

Módulo 4. Marco para la cinética en rehabilitación y RTS

Daniel Cohen y Matt Taberner

En el módulo Kinetics in ACL injury, rehabilitation, and RTS (Cinética en lesiones del LCA, rehabilitación y RTS), presentamos la base de pruebas y prácticas en torno al uso de la DL-CMJ en la rehabilitación, con especial referencia a los datos de atletas evaluados a lo largo de la vía de reincorporación al deporte tras una reconstrucción del LCA. Ahora el alumno debe estar familiarizado con las métricas de asimetría DL-CMJ de interés -aquellas que diferencian a los atletas lesionados de los no lesionados y aquellas que persisten tras la vuelta al deporte- basadas en datos medios de grupo en puntos temporales seleccionados. En este módulo, vamos más allá de estos datos transversales y describimos tanto las tendencias dentro de los grupos como en los deportistas individuales. Nos referimos a datos de grupos y estudios de casos en atletas, tanto publicados como inéditos, y nos basamos en la amplia experiencia del autor en la aplicación e interpretación de datos de DL-CMJ y otras evaluaciones diagnósticas de fuerza y potencia en deportes de élite.

Este módulo ampliará aún más la base de conocimientos del alumno y proporcionará un marco conceptual y una caja de herramientas para ayudar a los profesionales a tomar decisiones sobre la aplicación de evaluaciones diagnósticas de S&P durante la rehabilitación-reincorporación al deporte (R-RTS). Esto incluye el desarrollo de una comprensión del comportamiento no solo de las asimetrías, sino también de otras variables cinéticas y de rendimiento durante la R-RTS, lo que es fundamental para la interpretación de los datos derivados y para mejorar la comprensión del estado y el progreso del atleta que se obtiene con estas evaluaciones.

Sin embargo, antes de abordar en detalle el marco cinético y la caja de herramientas en la sección 2 de este módulo, describiremos el proceso de rehabilitación-reincorporación al deporte (R-RTS) y sus subcomponentes. Una comprensión global de los elementos clave que hay que tener en cuenta en esta vía -como la progresión de la carga- permite comprender mejor el valor que tiene la cinética a la hora de informar y apoyar la toma de decisiones dentro de los R-RTS.

Retorno al deporte

En 2002, se publicó la primera declaración de consenso sobre el retorno al juego (RTP) como parte de una colaboración entre seis importantes organizaciones profesionales de los Estados Unidos de América, que incluían el Colegio Americano de Medicina Deportiva y la Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (Herring,

2002). El objetivo de esta declaración era proporcionar un proceso de decisión para determinar cuándo un deportista lesionado o enfermo podía regresar a los entrenamientos o a la competición. La declaración destacaba que la RTP debe ser y debe integrar la experiencia de varias subdisciplinas en todo el equipo de medicina y rendimiento deportivos para optimizar la rehabilitación del atleta lesionado. Colectivamente, estas organizaciones expresaron que la "red de rehabilitación" debería coordinar un plan de desarrollo para restaurar la función de la parte del cuerpo lesionada, y restaurar y promover la función musculoesquelética y cardiovascular, incorporando al mismo tiempo la evaluación y el entrenamiento específicos del deporte para promover la restauración de las habilidades específicas del deporte.

Desde esta declaración inicial, la medicina del deporte y del ejercicio ha avanzado considerablemente. Los modelos de toma de decisiones se han centrado en el deportista, que ahora es una parte interesada activa en el proceso de toma de decisiones de RTP junto con miembros clave del equipo interdisciplinar (King et al., 2019). En 2015, una nueva declaración de consenso proporcionó una actualización sobre el proceso de RTP, aportando claridad en torno a la terminología utilizada sobre este tema (Arderne et al., 2016). Aunque el término RTP era el más utilizado hasta ahora para referirse a la reanudación de la práctica deportiva, el término "juego" solo se aplica a los deportes de equipo y, por lo tanto, tiene una aplicación limitada a otros deportes. En consecuencia, el retorno al deporte (RTS) se utiliza ahora para describir a un atleta que regresa a la práctica deportiva en todos los deportes.

Retorno al deporte continuo

El RTS tras una lesión es un proceso complejo. Para tomar decisiones informadas, las consideraciones mínimas son el tipo de deporte y el nivel de participación al que regresa el deportista (Arderne et al., 2016). El equipo de toma de decisiones debe colaborar para definir el éxito de las estrategias comerciales regionales, sobre todo porque el éxito puede verse en contextos diferentes según la orientación de la parte interesada. El consenso de 2015 destacó que la decisión de RTS no es simplemente una decisión que se toma al final de la recuperación del atleta, sino que debe considerarse en un continuo que comienza en el inicio de la lesión y continúa a lo largo de la recuperación, rehabilitación y RTS del atleta (Arderne et al., 2016). El continuo RTS (figura 1) hace hincapié en la progresión graduada, basada en criterios, que se alinea con los objetivos individualizados del proceso RTS. Dentro de la fase de retorno a la participación, el deportista se encuentra dentro de la fase de rehabilitación y operando por debajo de un nivel inferior definido por los objetivos RTS. La fase RTS pone de manifiesto que el deportista ha vuelto a practicar su deporte, pero puede que no alcance el nivel de rendimiento deseado. Por último, la fase de retorno al rendimiento amplía el proceso de RTS y se enfatiza

cuando el deportista ha regresado y está rindiendo a sus niveles anteriores a la lesión o por encima de ellos (Ardern et al., 2016).

Figura 1: El continuo retorno al deporte

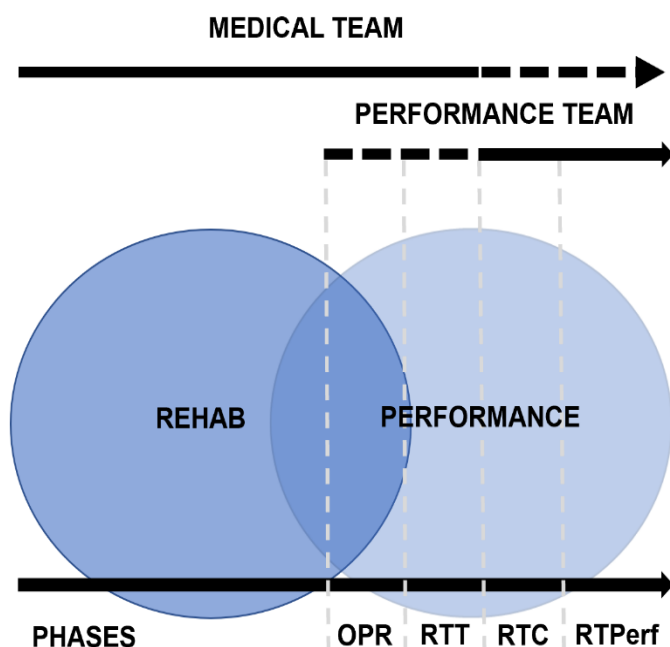


Fuente: Ardern et al 2016.

Return to participation	Volver a la participación
Return to sport	Retorno al deporte
Return to performance	Retorno al rendimiento

Aunque el continuo RTS proporciona una aclaración sobre el proceso RTS, puede que no reconozca el proceso de recuperación "funcional" actualizado — el solapamiento entre la rehabilitación clínica y el RTS. Esta fase suele tener lugar "en el campo" o "en la cancha" y sirve de puente entre la rehabilitación y el entrenamiento deportivo (Buckthorpe et al., 2019). Se ha sugerido una amalgama del proceso de recuperación funcional actualizado y el continuo RTS para proporcionar un modelo más complejo, para describir el proceso de recuperación funcional "completo" (figura 2) (Buckthorpe et al., 2019).

Figura 2. Proceso "completo" de recuperación funcional



Fuente: Buckthorpe et al., 2019.

Notas. Rehab = Rehabilitación, OPR = Rehabilitación en el terreno de juego, RTT = Retorno al entrenamiento, RTC = Retorno a la competición, RTPerf = Retorno al rendimiento.

