importante a las grandes variaciones que observaron en las contribuciones de glúteos y gastrocnemios. Es probable que la activación del gastrocnemio medial se vea influida por la posición del tobillo, tanto en términos de rotación como de grado de flexión plantar o dorsiflexión. Estos aspectos del protocolo deben estar bien normalizados, y la familiarización previa a la prueba permitirá al profesional identificar a los deportistas que necesitan indicaciones más precisas o ajustadas. Como se ha señalado con respecto a las pruebas de salto, desde el punto de vista del control, se da prioridad a la coherencia dentro de los atletas sobre la coherencia entre atletas.

En general, si bien una fiabilidad aceptable del orden de clasificación sugiere que el "perfilado" de la fuerza máxima podría aplicarse sin familiarización, a efectos de seguimiento -detección de cambios significativos- se recomiendan 2-3 sesiones de familiarización antes de definir con seguridad la línea de base de un deportista. En la práctica, en el contexto del alto rendimiento, la familiarización puede obtenerse con pruebas semanales repetidas, pero los valores de las primeras semanas adquiridos no deben considerarse "verdaderas líneas de base". Dado que el entrenamiento isométrico también puede ser un componente de los programas de acondicionamiento, los profesionales también pueden empezar a familiarizar a los deportistas con la tarea dentro de las sesiones de entrenamiento, sin establecerla como evaluación. Como parte de la familiarización, el practicante tiene la oportunidad de evaluar y corregir errores de ejecución; en particular, un énfasis excesivo en la extensión de la cadera para asegurar un reclutamiento de flexión adecuado.

IPC-Tasa de desarrollo de la fuerza

Como se ha comentado anteriormente con respecto a las pruebas de extensión isométrica, además de la fuerza máxima, la RFD también es de interés en estas evaluaciones. La evaluación de la plataforma de fuerza de la CIF es un fenómeno novedoso (McCall et al., 2015) en relación con los más de 25 años de bibliografía sobre la IMTP. Con algunas excepciones (Taberner et al., 2018; Taberner et al., 2020; Taberner et al., 2022; Goodwin & Bull, 2021), los estudios que incluyen evaluaciones de CIP han informado de la fuerza máxima pero no de la RFD. Basándose en los datos de otras evaluaciones isométricas, se espera que la fiabilidad de la RFD sea menor que la de la fuerza máxima, aunque, por lo que saben los autores, solo hay un informe publicado sobre la fiabilidad interdiaria de las pruebas de CIP (Goodwin & Bull, 2021). La medida de RFD examinada en este estudio del puente de cadera en el suelo fue el par @ 150 ms (derivado de la fuerza @ 150 ms y que equivale a la RFD @ 150 ms). La fiabilidad dentro de la sesión mejoró del 16% al 13% a lo largo de los 4 días de prueba, pero siguió siendo sustancialmente superior al 3,3% observado para la fuerza máxima el día 4. En cuanto a la fiabilidad interdiaria, los ICC del primer día fueron idénticos a los de la fuerza máxima (0,87), lo que sugiere que se podría realizar una comparación por grupos, pero a diferencia de la fuerza máxima, se produjeron aumentos significativos a lo largo de los 4 días en los valores bilaterales y de la extremidad izquierda y aumentos no significativos en la extremidad derecha. En general, este estudio demostró que, aunque será necesaria una mayor familiarización, la fuerza@/RFD es una métrica viable en esta prueba. Es necesario seguir trabajando para examinar esto en las otras pruebas de la CIP en un entorno de alto rendimiento con los retos asociados. Según la experiencia de los autores, dentro de un grupo de atletas, habrá individuos que con poca familiarización pueden, por ejemplo, producir salidas fiables de RFD en los 90°, mientras que otros requieren mucho más

entrenamiento, o nunca lo hacen. El entrenamiento y las indicaciones, con énfasis no sólo en una contracción máxima, sino también en una contracción rápida, son más importantes. También sugirió que se deberían realizar pruebas separadas para evaluar la fuerza máxima frente a la RFD - de tal manera que la prueba de RFD se centraría puramente en la contracción rápida y sería una prueba más corta de 1 segundo (Maffiuletti et al., 2016), mientras que los protocolos actuales de IPC son de 3 segundos, lo que permite el desarrollo de la fuerza. El calzado, o la ausencia del mismo, también puede influir en las mediciones de RFD, ya que el punto de contacto es el talón en estas pruebas, y las variaciones en las cualidades de compresión del material del calzado influyen en los resultados.

El uso de la RFD/ganancia potencial de información asociada a ella en el contexto de la monitorización de la respuesta a la carga en atletas sanos se trata en el módulo 3 de este curso y en el contexto de la rehabilitación en el módulo 4.

Sensibilidad de la prueba

La cuestión de si uno de los protocolos/posiciones de CIP descritos tiene una sensibilidad superior a los efectos de un partido de fútbol real o simulado es interesante desde el punto de vista de la selección de pruebas y se ha examinado directa e indirectamente en varios estudios. El estudio de McCall examinó el efecto agudo de los partidos de competición sobre la fuerza máxima IPC -realizando las pruebas entre 5 y 15 min después del final del partido- y observó descensos del 11-16% (29 a 50 N) sin diferencias aparentes en función de la posición. Esta información es importante, ya que fue la primera en demostrar la capacidad de estas pruebas isométricas con plataforma de fuerza para detectar la fatiga aguda de la cadena posterior/los isquiotibiales inducida por el partido, que anteriormente se había estudiado principalmente mediante pruebas isocinéticas mucho más lentas y de difícil acceso. Sin embargo, en la práctica en entornos de alto rendimiento/profesionales es más probable que estas evaluaciones se realicen el día del partido +1, +2 o +3 para definir la respuesta/recuperación residual.

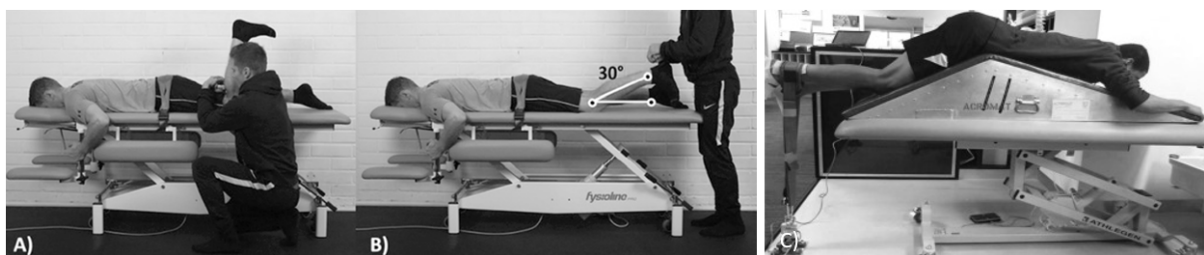
Mientras que en jugadores semiprofesionales, Matinlauri et al, 2019 encontraron patrones similares al comparar el perfil de fatiga-recuperación de los 90°:20° y 90° tras un protocolo de partido simulado de 90 minutos, sí observaron que a las +48h, los 90°:20° permanecían significativamente por debajo del valor basal en las extremidades dominantes y no dominantes ($P < 0,01$, -13,0%) y no dominantes ($P < 0,05$, -10,4%), mientras que los déficits eran ligeramente menores y no significativos para los 90° (dominante: -10,1%; no dominante: -9,1%). Como referencia, sus descensos inmediatos tras el protocolo fueron muy similares a los registrados por McCall inmediatamente después de un partido de competición de 90 minutos (16% en las extremidades dominantes, 13% en las no dominantes, respectivamente). Aunque utilizaron un manguito de presión en lugar de una plataforma de fuerza, en

jugadores profesionales postcompetición Nedelec et al. (2014) observaron un mayor tamaño del efecto para la pérdida de fuerza en la posición de 30° que en la de 90° +48 y +72 horas. En jugadores de academias juveniles, Constantine et al. (2019) informaron que, si bien en general no hubo una interacción significativa entre el ángulo y el curso temporal de la recuperación, los déficits (en relación con los valores previos al partido) fueron mayores en los 30° que en los 90° a +24 (30°: -12,1% 90°: -3,1%) y +48 (30°: -3,4%, 90°: +3,1%) después de la competición.