Medical team	Equipo médico
Performance team	Equipo de rendimiento
Rehab	Rehab
Performance	Rendimiento
Phases	Fases

Dentro de este modelo actualizado, se propuso que la fase RTS incluyera: una vuelta al entrenamiento (RTT) y una vuelta a la competición (RTC), antes de una vuelta al rendimiento (RTPerf), con la duración de cada fase dictada por el tipo y el contexto de la lesión específica. Teniendo en cuenta este detalle añadido, es probable que la gestión de la fase final del proceso de rehabilitación quede fuera de las competencias de la mayoría del personal orientado a la medicina y requiera conocimientos especializados y experiencia para gestionar el camino de un deportista hacia un RTPerf.

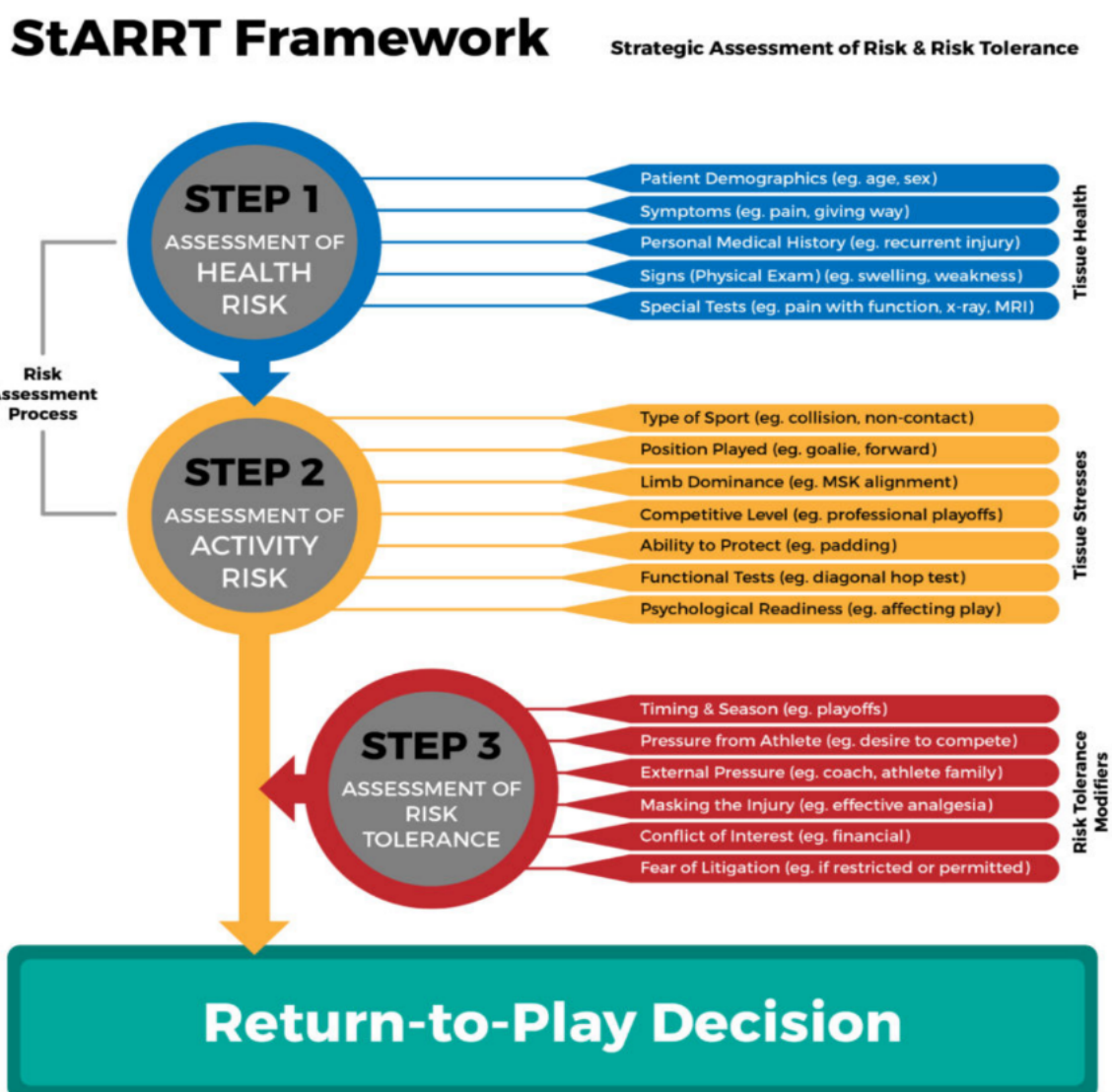
Modelos para comprender el retorno al deporte

Se han desarrollado varios modelos teóricos para ayudar a los profesionales a comprender las complejidades asociadas al proceso RTS, al tiempo que contribuyen a garantizar la coherencia y transparencia del proceso de toma de decisiones. El primero de estos modelos es el marco de Evaluación Estratégica del Riesgo y la Tolerancia al Riesgo (StARRT) (figura 3) (Shrier, 2015). El modelo se propone para ayudar a estimar el riesgo asociado al RTS, y los factores que afectan a lo que se consideraría un riesgo aceptable teniendo en cuenta el contexto específico. El modelo en tres fases consiste en: 1) la salud del tejido, como la información relativa a la cantidad de tensión que el tejido puede absorber antes de lesionarse, 2) las

tensiones tisulares, como la información relativa a la tensión aditiva esperada en el tejido, y 3) los modificadores de la tolerancia al riesgo, como los factores contextuales que influyen en la decisión de RTS. Basándose en el modelo, los deportistas deben recibir el visto bueno para la ETR cuando la evaluación del riesgo (pasos uno y dos) esté por debajo del umbral aceptable de tolerancia al riesgo, que debe considerar tanto el deporte como el nivel de participación al que el deportista se reincorpora (Arderne et al., 2016). Una inspección más cercana del marco StARRT (figura 4), específicamente dentro del paso tres, no reconoce la importancia de la cantidad de entrenamiento realizado por el atleta, que es potencialmente una de las consideraciones más importantes relacionadas con el estrés tisular impuesto (Blanch y Gabbett, 2016). Además, dentro del nivel de modificadores de la tolerancia al riesgo, también puede ser importante tener en cuenta el estado de entrenamiento del jugador y el tipo/gravedad de la lesión, ya que esto puede influir en la cantidad de entrenamiento realizado, es decir, la modificación para reducir la carga impuesta para proporcionar una RTS gradual, una nueva forma de ver la RTS (Arderne et al., 2016).

Un segundo modelo que se ha propuesto para comprender las complejidades asociadas al RTS es el modelo Biopsicosocial (Engel, 1977; Arderne et al., 2013). Tras una lesión, el modelo pretende proporcionar a las partes implicadas en el proceso de RTS un marco para tener en cuenta factores físicos como la fuerza muscular, factores psicológicos como la motivación y factores sociales como las expectativas de recuperación, y cómo estos interactúan para influir en el rendimiento. El modelo puso de relieve la importancia de los factores psicológicos y cómo éstos podrían influir en los resultados del tratamiento/prescripción de ejercicio. Desde el punto de vista de la rehabilitación, la progresión satisfactoria de un tratamiento prospectivo o de un programa de ejercicios podría servir de precursor para fomentar la autoeficacia y la disposición a retomar la actividad. La interacción entre estos factores justifica una mayor investigación durante el proceso de RTS, ya que la progresión estructurada tiene el potencial de mejorar el estado psicológico del jugador.

Figura 3: Marco de Evaluación Estratégica del Riesgo y la Tolerancia al Riesgo (StARRT)



Fuente: Shrier, 2015.

Step 1	Paso 1
Assessment of health risk	Evaluación del riesgo para la salud
Step 2	Paso 2
Assessment of activity risk	Evaluación de los riesgos de la actividad
Risk assessment process	Proceso de evaluación de riesgos
Patient demographics (eg. Age sex)	Datos demográficos del paciente (por ejemplo, edad y sexo)
Symptoms (eg. Pain, giving away)	Síntomas (por ejemplo, dolor, delirio)
Personal medical history (eg. Recurrent injury)	Historial médico personal (por ejemplo, lesiones recurrentes)
Signs (physical exam (eg. Swellin, weakness)	Signos (examen físico (ej. Hinchazón, debilidad)
Special test (eg. Pain with function, x-ray, MRI)	Pruebas especiales (p. ej., dolor con función, radiografía, resonancia magnética)
Tissue Health	Salud de los tejidos
Type of sport (eg. Collision, non-contact)	Tipo de deporte (por ejemplo, colisión, sin contacto)
Position played (eg goalie, forward)	Posición desempeñada (por ejemplo, portero, delantero)
Limb dominance (eg. MSK alignment)	Dominancia de extremidades (por ejemplo, alineación MSK)
Competitive level (eg professional playoffs)	Nivel competitivo (por ejemplo, eliminatorias profesionales)
Ability to protect (eg. Paggng)	Capacidad de protección (por ejemplo, Paggng)

Functional test (eg. Diagonal hop test)	Prueba funcional (por ejemplo, prueba de salto diagonal)
Psychological readiness (eg. Affecting play)	Disposición psicológica (por ejemplo, afectación del juego)
Tissue stresses	Estrés tisular
Step 3	Paso 3
Assessment of risk tolerance	Evaluación de la tolerancia al riesgo
Timing & season (eg playoffs)	Calendario y temporada (por ejemplo, eliminatorias)
Pressure from athlete (eg desire to compete)	Presión del deportista (por ejemplo, deseo de competir)
External pressure (eg coach, athlete family)	Presión externa (por ejemplo, entrenador, familia del atleta)
Masking the injury (eg. Effective analgesia)	Enmascaramiento de la lesión (por ejemplo, analgesia eficaz)
Conflict of interest (eg. Financial)	Conflicto de intereses (por ejemplo, financieros)
Fear of litigation (eg if restricted or permitted)	Miedo a los litigios (por ejemplo, si están restringidos o permitidos)
Risk tolerance modifiers	Modificadores de la tolerancia al riesgo
Return to play decision	Decisión sobre la vuelta al juego

La adaptación y la progresión son elementos integrales de la rehabilitación y el RTS (Arderm et al., 2016). Banister et al. (1991) definieron por primera vez el estado de entrenamiento de un deportista como la diferencia entre positivo (estado de forma), y negativo (influencias de la fatiga); lo que denominaron equilibrio entrenamiento-estrés de un deportista. Desde entonces, este concepto se ha

cuantificado; la aptitud física representada como "carga de trabajo" durante un periodo de tiempo(3-6 semanas) es decir, carga de trabajo crónica, y la fatiga representada por "carga de trabajo" realizada en un plazo más corto, carga de trabajo aguda (1 semana) (Hulin et al., 2014; Gabbett, 2016). El ratio de carga de trabajo crónica aguda (ACWR) se ha propuesto como un medio para indicar el riesgo de lesión del deportista y el nivel de preparación para rendir, y se ha sugerido que es una herramienta útil durante la rehabilitación (Blanch y Gabbett, 2016; Ardern et al., 2016). Además, se ha destacado un mayor riesgo de lesión cuando el ACWR es $>1,5$ (Blanch y Gabbett, 2016). A pesar de que la declaración de consenso sobre RTS sugiere que el ACWR podría ser una herramienta útil cuando un atleta está en transición a través del continuo RTS, la evidencia reciente ha resaltado fallas potenciales dentro del modelo (Lolli et al., 2018; Impellizzeri et al., 2019). A pesar de los posibles defectos del modelo desde una perspectiva matemática, los conceptos de los que se deriva el modelo ACWR ponen de relieve aspectos importantes para la gestión de la carga durante el proceso de RTS, especialmente la importancia de los incrementos progresivos y sistemáticos de la carga para ayudar a desarrollar la capacidad física del jugador (Gabbett, 2016; Blanch y Gabbett, 2016).

Progresar en la rehabilitación tras una lesión

A pesar del reconocimiento dentro de la literatura que rodea la importancia del reacondicionamiento (Ardern et al., 2016; Blanch y Gabbett, 2016), se dispone de evidencia limitada para describir y guiar a los profesionales durante el elemento en el campo del proceso RTS. Progresar en la rehabilitación tras una lesión es un reto complejo. La formulación de un plan de rehabilitación implica la comunicación con el equipo médico o de rendimiento interdisciplinario y el cuerpo técnico para obtener la mayor cantidad de información posible sobre cada jugador, al tiempo que se mantiene al jugador informado e implicado en el proceso, algo esencial en un enfoque del RTS basado en consideraciones. Deben obtenerse las cargas retrospectivas de entrenamiento crónico y de carrera concurrente (entrenamiento más partido) del jugador (datos GPS), junto con los indicadores de entrenamiento y las expectativas bajo el equipo de entrenamiento (número de días de entrenamiento, secuencia de los días de entrenamiento, duración del entrenamiento, tipo de entrenamiento, etc.), que pueden diferir de las demandas previas a la lesión, especialmente si se está bajo un nuevo equipo de entrenamiento. Además, el historial de lesiones anteriores, los detalles de su lesión actual, las exigencias posicionales (y el estilo de juego), el perfil neuromuscular objetivo (evaluaciones diagnósticas de S&P) y las tendencias de estos datos antes y después de la lesión, junto con los posibles tiempos de curación. Esta información, junto con las consideraciones sobre el entrenamiento (incluida la fuerza y el acondicionamiento en el gimnasio), debe informar la toma de decisiones, las estimaciones de la

duración necesaria de la rehabilitación en el terreno de juego y el nivel requerido de cargas de carrera, que el jugador necesita para volver.

El "continuo control-caos" se propuso como un marco adaptable desarrollado para guiar el proceso de rehabilitación en el terreno de juego en el fútbol de élite. El 'CCC' pasa de un alto control a un alto caos interrelacionando variables de carga de carrera GPS, al tiempo que incorpora progresivamente mayores retos neurocognitivos perceptivos y reactivos (Taberner et al., 2019). A pesar de haberse desarrollado a partir de la experiencia de profesionales de la Premier League inglesa, los conceptos a partir de los cuales se construyó el marco también pueden aplicarse a otros deportes de equipo, como el rugby, el fútbol australiano, el baloncesto y el fútbol americano. Las primeras fases del "CCC" consisten en un entrenamiento general que limita la variabilidad del movimiento mediante la aplicación de restricciones a la tarea y al entorno del deportista para adaptar el entorno a los resultados deseados. Estas fases tempranas del continuo pueden describirse como con dos capas de control, alto control sobre las velocidades de carrera durante la vuelta a la carrera lineal y control sobre la carga de cambio direccional junto con la progresión de las velocidades de carrera y la integración de las habilidades técnicas. Las cualidades físicas importantes para el deporte se tratan dentro de las limitaciones de la lesión, construyendo una base hacia los objetivos de carga RTS. Por lo tanto, mejorar la confianza del deportista es uno de los principales objetivos de las fases controladas a medida que se avanza en el camino del deportista hacia la ETR. La transición a fases posteriores del continuo permite al profesional expresar su capacidad creativa y su comprensión del juego a medida que incorpora el "caos" en un enfoque centrado en el deportista. La rehabilitación pasa ahora de una base de entrenamiento general a niveles crecientes de especificidad. Desde el punto de vista de la planificación, una estructura de periodización específica del deporte progresa hasta una estructura específica del club y las demandas de carga únicas inherentes al modelo de juego del entrenador que dirige la preparación de los jugadores para la competición. La estructura de las sesiones debe imitar progresivamente la composición del entrenamiento del equipo en los días de adquisición, centrándose en las cualidades físicas importantes para el deporte y la posición del atleta. Sin embargo, hay que reconocer que existe una variabilidad interindividual sustancial en los rendimientos y las cualidades físicas entre los deportistas de una misma posición, lo que puede reflejar el modelo de juego utilizado. Múltiples bloques de adquisición dentro de un microciclo permiten alcanzar los objetivos de carga RTS, exponiendo al deportista a incrementos de volumen, intensidad y estímulos que reflejan las demandas de la posición del deportista, el deporte y las consideraciones específicas de la lesión. El nivel de contenido de una sesión o el diseño de los ejercicios debe incorporar estímulos que requieran retos neurocognitivos adecuados, conciencia espacial y contenidos de destreza técnica relacionados con el modelo de juego que imiten las exigencias de la competición.