Constantine et al. (2019) destacan un patrón interesante observado a través de los estudios de recuperación de la fatiga del IPC (plataforma de fuerza, dinamómetro fijo y manguito de presión), fue que en los estudios con jugadores más jóvenes en gran medida mostraron recuperación a las 48h post partido o ninguna diferencia significativa frente a los valores prepartido mientras que los estudios en jugadores senior tienden a mostrar déficits significativos del 8-10% en este punto temporal. Esta observación debe ser confirmada en futuros trabajos, pero sugiere que los cambios en la respuesta a la fatiga/un ritmo de recuperación más lento pueden ser ya evidentes en los jugadores de entre 20 y 30 años en comparación con los de entre 16 y 18 años.

Dado el énfasis en la salud del bíceps femoral, ya que es el músculo de la cadena posterior que se lesiona con más frecuencia, una de las consideraciones clave en la selección de la prueba es la implicación relativa del bíceps femoral. Es evidente que las evaluaciones de las posiciones más extendidas (30°, 90°:20°) con respecto a la de 90°, presentan una mayor activación de este músculo y parecen ser más sensibles a la fatiga inducida por el partido a las +48h/día de partido + 2. Por otra parte, la 90 es, de estas 3 pruebas, la más sencilla de establecer y aplicar rápidamente y, sobre esta base, debe seguir considerándose. El autor opina que, en lo que respecta a la vigilancia, sigue siendo una herramienta práctica. Sin embargo, los puentes de cadera basados en el suelo, aunque aún no se han evaluado en términos de respuesta a la carga, también resultan prometedores.

Figura 12: Pruebas isométricas de isquiotibiales con dinamómetro manual y fijo



Fuente: Wollin, Purdam, Drew, 2016.

Handheld dynamometry assessments of A) knee flexion @ 90 and B) Knee flexion @ 30 (Lahti et al., 2020) C) Fixed dynamometer

Referencias

- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 26(4), 217–238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
- Barreto, R. V., de Lima, L., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2019). Protective Effect Conferred by Isometric Preconditioning Against Slow- and Fast-Velocity Eccentric Exercise-Induced Muscle Damage. *Frontiers in physiology*, 10, 1203. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01203>
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B., Stone, M. H. (2015). Strength Training for Endurance Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 37(2), p 1-12.
- Beckham, G., Mizuguchi, S., Carter, C., Sato, K., Ramsey, M., Lamont, H., Hornsby, G., Haff, G., & Stone, M. (2013). Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 53(5), 573–581.
- Beckham, G., Lamont, H., Sato, K., Ramsey, M., Haff, G., & Stone, M. (2012). Isometric Strength of Powerlifters in Key Positions of the Conventional Deadlift. *Journal of Trainology*, 1(2), 32-35. http://dx.doi.org/10.17338/trainology.1.2_32
- Beckham, G., Suchomel, T., Bailey, C., Sole, C., & Grazer, J. (2014). The Relationship of the Reactive Strength Index-Modified and Measures of Force Development in the Isometric Mid-Thigh Pull. *32nd International Conference of Biomechanics in Sports*. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3075.1362>
- Bengtsson, H., Ekstrand, J., & Hägglund, M. (2013). Muscle injury rates in professional football increase with fixture congestion: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British journal of sports medicine*, 47(12), 743–747. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092383>
- Blazevich, A. J., Gill, N., & Newton, R. U. (2002). Reliability and validity of two isometric squat tests. *Journal of strength and conditioning research*, 16(2), 298–304.
- Bourne, M. N., Opar, D. A., Williams, M. D., & Shield, A. J. (2015). Eccentric Knee Flexor Strength and Risk of Hamstring Injuries in Rugby Union: A Prospective Study. *The American journal of sports medicine*, 43(11), 2663–2670. <https://doi.org/10.1177/0363546515599633>
- Bourne, M.N.; Wiliams, M.D.; Opar, D.A.; Najjar, A.A.; Kerr, G.K.; Shield, A.J. Impact of exercise selection on hamstring muscle activation. *Br. J. Sports Med.* 2016, 51, 1021–1028.
- Brady, C. J., Harrison, A. J., & Comyns, T. M. (2020). A review of the reliability of biomechanical variables produced during the isometric mid-thigh pull and isometric squat and the reporting of normative data. *Sports biomechanics*, 19(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1452968>