Cuantificación de la carga

El GPS se basa en una tecnología de navegación por satélite concebida originalmente con fines militares para permitir el seguimiento tridimensional por tierra, mar o aire (Cummins et al., 2013). Los recientes avances tecnológicos han permitido el uso de unidades GPS portátiles en una mayor variedad de entornos, incluidos los deportes de élite (Cummins et al., 2013). El GPS ya es habitual en todos los deportes de equipo, especialmente en el fútbol de élite, para proporcionar a los científicos del deporte y a los entrenadores análisis exhaustivos y en tiempo real tanto durante el entrenamiento como durante el partido y, de paso, investigar cuestiones de investigación aplicada (Cummins et al., 2013; Malone et al., 2017; Malone et al., 2019). Los datos obtenidos por GPS pueden ser una herramienta útil para evaluar comparativamente los niveles de rendimiento, cuantificar la rehabilitación en el terreno de juego y establecer objetivos específicos para cada deporte durante el proceso de RTS (Ardern et al., 2016). A pesar de esta prometedora propuesta, aún queda mucho trabajo por hacer para determinar la relevancia de métricas específicas durante el proceso de RTS. La carga externa no puede cuantificarse mediante una única métrica GPS (Malone et al., 2019). Como tal, los profesionales deben considerar el resultado de entrenamiento deseado y las demandas del deporte al seleccionar las métricas apropiadas para ser rastreadas (Impellizzeri et al., 2019). Además, debido a la complejidad de la monitorización de la carga, para cuantificar las exigencias de la actividad deben utilizarse múltiples métricas en conjunción y no de forma aislada (Vanrenterghem et al., 2017).

A pesar del potencial del GPS como herramienta para cuantificar las cargas de carrera durante la rehabilitación en el campo, es importante separar la "señal" del "ruido" para informar la toma de decisiones durante un período longitudinal (Malone et al., 2019). Se aconseja a los profesionales que lleven a cabo sus propias evaluaciones internas de fiabilidad y validez de las unidades GPS específicas y las métricas obtenidas dentro de sus propios entornos para establecer las posibles fuentes de error (Malone et al., 2019) y establecer la confianza en sus datos para informar la toma de decisiones. No obstante, las unidades GPS disponibles en el mercado han demostrado ser fiables y válidas para la cuantificación de distancias, actividad específica del fútbol y velocidad máxima (Beato et al., 2016, 2018; Beato y de Keijzer, 2019). Por el contrario, métricas como las aceleraciones y desaceleraciones deben interpretarse con cautela, ya que se ha informado de que son las que muestran una mayor variabilidad, lo que reduce la confianza potencial en su uso dentro de la toma de decisiones (Buchheit et al., 2014). Se ha informado de que la fiabilidad entre unidades es buena (<2%) para las métricas GPS comúnmente informadas en el fútbol de élite, como la distancia total y la carrera a alta velocidad (HSR) (Akenhead y Nassis, 2016; Thornton et al., 2019), lo que respalda aún más la validez de estas métricas en la medición de la carga de carrera. Dado que el seguimiento de la rehabilitación puede producirse durante periodos

longitudinales, es decir, lesiones de larga duración, es importante que a un jugador se le asigne una unidad específica para mantener la confianza en los datos respectivos y garantizar una interpretación significativa (Jennings et al., 2010). Los datos recopilados, como en los trazos brutos de velocidad y aceleración, también deben inspeccionarse en busca de posibles irregularidades generadas por los dispositivos, que pueden producirse como resultado de una pérdida repentina del satélite que provoque un retraso en la detección de la locomoción (Malone et al., 2017). En el marco de la rehabilitación, la toma de decisiones es un elemento crucial del reacondicionamiento en el terreno de juego y, con los avances de la tecnología deportiva, los datos del GPS también están ahora disponibles en tiempo real. Los datos recogidos en tiempo real muestran una excelente concordancia con los datos descargados tras el suceso, lo que proporciona a los profesionales confianza a la hora de tomar decisiones (Johnston et al. 2019). Esto brinda la oportunidad de tomar decisiones en tiempo real, lo que permite a los profesionales realizar ajustes en la carga planificada dentro de las sesiones, reduciendo la posibilidad de "picos" y puede ayudar a reducir el riesgo de volver a lesionarse.

El GPS se ha utilizado habitualmente como herramienta para cuantificar las demandas de carga de carrera de los deportes de élite en un entorno de equipo (Cummins et al., 2013). A pesar de limitarse a informes de casos, el GPS también se ha destacado como una herramienta valiosa para proporcionar objetividad durante la rehabilitación en el terreno de juego. Murphy y Rennie (2018) utilizaron GPS para proporcionar retroalimentación sobre la progresión en HSR y las velocidades máximas relacionadas con las demandas de partido de los jugadores después de HSI. Morgan et al. (2018) también utilizaron estas métricas GPS junto con la distancia total durante el proceso de rehabilitación en el terreno de juego tras una lesión muscular en el cuádriceps. Morgan et al. (2018) destacaron el valor de considerar los datos de GPS de entrenamiento previos a la lesión junto con los datos obtenidos del juego de partido para garantizar cargas específicas durante el RTS. Weiler et al. también informaron del uso de datos GPS. (2015) en la rehabilitación de un jugador durante el tratamiento no quirúrgico de una lesión del LCA. Aunque se proporcionaron pocos detalles, el GPS se utilizó específicamente durante la fase inicial de vuelta a la carrera para garantizar que la velocidad de carrera era inferior al 50% de la velocidad máxima del jugador (datos anteriores a la lesión), para fomentar la confianza del jugador y proporcionar una medida de control en la fase inicial de la actividad en el terreno de juego.

El uso del GPS como herramienta en el ámbito de la rehabilitación se ha estudiado más intensamente en el rugby unión de élite en comparación con el fútbol de élite, lo que posiblemente esté relacionado con la sanción de las unidades GPS con partidos de competición antes que en el fútbol asociación. Coughlan et al. (2011) utilizaron GPS para cuantificar las demandas de juego en el rugby unión de élite y con las demandas de partido utilizadas como base para la planificación de la carga de

carrera de rehabilitación en el campo. No hay que subestimar la importancia de utilizar secuencias de vídeo de partidos con datos de GPS para comprender los elementos contextuales relacionados con las exigencias físicas de los deportes. El GPS, por tanto, presenta una herramienta objetiva para individualizar la rehabilitación, utilizando las intensidades relativas de los partidos para desarrollar programas de carrera específicos para cada deporte, basados en las demandas posicionales de los jugadores. De acuerdo con Blanch y Gabbett (2016), los autores sugirieron que el uso de datos GPS puede ser imprescindible para comprender la cantidad de entrenamiento que el deportista ha realizado durante la rehabilitación, con el fin de garantizar una preparación adecuada para las exigencias del deporte. Además, la cuantificación de la progresión a lo largo de la rehabilitación en el terreno de juego elimina la subjetividad asociada con el proceso tradicional de RTS y proporciona tanto estímulo como seguridad al jugador que regresa para alcanzar los objetivos predeterminados (Coughlan et al., 2011) que enlazan con el modelo biopsicosocial (Engel, 1977; Ardern et al., 2013). La obtención de otros datos objetivos, como los diagnósticos de S&P a lo largo de la rehabilitación, que pueden influir indirectamente en la confianza de los jugadores y poner de relieve la progresión en su camino hacia el RTS, una parte del RTS que a menudo se pasa por alto, ofrece más garantías.

Si bien el GPS puede ser beneficioso para medir las demandas de carga de carrera durante la rehabilitación en el campo, puede ser limitado en su capacidad para medir las actividades realizadas por los jugadores en actividades estáticas (Reid et al., 2013). A pesar de este problema potencial para cuantificar tareas basadas en la estática, se han establecido métricas derivadas del GPS para cuantificar las demandas relacionadas con frecuentes episodios de carrera acelerada y desacelerada en el fútbol (Osgnach et al., 2010; Di Prampero y Osgnach, 2018). Sin embargo, el uso potencial de estas métricas se ha cuestionado debido a su variabilidad a pesar de su potencial para proporcionar nuevos conocimientos sobre la mecánica y la energética relacionadas con la actividad basada en el fútbol (Buchheit et al., 2014b, 2015; Hoppe et al., 2017). Dichas métricas podrían proporcionar información objetiva sobre las exigencias de la actividad futbolística en espacios restringidos, un componente importante dentro del paradigma de la periodización táctica, que se analizará a su debido tiempo dentro de esta revisión bibliográfica.

A pesar del uso de datos GPS para cuantificar la progresión de la carga de carrera durante la rehabilitación, se ha prestado poca atención a la cuantificación de acciones técnicas como pases, cruces y tiros en rehabilitación, que pueden presentar un riesgo potencial de volver a lesionarse debido a las demandas musculoesqueléticas asociadas (Watanabe et al., 2018). Normalmente, en el entorno de equipo, se utiliza el análisis de anotaciones mediante sistemas de seguimiento por vídeo con múltiples cámaras (VTS) para medir las acciones

técnicas dentro del juego (Barris y Button, 2008). Sin embargo, se ha cuestionado la fiabilidad del análisis notacional debido a las grandes variaciones entre observadores a la hora de etiquetar acciones clave (Duthie et al., 2003). En el contexto de la rehabilitación, en el que normalmente el proceso implica un mínimo de personal que trabaja con el jugador en el terreno de juego, las cuestiones relacionadas con la inter-variabilidad entre observadores no son un problema importante. Aunque el uso del VTS para cuantificar las acciones técnicas puede ser una posible herramienta durante la rehabilitación para controlar el volumen de estas actividades, actualmente no existe ninguna tecnología deportiva disponible para cuantificar la magnitud de estas acciones, y como tal es un área posible en la que la tecnología deportiva podría en el futuro mejorar los procesos de rehabilitación dentro del deporte de élite.

Gestión de la carga

Aunque el control de la carga es habitual dentro del equipo de trabajo (Akenhead y Nassis, 2015), los conceptos de gestión de la carga y el desarrollo de la carga crónica no deben pasarse por alto durante el proceso de RTS. Como se mencionó anteriormente, Blanch y Gabbett (2016) propusieron que cuánto ha entrenado el atleta antes del RTS debe ser un aspecto crítico de la decisión de RTS. Una encuesta realizada a equipos de clubes y entrenadores de rugby de élite puso de manifiesto que los jugadores que regresan a la competición poco después de sufrir una lesión corren un mayor riesgo de volver a lesionarse (Beardmore et al., 2005), mientras que otro estudio sobre rugby de élite reveló que el 50% de las HSI recurrentes se producen en el plazo de un mes tras la lesión inicial (Brooks et al., 2011). Estas conclusiones fueron respaldadas por Orchard y Best (2002), que destacaron que la mayoría de las recidivas de lesiones musculares se producen en la primera semana de RTS, y que el riesgo de volver a lesionarse puede permanecer durante varias semanas. Más recientemente, Finch et al. (2017) destacaron que, además de la posible recurrencia de la lesión, el riesgo de sufrir una nueva lesión también puede ser mayor en el período agudo posterior a la RTS. El riesgo de volver a lesionarse o de sufrir una nueva lesión tras una RTS, supone un enorme obstáculo para el éxito dentro del deporte de élite, especialmente cuando se ha demostrado que la disponibilidad de los jugadores es un factor importante al permitir al director técnico o al entrenador seleccionar su equipo más fuerte posible (Hägglund et al., 2013; Carling et al., 2015). Bengtsson et al. (2019) destacaron en un estudio de cohortes de jugadores de fútbol masculino de élite tasas de lesiones más altas en el primer partido de competición después de RTS en comparación con la tasa media de lesiones en partidos de temporada. También se informó de que la tasa de lesiones era menor cuando los jugadores realizaban más sesiones de entrenamiento antes de volver a jugar partidos de competición. Estos hallazgos aumentan potencialmente la importancia de completar un entrenamiento suficiente antes del RTS y desarrollar una carga crónica durante la rehabilitación, utilizando

datos de referencia (antes de la lesión) con los que evaluar a los jugadores y la provisión de pruebas objetivas para apoyar el RTS de los jugadores (Ardern et al., 2016; Fuller y Walker, 2006).

Stares et al. (2018) enfatizaron aún más la importancia de monitorear las cargas de entrenamiento durante el proceso de RTS en un estudio de jugadores de fútbol de reglas australianas, demostrando que las altas cargas de carrera durante la rehabilitación protegen contra lesiones musculares posteriores. A pesar del elemento protector contra las lesiones, es importante señalar que la fase de reacondicionamiento en el terreno de juego se prolongó para desarrollar una carga crónica antes de la RTS. En el fútbol de élite, prolongar la rehabilitación de un jugador puede no ser siempre factible dados los factores contextuales o la presión de la dirección, pero la toma de decisiones debe equilibrar la disponibilidad temprana del jugador con el riesgo potencial de una nueva lesión (McCall et al., 2017). No obstante, no debe pasarse por alto el concepto de un reacondicionamiento prolongado en el campo de juego para preparar a los jugadores para demandas de carga de entrenamiento similares a las experimentadas durante el entrenamiento de equipo, ni permitir más sesiones de entrenamiento de equipo antes de volver al juego de partido competitivo para reducir el riesgo de una nueva lesión, especialmente en aquellos jugadores que regresan de una lesión de larga duración (>28 días) (Häggglund et al., 2005). En lo que respecta a las lesiones de corta duración con una duración mínima (de 1 a 10 días), se da menos importancia a los aspectos relacionados con la carga crónica en la decisión sobre el RTS, y se hace hincapié en determinadas métricas relacionadas con las exigencias musculoesqueléticas impuestas por el tipo específico de lesión, los factores contextuales y las sensaciones del jugador.

Aunque el desarrollo de la carga crónica durante la rehabilitación en el terreno de juego es importante (Gabbett et al., 2016), es posible que se pase por alto la consideración de cómo progresa la carga de carrera dentro de la rehabilitación. Estudios anteriores en el fútbol profesional y en otros deportes de equipo han destacado que los "picos" de carga, definidos como incrementos repentinos de la carga, se asocian a un mayor riesgo de lesión (Ehrmann et al., 2016; Hulin et al., 2014; 2016; Malone et al., 2017). Varios estudios han demostrado mayores tasas de lesiones con altas cargas de entrenamiento externas medidas con GPS (Gabbett y Ullah, 2012; Colby et al., 2014; Bowen et al., 2017). Sin embargo, los beneficios del entrenamiento, para mejorar las cualidades físicas y los incrementos asociados en las cargas de carrera, pueden ayudar a aumentar la resiliencia y ofrecer potencialmente beneficios protectores (Gabbett, 2016). Una programación cuidadosamente planificada, que conduzca al desarrollo de cargas de carrera crónicas, puede aumentar la durabilidad del atleta. Sin embargo, los "picos" en las cargas de carrera creados en los esfuerzos por alcanzar los objetivos de carga crónica demasiado rápido pueden dar lugar a un alto riesgo de lesiones (Gabbett,

2016). Además, desde una perspectiva práctica, los "picos" en la carga semanal pueden aumentar considerablemente el riesgo de lesión, mientras que la exposición a cargas de carrera extremas, que superan la capacidad de carga del atleta, también puede aumentar el riesgo de lesión (Blanch y Gabbett, 2016). A pesar de las recomendaciones de un equipo, estos conceptos presentan consideraciones importantes para el desarrollo de la carga crónica durante la rehabilitación. Lógicamente, en el proceso de desarrollo de cargas crónicas de carrera se pueden desarrollar cualidades atléticas como la capacidad aeróbica, que son relevantes tanto para el deporte como para la posición de los jugadores y son vitales para garantizar una preparación adecuada para las exigencias del juego (Blanch y Gabbett, 2016).