Buhman, R; Trajano, G.S; Kerr, G.K; Shield, A.J. (2022). Lower knee flexion and hip extension rate of torque development in athletes with previous hamstring starting injury. *J Sports Sci*; Mar 40(5); 534 - 54; doi: 10.1080/026404 14.2021.2003981

Carling, C., McCall, A., Le Gall, F., & Dupont, G. (2016). The impact of short periods of match congestion on injury risk and patterns in an elite football club. *British journal of sports medicine*, 50(12), 764–768. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095501>

Chaabène, H., Tabben, M., Mkaouer, B., Franchini, E., Negra, Y., Hammami, M., Amara, S., Chaabène, R. B., & Hachana, Y. (2015). Amateur boxing: physical and physiological attributes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(3), 337–352. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0274-7>

Charlton PC, Raysmith B, Wollin M, Rice S, Purdam C, Clark RA, et al. (2018a) Knee flexion strength is significantly reduced following competition in semi-professional Australian Rules football athletes: Implications for injury prevention programs. *Phys Ther in Sports*. May; 31(1):9–14.

Charlton PC, Raysmith B, Wollin M, Rice S, Purdam C, Clark RA, Drew MK.(2018b) Knee flexion not hip extension strength is persistently reduced following hamstring strain injury in Australian Football athletes: Implications for Periodic Health Examinations. *J Sci Med Sport*. Oct;21(10):999-1003. doi: 10.1016/j.jsams.2018.03.014.

Chebbi S, Chamari K, Van Dyk N, Gabbett T. (2022) Tabben M.Hamstring Injury Prevention for Elite Soccer Players: A Real-World Prevention Program Showing the Effect of Players' Compliance on the Outcome. *J Strength Cond Res*. May 1;36(5):1383-1388. doi: 10.1519/JSC.0000000000003505.

Chen, C. H., Chen, Y. S., Wang, Y. T., Tseng, W. C., & Ye, X. (2018). Effects of preconditioning hamstring resistance exercises on repeated sprinting-induced muscle damage in female soccer players. *Biology of sport*, 35(3), 269–275. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.77827>

Cohen, D., Ashworth, B., Taberner, M., Evans, R., Lewin C. (2014) Prior Hamstrings Strain is Associated with Bilateral Isometric Strength Imbalance in Professional Footballers. Presented at 6th MuscleTech Network Workshop on hamstring injuries. Barcelona.

Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *Journal of strength and conditioning research*, 28(1), 173–177. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b8c7>

Constantine E, Taberner M, Richter C, Willett M, Cohen DD. Isometric Posterior Chain Peak Force Recovery Response Following Match-Play in Elite Youth Soccer Players: Associations with Relative Posterior Chain Strength. *Sports (Basel)*. 2019 Oct 1;7(10):218. doi: 10.3390/sports7100218. PMID: 31581584; PMCID: PMC6835616.

Cormie, P., McCaulley, G. O., Triplett, N. T., & McBride, J. M. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 340–349. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000246993.71599.bf>

Cuthbert, M; Confort, P; Ripley, N; McMahon, J.J; Evans, M; Bishop, C. (2021). Unilateral vs. bilateral hamstring strength assessments: comparing reliability and inter-limb asymmetries in female soccer players. *J Sports Sci*; Jul 39(13):1481-1488. doi: 10.1080/02640414.2021.1880180.

De Vos RJ, Reurink G, Goudswaard GJ, Moen MH, Weir A, Tol JL. (2014) Clinical findings just after return to play predict hamstring re-injury, but baseline MRI findings do not. *Br J Sports Med*. Sep;48(18):1377–1384. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093737> PMID: 25037201

Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P. A., & Comfort, P. (2017). Mechanical Determinants of Faster Change of Direction Speed Performance in Male Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 31(3), 696–705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001535>

Dos'Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., McMahon, J. J., Jones, P. A., Oakley, N. P., & Young, A. L. (2018). Between-Session Reliability of Isometric Midthigh Pull Kinetics and Maximal Power Clean Performance in Male Youth Soccer Players. *Journal of strength and conditioning research*, 32(12), 3364–3372. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001830>

Dos Santos, A. F., Nakagawa, T. H., Lessi, G. C., Luz, B. C., Matsuo, H., Nakashima, G. Y., Maciel, C. D., & Serrão, F. V. (2019). Effects of three gait retraining techniques in runners with patellofemoral pain. *Physical therapy in sport : official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine*, 36, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.01.006>

Dumke, C. L., Pfaffenroth, C. M., McBride, J. M., & McCauley, G. O. (2010). Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. *International journal of sports physiology and performance*, 5(2), 249–261. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.2.249>

Ekstrand, J., Hägglund, M., & Waldén, M. (2011). Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *British journal of sports medicine*, 45(7), 553–558. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.060582>

Garhammer, J. (1993). A Review of Power Output Studies of Olympic and Powerlifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(2), 76-89.