El "continuo control-caos" y el diagnóstico de fuerza y potencia

Las pruebas periódicas de diagnóstico de fuerza y potencia a lo largo del RTS pueden proporcionar al jugador y al personal información positiva y objetiva sobre los componentes del rendimiento físico y reforzar su confianza en el proceso. Por ejemplo, tras lesiones graves de rodilla, como la RCA, se pueden realizar sentadillas isométricas y dinámicas, extensiones de rodilla concéntricas/excéntricas isométricas e isocinéticas y contramovimientos bilaterales submáximos (CMJ) relativamente pronto en el proceso de rehabilitación. La información de estas pruebas puede utilizarse para determinar el estado neuromuscular del jugador y su progresión en variables seleccionadas relevantes para la prueba antes de la entrada en la fase sobre el terreno de juego del proceso RTS.

Los diagnósticos regulares de fuerza y potencia (S&P) como la cinética DL-CMJ son una característica importante en todo el 'CCC - además del uso estándar en la evaluación periódica del estado y el progreso crónico a través del R-RTS, estos datos también apoyan la toma de decisiones de los profesionales en torno a la fase y la progresión de la carga (Taberner et al., 2020a). Obsérvese que el uso del término "diagnóstico de S&P" en R-RTS no se refiere al diagnóstico de la lesión, sino que denota el perfil detallado de la fuerza y la potencia o las cualidades neuromusculares de un deportista, comúnmente aplicado al deportista sano. El diagnóstico caracteriza los subcomponentes subyacentes del rendimiento funcional, incluidas las características neuromusculares de fases específicas dentro de tareas basadas en saltos y medidas relacionadas con el tiempo como la RFD dentro de evaluaciones de fuerza isométrica. Los diagnósticos específicos de S&P se seleccionarán en función del tipo de lesión y las demandas de carga requeridas dentro del deporte (Glasgow et al., 2015). Sin embargo, las evaluaciones básicas como la DL-CMJ pueden incorporarse durante la R-RTS, como medida global del rendimiento neuromuscular (Taberner et al., 2020b).

Como se destaca en otra parte del certificado, las pruebas funcionales como el salto con una sola pierna para distancia y otras pruebas de salto se han utilizado históricamente como parte de una evaluación de riesgo y criterios para la preparación de un atleta para RTS (Ardern et al., 2016; Zambaldi et al., 2017; Burgi et al., 2019) a través de un índice de simetría de las extremidades (LSI) con un LSI del 90% considerado aceptable (Burgi et al., 2019). Las pruebas funcionales, sin embargo, normalmente solo proporcionan variables de salida como la distancia y la altura (Reid et al., 2007; Lauder et al., 2015). Si bien se trata de herramientas clínicas razonables para la población general que regresa a sus actividades normales o a los deportes recreativos tras una reconstrucción del LCA, por diversas razones puede que no sean adecuadas en los deportes de alto rendimiento y de élite. Las limitaciones fundamentales en el contexto de la RTS del LCA para la que se aplican principalmente estas pruebas funcionales incluyen la "normalización" de las variables de salida no equivale a una recuperación de la función en la rodilla y los déficits cinéticos y biomecánicos significativos identificados pueden estar presentes en el atleta con simetría SLHD (Kotsifaki et al., 2020; Wren et al., 2017).

Además, la mayoría de las pruebas funcionales evalúan tareas de habilidades cerradas, mientras que el deporte requiere habilidades abiertas con elementos reactivos junto con la toma de decisiones y, a veces, en un estado de fatiga (Ardern et al., 2016). Por lo tanto, las pruebas funcionales y los parámetros proporcionados deberían constituir el nivel mínimo de información para respaldar las decisiones sobre las ETR (Ardern et al., 2016). Sin embargo, la cinética salto-tierra junto con las evaluaciones isométricas disponibles en la mayoría de los entornos contemporáneos de alto rendimiento permiten la consideración de múltiples cualidades neuromusculares a través del espectro fuerza-velocidad que reflejan o contribuyen a la fuerza máxima, la fuerza reactiva, la tasa de desarrollo de la fuerza (RFD) y la potencia - que se relacionan con las demandas del deporte y la posición del atleta y garantizan un análisis integral del estado (Maestroni et al., 2019). Estas evaluaciones no solo captan cómo se produce la fuerza, sino también cómo se reduce: durante la desaceleración (es decir, en la fase descendente del salto) y el impacto (aterrizaje), aspectos importantes de la función dado que ambos están relacionados con determinados mecanismos de lesión (Hewett et al., 2010; Oberhofer et al., 2017). Dado que se han puesto de manifiesto déficits persistentes en estas capacidades en tareas basadas en saltos tras un RTS (Paterno et al., 2007; Cohen et al., 2014; Jordan et al., 2015; Hart et al., 2019; Read et al., 2021), basar las decisiones de RTS únicamente en variables basadas en los resultados de rendimiento puede no proporcionar una evaluación global del estado de rendimiento de un deportista.

Informar la prescripción de formación

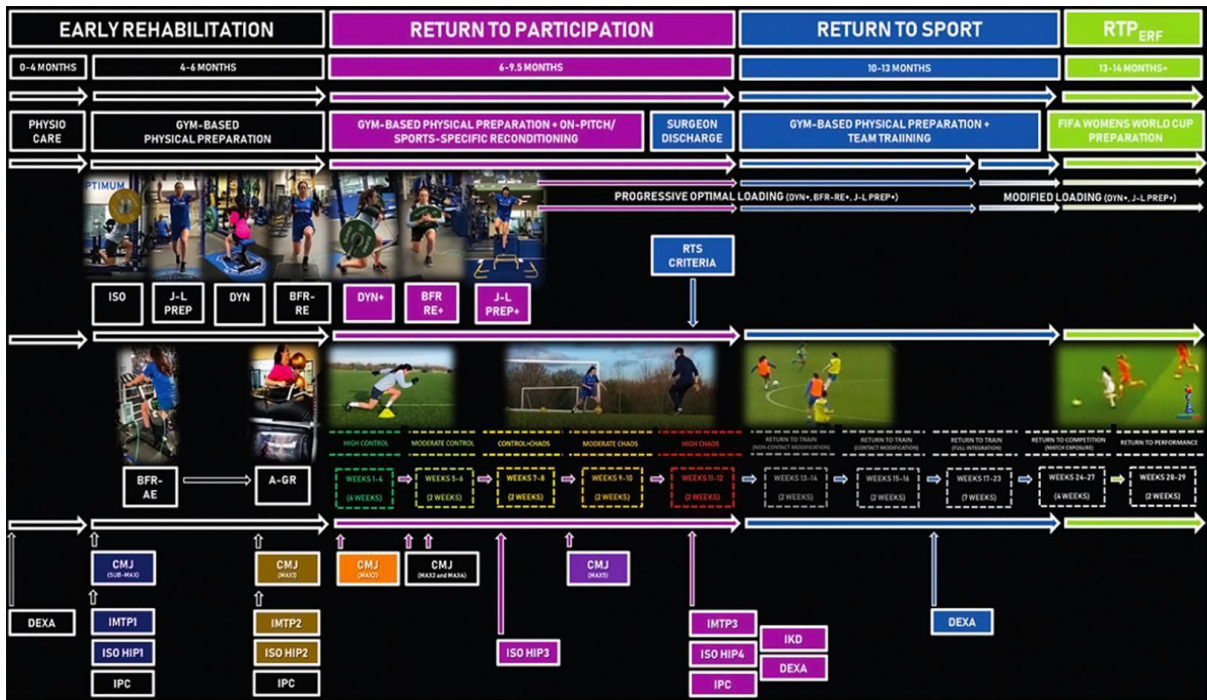
Sin embargo, es importante subrayar que el valor añadido de los diagnósticos cinéticos de S&P sobre las pruebas funcionales no se debe únicamente a la preocupación por la precisión o exactitud de estas últimas con respecto a la cuantificación de la recuperación de la función de la rodilla tras el ACL (Kotsifaki., et al., 2020) y a las asociaciones entre "superar" estas pruebas y el riesgo de volver a lesionarse (King et al., 2021). El valor de los diagnósticos de S&P en el R-RTS también está relacionado con el hecho de que poner el rendimiento neuromuscular "bajo el microscopio" con estas evaluaciones mejora la comprensión de las cualidades neuromusculares o, potencialmente, de las regiones dentro de la amplitud de movimiento que impulsan o subyacen ("localizan") los déficits en los resultados de mayor nivel, como la altura de salto (en CMJ o DJ), la contracción (CMJ) o el tiempo de contacto (DJ). La localización de estos déficits puede informar sobre cargas y tipos de acondicionamiento más específicos y óptimos y, por la misma razón, cuantifica con mayor precisión la eficacia de estos estímulos para impulsar las adaptaciones deseadas. La monitorización objetiva y frecuente de la respuesta al estímulo de carga aplicado durante la rehabilitación puede mejorar la individualización y, potencialmente, la eficacia de la prescripción del entrenamiento de rehabilitación, al permitir al profesional modificar o "afinar" el estímulo de carga. Por lo tanto, aunque las pruebas cinéticas e isométricas de salto en tierra (y otras pruebas dinámicas) se aplican clásicamente de forma periódica para cuantificar el estado neuromuscular y el progreso crónico en relación con los datos de "referencia" para cuantificar el progreso, también pueden utilizarse con mayor frecuencia para cuantificar las adaptaciones a la carga a más corto plazo. En el contexto del continuum CCC R-RTS, los diagnósticos de S&P tienen el potencial de apoyar el razonamiento clínico en torno a las decisiones de progresión.