Goodwin, J. E., & Bull, A. (2021). Novel Assessment of Isometric Hip Extensor Function: Reliability, Joint Angle Sensitivity, and Concurrent Validity. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000004012. Advance online publication. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004012>

Green B, Bourne MN, Pizzari T. (2018) Isokinetic strength assessment offers limited predictive validity for detecting risk of future hamstring strain in sport: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. Mar;52(5):329-336. doi: 10.1136/bjsports-2017-098101.

Haff, G. G., Stone, M., O'Bryant, H. S., Harman, E., Dinan, C., Johnson, R., & Han, K. (1997). Force-Time Dependent Characteristics of Dynamic and Isometric Muscle Actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(4), 269-272.

- Haff, G. G., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., Kawamori, N., Jackson, J. R., Morris, R. T., Sands, W. A., & Stone, M. H. (2005). Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *Journal of strength and conditioning research*, 19(4), 741–748. <https://doi.org/10.1519/R-15134.1>
- Haff, G. G., Ruben, R. P., Lider, J., Twine, C., & Cormie, P. (2015). A comparison of methods for determining the rate of force development during isometric midthigh clean pulls. *Journal of strength and conditioning research*, 29(2), 386–395. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000705>
- Halperin, I., Hughes, S., & Chapman, D. W. (2016). Physiological profile of a professional boxer preparing for Title Bout: A case study. *Journal of sports sciences*, 34(20), 1949–1956. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1143110>
- Harden, Mellissa et al. (2018). 'Familiarisation, Reproducibility, Sensitivity and Joint Angle Specificity of Bilateral Isometric Force Exertions During Leg Press'. 1 Jan; pp: 291 – 298.
- Hart, N.H., Nimphius, S., Wilkie, J.C., & Newton, R.U. (2012). Reliability And Validity Of Unilateral And Bilateral Isometric Strength Measures Using A Customised, Portable Apparatus. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 20(1), 61-67.
- Hembrough, D., Ruddock, A., Wilson, D., Thompson, S., Hembrough, D., & Winter, E. (2016). Strength and Conditioning for Professional Boxing: Recommendations for Physical Preparation. *Strength and conditioning journal*, 38(3). <http://dx.doi.org/10.1519/SSC.0000000000000217>
- Hopkins W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(1), 1–15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>
- Jaric S. (2002). Muscle strength testing: use of normalisation for body size. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32(10), 615–631. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232100-00002>
- Kawamori, N., Rossi, S. J., Justice, B. D., Haff, E. E., Pistilli, E. E., O'Bryant, H. S., Stone, M. H., & Haff, G. G. (2006). Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various intensities. *Journal of strength and conditioning research*, 20(3), 483–491. <https://doi.org/10.1519/18025.1>
- Kirk, C., Langan-Evans, C., & Morton, J. P. (2020). Worth the Weight? Post Weigh-In Rapid Weight Gain is Not Related to Winning or Losing in Professional Mixed Martial Arts. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 30(5), 357-361. Retrieved Apr 4, 2022, from <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsnem/30/5/article-p357.xml>
- Kraska, J. M., Ramsey, M. W., Haff, G. G., Fethke, N., Sands, W. A., Stone, M. E., & Stone, M. H. (2009). Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted vertical jump height. *International journal of sports physiology and performance*, 4(4), 461–473. <https://doi.org/10.1123/ijspp.4.4.461>
- Kuki, S., Sato, K., Stone, M., Okano, K., Yoshida, T., & Tanigawa, S. (2017). The relationship between isometric mid-thigh pull variables, jump variables and sprint performance in

collegiate soccer players. *Journal of Trainology*, 6(2), 42-46.
http://dx.doi.org/10.17338/trainology.6.2_42

Lahti J, Mendiguchia J, Edouard P, Morin JB. (2022). A novel multifactorial hamstring screening protocol: association with hamstring muscle injuries in professional football (soccer) - a prospective cohort study. *Biol Sport*. Oct;39(4):1021-1031. doi: 10.5114/biolSport.2022.112084.