El salto con contramovimiento de doble pierna (CMJ) proporciona una evaluación del rendimiento y la estrategia de la triple extensión, indicativa de la contribución de cada extremidad en las acciones de aceleración, desaceleración y aterrizaje a alta velocidad (Cohen et al., 2020). Se sugiere que una marcada asimetría, por ejemplo en la RFD de desaceleración excéntrica, puede indicar una preferencia por romper la zancada en tareas de desaceleración en el terreno de juego utilizando la pierna no lesionada, una posible estrategia de evitación impulsada por la falta de confianza y capacidad de carga de la extremidad lesionada (Cohen et al., 2020). La identificación de estos déficits sirve de base para la estrategia de carga, ya que se pueden introducir modificaciones en el programa de carga óptimo para abordar dichos déficits, al tiempo que se informa sobre el programa de rehabilitación en el terreno de juego, como la restricción del volumen de carrera. Por ejemplo, después de una lesión por distensión de isquiotibiales (HSI), la medición de la fuerza isométrica máxima (McCall et al., 2015a; Read et al., 2019) y RFD (Taberner & Cohen, 2019) tiene el potencial de apoyar un retorno a la carrera en el campo y la progresión posterior a lo largo de la rehabilitación en el campo.

Información para la toma de decisiones sobre el avance de las fases

Las diferencias entre las lesiones, las demandas de carga de carrera específicas de cada posición y la respuesta de los jugadores a estas demandas implican que la rehabilitación en el terreno de juego no puede ser un enfoque de "talla única". La gran variabilidad interindividual en el progreso de las cualidades neuromusculares subraya la importancia de cuantificar la respuesta individual al reacondicionamiento junto con la referencia a datos "de referencia" sanos, si se dispone de ellos. Esto contribuye a que los procesos de toma de decisiones en torno a la prescripción del acondicionamiento y la progresión de las fases estén mejor informados y se basen no solo en la progresión prevista, sino también en la progresión real de las cualidades neuromusculares específicas con la suficiente antelación para modificar la prescripción de forma adecuada. Esta información, combinada con la consecución de los objetivos de carga de carrera en el terreno de juego, tanto en las fases del "CCC" como dentro de ellas y más allá del RTS, reduce la dependencia de las respuestas esperadas/previstas y de los plazos de curación al proporcionar una capa adicional de información objetiva que ayuda a respaldar el razonamiento clínico y se utiliza para informar sobre la progresión. Los criterios considerados en las decisiones de progresión incluyen el logro de los objetivos de carga de carrera y los componentes de habilidad técnica, la ausencia de dolor/inflamación (es decir, escala de calificación numérica <2/10) y derrame articular, respectivamente, siendo la ausencia de dolor el criterio más comúnmente comunicado (Dunlop et al., 2020). Las consideraciones adicionales también incluyen la confianza del jugador para realizar las tareas requeridas (comunicación verbal basada en la escala de percepción de confianza, es decir, 0-10) y su retroalimentación subjetiva (tasa de sesión de esfuerzo percibido, es decir, 1-10 x duración del entrenamiento) (Allen et al., 2021).

Figura 4: Una visión general del retorno al rendimiento (RTPerf) de una jugadora de fútbol de élite tras la reconstrucción del LCA (ACLR) con el momento de la CMJ y otras evaluaciones diagnósticas de S&P.



Fuente: Taberner et al., 2020.

Early rehabilitation	Rehabilitación temprana
Return to participation	Retorno a la participación
Return to sport	Retorno al deporte
RTP erf	RTP erf
Months	Meses
Physio care	Fisioterapia
Gym bases physical preparation	Preparación física en el gimnasio
Gym based physical preparation + on pitch sports specific reconditioning	Preparación física en gimnasio + reacondicionamiento deportivo específico en el terreno de juego
Surgeon discharge	Alta quirúrgica

Gym based physical preparation + team training	Preparación física en gimnasio + entrenamiento del equipo
FIFA women's world cup preparation	Preparación para la Copa Mundial Femenina de la FIFA
Progressive optimal loading (DYN, BFR-RE, JL PREP)	Carga óptima progresiva (DYN, BFR-RE, JL PREP)
Modified loading (DYN, JL PREP)	Carga modificada (DYN, JL PREP)
ISO	ISO
J-L Prep	Preparación J-L
Dyn	Dyn
BFR-Re	BFR-Re
DYN+	DYN+
J-L prep	J-L prep
RTS criteria	Criterios RTS
High control	Control alto
Moderate control	Control moderado
Control chads	Control chads
Moderate chads	Chads moderados
High chads	Chads altos
Return no train	Retorno sin tren

Pre contact modification	Modificación precontacto
Contact modification	Modificación de contacto
Full integration	Integración total
Return to competition	Vuelta a la competición
Return to performance	Vuelta al rendimiento
weeks	semanas

LRM a corto plazo en R-RTS

Los diagnósticos S & P también son un medio para cuantificar las respuestas neuromusculares a corto plazo (agudas y residuales) a los incrementos de carga o a la introducción de tipos, volúmenes e intensidades específicos de acondicionamiento fuera y dentro del terreno de juego en las transiciones entre fases o dentro de una misma fase. La realización de pruebas en este contexto es distinta de la evaluación periódica del estado que se aplica más universalmente (que, por el contrario, debe realizarse en condiciones recuperadas si es factible), para determinar las adaptaciones crónicas. En su lugar, estas pruebas pretenden identificar tendencias que podrían ser indicativas de respuestas inadaptadas / recuperación anormalmente lenta / carga mecánica excesiva. En el contexto del R-RTS, el objetivo es obtener una indicación de la fatiga general del miembro lesionado o no lesionado del jugador a través de la respuesta residual a las exigencias de la rehabilitación en el terreno de juego (o fuera de él), en el primer caso, examinada junto con los datos cuantificados de carga en el terreno de juego del GPS. Si bien existen pruebas sustanciales que apoyan este enfoque en el LRM de atletas sanos (como se discute en el módulo de herramientas de monitorización de la respuesta a la carga), su aplicación en atletas R-RTS sólo se ha descrito en la literatura en un estudio de caso en una futbolista de élite (Taberner et al., 2020a), no se ha descrito en la literatura.

En resumen, además de la evaluación objetiva del estado de rendimiento neuromuscular, es decir, las asimetrías y el rendimiento en momentos periódicos de la rehabilitación y en la RTS, la cinética S & P informa sobre la respuesta temprana a la carga durante la preparación física en el gimnasio, contribuye a los procesos de toma de decisiones en torno al inicio del regreso a las actividades en el terreno de juego y a las decisiones de progresión dentro y entre las fases del CCC mediante la

cuantificación de la respuesta a la carga progresiva dentro y fuera del terreno de juego. El objetivo de este estudio es proporcionar información que pueda servir de base a los procesos de toma de decisiones a lo largo de todo el proceso, desde la rehabilitación y la terapia de reemplazo hasta el regreso al rendimiento y la competición. En la sección 2, desarrollamos los conceptos descritos anteriormente, con especial referencia a la rehabilitación del futbolista de élite.