Lahti J, Mendiguchia J, Ahtiainen J, Anula L, Kononen T, Kujala M, (2020) .Multifactorial individualised programme for hamstring muscle injury risk reduction in professional football: protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open Sport Exerc Med*; 6:e000758.

Layer JS, Grenz C, Hinshaw TJ, Smith DT, Barrett SF, Dai B. (2018) Kinetic Analysis of Isometric Back Squats and Isometric Belt Squats. *J Strength Cond Res*. Dec;32(12):3301-3309. doi: 10.1519/JSC.0000000000002854

Leary, B. K., Statler, J., Hopkins, B., Fitzwater, R., Kesling, T., Lyon, J., Phillips, B., Bryner, R. W., Cormie, P., & Haff, G. G. (2012). The relationship between isometric force-time curve characteristics and club head speed in recreational golfers. *Journal of strength and conditioning research*, 26(10), 2685–2697. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31826791bf>

Loturco, I., Nakamura, F. Y., Kobal, R., Gil, S., Pivetti, B., Pereira, L. A., & Roschel, H. (2016). Traditional Periodization versus Optimum Training Load Applied to Soccer Players: Effects on Neuromuscular Abilities. *International journal of sports medicine*, 37(13), 1051–1059. <https://doi.org/10.1055/s-0042-107249>

Lum, D., Haff, G. G., & Barbosa, T. M. (2020). The Relationship between Isometric Force-Time Characteristics and Dynamic Performance: A Systematic Review. *Sports*, 8(5), 63. <http://dx.doi.org/10.3390/sports8050063>

Lum, D., & Joseph, R. (2020). Relationship between isometric force-time characteristics and dynamic performance pre- and post-training. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 60(4), 520–526. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.19.10293-9>

Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. (2016) Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol*. Jun;116(6):1091-116. doi: 10.1007/s00421-016-3346-6.

Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Gonzalez, A. M., Townsend, J. R., Wells, A. J., Jajtner, A. R., Beyer, K. S., Boone, C. H., Miramonti, A. A., Wang, R., LaMonica, M. B., Fukuda, D. H., Ratamess, N. A., & Stout, J. R. (2015). The effect of training volume and intensity on improvements in muscular strength and size in resistance-trained men. *Physiological reports*, 3(8), e12472. <https://doi.org/10.14814/phy2.12472>

McCall, A., Nedelec, M., Carling, C., Le Gall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2015). Reliability and sensitivity of a simple isometric posterior lower limb muscle test in professional football players. *Journal of sports sciences*, 33(12), 1298–1304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1022579>

Martinopoulou K, Donti O, Sands WA, Terzis G, Bogdanis GC. (2022) Evaluation of The Isometric and Dynamic Rates of Force Development in Multi-Joint Muscle Actions. *J Hum Kinet.* Feb 10;81:135-148. doi: 10.2478/hukin-2021-0130.

Mason L, Kirkland A, Steele J, Wright J. (2021) The relationship between isometric mid-thigh pull variables and athletic performance measures: empirical study of English professional soccer players and meta-analysis of extant literature. *J Sports Med Phys Fitness.* May;61(5):645-655. doi: 10.23736/S0022-4707.20.11205-2.

Matinlauri A, Alcaraz PE, Freitas TT, Mendiguchia J, Abedin-Maghanaki A, Castillo A, Martínez-Ruiz E, Carlos-Vivas J, Cohen DD. (2019) A comparison of the isometric force fatigue-recovery profile in two posterior chain lower limb tests following simulated soccer competition. *PLoS One.* May 3;14(5):e0206561. doi: 10.1371/journal.pone.0206561.

Moreno-Pérez V, Méndez-Villanueva A, Soler A, Del Coso J, Courel-Ibáñez J. (2020) No relationship between the nordic hamstring and two different isometric strength tests to assess hamstring muscle strength in professional soccer players. *Phys Ther Sport.* Nov;46:97-103. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.08.009.

Morton, J. P., Robertson, C., Sutton, L., & MacLaren, D. P. (2010). Making the weight: a case study from professional boxing. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 20(1), 80–85. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.20.1.80>

Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. (2014) The influence of soccer playing actions on the recovery kinetics after a soccer match. *J Strength Cond Res.* 28(6): 1517–1523. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000293> PMID: 24172722

Nuzzo, J. L., McBride, J. M., Cormie, P., & McCaulley, G. O. (2008). Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *Journal of strength and conditioning research*, 22(3), 699–707. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816d5eda>

Onishi H, Yagi R, Oyama M, Akasaka K, Ihashi K, Handa Y. (2002) EMG-angle relationship of the hamstring muscles during maximum knee flexion. *J Electromyogr Kinesiol.* Oct;12(5):399-406. doi: 10.1016/s1050-6411(02)00033-0.

Pandy MG, Lai AKM, Schache AG, Lin Y-C. (2021) How muscles maximize performance in accelerated sprinting. *Scand J Med Sci Sports*; Online ahead of print.

Pettersson, S., Ekström, M. P., & Berg, C. M. (2013). Practices of weight regulation among elite athletes in combat sports: a matter of mental advantage?. *Journal of athletic training*, 48(1), 99–108. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.1.04>

Read PJ, Turner AN, Clarke R, Applebee S, Hughes J. (2019). Knee Angle Affects Posterior Chain Muscle Activation During an Isometric Test Used in Soccer Players. *Sports (Basel).* Jan 4;7(1):13. doi: 10.3390/sports7010013.

Rodríguez Zárate NM, Argothy Bucheli RE, Acero Jáuregui JA, Gómez Salazar L, Menzel H, Cohen DD. (2018). Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en

Biomecánica. Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, la Actividad Física y el Aprovechamiento del Tiempo Libre COLDEPORTES (Colombia).

Rhodes D, Jeffery J, Carling C, Alexander J. (2022) The association between grip strength and isometric mid-thigh pull performance in elite footballers. January; *Science & Sports* 37(2). DOI: 10.1016/j.scispo.2021.03.007

Schache AG, Crossley KM, Macindoe IG, Fahrner BB, Pandy MG. (2011) Can a clinical test of hamstring strength identify football players at risk of hamstring strain? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*

Secomb, J. L., Sheppard, J. M., & Dascombe, B. J. (2015). Time-motion analysis of a 2-hour surfing training session. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 17–22. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2014-0002>

Seitz, L. B., Trajano, G. S., & Haff, G. G. (2014). The back squat and the power clean: elicitation of different degrees of potentiation. *International journal of sports physiology and performance*, 9(4), 643–649. <https://doi.org/10.1123/ijsspp.2013-0358>

Suchomel, T.J., Nimphius, S., Bellon, C.R. et al. Training for Muscular Strength: Methods for Monitoring and Adjusting Training Intensity. *Sports Med* 51, 2051–2066 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01488-9>

Spiteri, T., Nimphius, S., Hart, N. H., Specos, C., Sheppard, J. M., & Newton, R. U. (2014). Contribution of strength characteristics to change of direction and agility performance in female basketball athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 28(9), 2415–2423. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000547>

Stone, M. H., O'Bryant, H. S., McCoy, L., Coglianese, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 17(1), 140–147. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0140:pamsrd>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0140:pamsrd>2.0.co;2)

Stone, M. H., Sands, W. A., Carlock, J., Callan, S., Dickie, D., Daigle, K., Cotton, J., Smith, S. L., & Hartman, M. (2004). The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *Journal of strength and conditioning research*, 18(4), 878–884. <https://doi.org/10.1519/14874.1>

Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>

Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2019). Implementing Eccentric Resistance Training-Part 1: A Brief Review of Existing Methods. *Journal of functional morphology and kinesiology*, 4(2), 38. <https://doi.org/10.3390/jfmk4020038>

Taberner M, Cohen DD. Physical preparation of the football player with an intramuscular hamstring tendon tear: clinical perspective with video demonstrations. *Br J Sports Med.* 2018 Oct;52(19):1275-1278. doi: 10.1136/bjsports-2017-098817.

Taberner M, O'keefe J, Dunn A, Cohen DD. (2022) Return to sport and beyond following intramuscular tendon hamstring injury: A case report of an English Premier League football player. *Phys Ther Sport*. Jul;56:38-47. doi: 10.1016/j.ptsp.2022.05.013.

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

Thomas, C., Comfort, P., Chiang, C. Y., & Jones, P. (2015). Relationship between isometric mid-thigh pull variables and sprint and change of direction performance in collegiate athletes. *Journal of Trainology*, 4(1), 6-10. http://dx.doi.org/10.17338/trainology.4.1_6

Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 48(3), 543–568. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000852>

Tighe, J., McManus, I. C., Dewhurst, N. G., Chis, L., & Mucklow, J. (2010). The standard error of measurement is a more appropriate measure of quality for postgraduate medical assessments than is reliability: an analysis of MRCP(UK) examinations. *BMC medical education*, 10, 40. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-10-40>

Tillin NA, Pain MT, Folland J. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *J Sports Sci*. 2013;31(1):66-76. doi: 10.1080/02640414.2012.720704. Epub 2012 Sep 3. PMID: 22938509.

Timmins, R. G., Bourne, M. N., Shield, A. J., Williams, M. D., Lorenzen, C., & Opar, D. A. (2016). Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury in elite football (soccer): a prospective cohort study. *British journal of sports medicine*, 50(24), 1524–1535. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095362>

Townsend, J. R., Bender, D., Vantrease, W. C., Hudy, J., Huet, K., Williamson, C., Bechke, E., Serafini, P. R., & Mangine, G. T. (2019). Isometric Midthigh Pull Performance Is Associated With Athletic Performance and Sprinting Kinetics in Division I Men and Women's Basketball Players. *Journal of strength and conditioning research*, 33(10), 2665–2673. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002165>

Van Dyk N, Behan FP, Whiteley R. (2019) Including the Nordic hamstring exercise in injury prevention programmes halves the rate of hamstring injuries: a systematic review and meta-analysis of 8459 athletes. *Br J Sports Med*. Nov;53(21):1362-1370. doi: 10.1136/bjsports-2018-100045.

Van Hooren B, Bosch F. (2017) Is there really an eccentric action of the hamstrings during the swing phase of high-speed running? Part II: Implications for exercise. *J Sports Sci*. Dec;35(23):2322-2333. doi: 10.1080/02640414.2016.1266019.

Van Someren, K. A., & Howatson, G. (2008). Prediction of flatwater kayaking performance. *International journal of sports physiology and performance*, 3(2), 207–218. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.207>

- Weir, J. P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass coefficient and the SEM. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19, 231–240.
- West, D. W., Burd, N. A., Coffey, V. G., Baker, S. K., Burke, L. M., Hawley, J. A., Moore, D. R., Stellingwerff, T., & Phillips, S. M. (2011). Rapid aminoacidemia enhances myofibrillar protein synthesis and anabolic intramuscular signaling responses after resistance exercise. *The American journal of clinical nutrition*, 94(3), 795–803. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.013722>
- Wilson, I. B., & Cleary, P. D. (1995). Linking clinical variables with health-related quality of life. A conceptual model of patient outcomes. *JAMA*, 273(1), 59–65.
- Wollin, M., Thorborg, K., Drew, M., & Pizzari, T. (2020). A novel hamstring strain injury prevention system: post-match strength testing for secondary prevention in football. *British journal of sports medicine*, 54(9), 498–499. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-100707>
- Wollin M, Purdam C, Drew MK. (2016) Reliability of externally fixed dynamometry hamstring strength testing in elite youth football players. *J Sci Med Sport*. 19(1):93–96. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.01.012> PMID: 25683733
- Worrell, T. W., Karst, G., Adamczyk, D., Moore, R., Stanley, C., Steimel, B., & Steimel, S. (2001). Influence of joint position on electromyographic and torque generation during maximal voluntary isometric contractions of the hamstrings and gluteus maximus muscles. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 31(12), 730–740. <https://doi.org/10.2519/jospt.2001.31.12.730>
- Young, W. B., & Bilby, G. E. (1993). The Effect of Voluntary Effort to Influence Speed of Contraction on Strength, Muscular Power, and Hypertrophy Development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(3), 172-178.