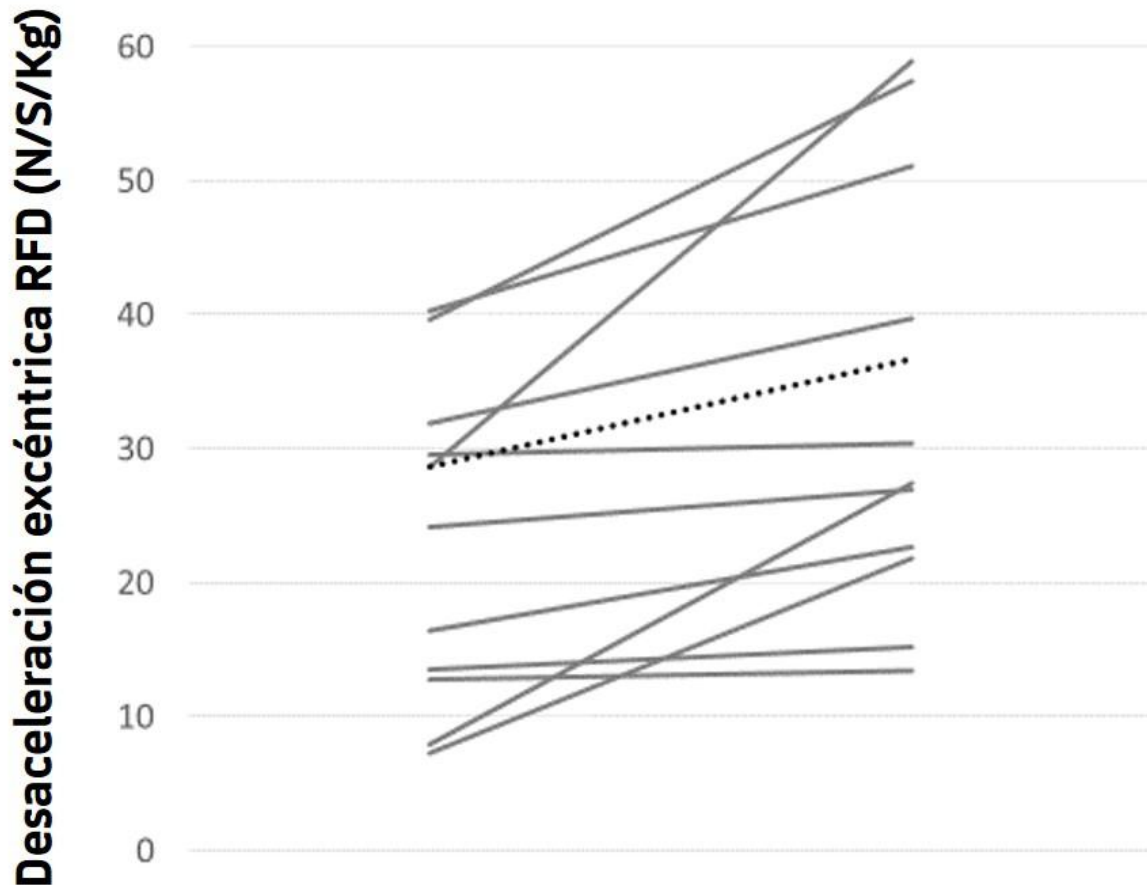
El marco cinético y la caja de herramientas

El marco se refiere a los conceptos y paradigmas que pueden ayudar a orientar e informar la entrega y el uso de los diagnósticos de S&P y los datos derivados durante la rehabilitación.

Variabilidad interindividual en el progreso a través de R-RTS

Aunque existen plazos previstos para la reincorporación tras una lesión determinada, es bien sabido que éstos pueden variar sustancialmente. Independientemente de esta variabilidad, en el deporte profesional también existe la presión de acelerar este rendimiento en los jugadores más valiosos para un equipo. El valor de la integración de la cinética en el R-RTS reside en su capacidad para cuantificar e informar sobre la recuperación/progreso neuromuscular de los individuos, uno de los componentes de la recuperación. Aunque "el tiempo es un sanador", las pruebas sugieren que después de ACL-R, se informa de una falta de asociación entre el tiempo transcurrido desde la cirugía y los déficits (Myer et al., 2012). La evidencia publicada muestra una gran variabilidad interindividual en las métricas de ILA a través de los puntos de tiempo de rehabilitación basados en las desviaciones estándar y los intervalos de confianza informados en el estudio transversal en serie de Read et al (2021) y Miles et al (2019), y el SGP-ACL (que se muestra en el módulo Cinética en la lesión del LCA, rehabilitación y RTS). La variabilidad en la respuesta o la trayectoria de las métricas y el % de ILA durante la rehabilitación es evidente incluso en un grupo aparentemente homogéneo, como se ilustra en la figura 5, que muestra las tendencias individuales en los valores de las extremidades implicadas en las evaluaciones de DL-CMJ en dos momentos de la rehabilitación tras una LCA-R, en futbolistas profesionales (SGP-ACL).

Figura 5: Cambios en la desaceleración excéntrica del miembro lesionado RFD en futbolistas profesionales en rehabilitación tras ACL-R



Cada línea es la desaceleración excéntrica absoluta RFD/kg de un jugador individual (n=11) en la extremidad lesionada, obtenida en evaluaciones DL-CMJ en dos momentos durante la rehabilitación. La línea discontinua es el valor medio del grupo - el aumento medio fue significativo ($p=0,02$).

Fuente: elaboración propia.

Eccentric deceleration RFD	Desaceleración excéntrica RFD
----------------------------	-------------------------------

El trabajo de Hart et al., en futbolistas profesionales sanos con una lesión grave previa de la extremidad inferior (es decir, asimetrías residuales post-RTC) sugiere que uno de los factores determinantes de la magnitud del % de ILA tras la lesión es si esta se produjo en la extremidad dominante o no dominante; se observaron

valores significativamente más altos para variables específicas si la extremidad dominante estaba lesionada (véase la tabla 1). Esto concuerda con observaciones anecdóticas en atletas de los que se dispone de datos de referencia (anteriores a la lesión), en el sentido de que el perfil ILA del atleta antes de la lesión -dirección y magnitud- tiene una gran influencia en los valores que expresan en rehabilitación. Se observan grandes diferencias, por ejemplo, en el impulso-100 concéntrico y la fuerza máxima concéntrica ($ES > 0,8$), pero solo pequeñas diferencias en el impulso concéntrico o la RFD de desaceleración excéntrica ($ES < 0,5$).

Tabla 1: Porcentaje de asimetría de salto en contramovimiento (media \pm DE) en futbolistas profesionales sanos con lesión grave anterior de miembro inferior dominante (N = 11) frente a no dominante (N = 6)

Variable	Status	Asymmetry %	Effect size
Concentric impulse 100 ms	Non-dominant	14.30 \pm 5.79	1.05
	Dominant	8.98 \pm 4.62	
Concentric impulse	Non-dominant	6.65 \pm 2.51	0.30
	Dominant	7.71 \pm 3.81	
Concentric peak force	Non-dominant	11.2 \pm 5.29	1.13
	Dominant	6.61 \pm 3.28	
Eccentric: Concentric force ratio	Non-dominant	12.54 \pm 9.52	0.39
	Dominant	10.02 \pm 4.08	
Eccentric deceleration RFD	Non-dominant	22.05 \pm 12.10	0.23
	Dominant	19.69 \pm 9.09	
Eccentric deceleration impulse	Non-dominant	14.03 \pm 9.26	0.27
	Dominant	11.81 \pm 7.66	
Eccentric peak force	Non-dominant	15.64 \pm 6.19	0.84
	Dominant	9.98 \pm 6.91	
Force at zero velocity	Non-dominant	15.48 \pm 6.50	0.73
	Dominant	10.00 \pm 6.86	

DL-CMJ absoluto ILA% en jugadores sanos que habían sufrido una lesión grave de miembro inferior dominante o no dominante en los 12 meses anteriores.

Fuente: Hart et al., 2019.

Variable	Variable
Status	Estado

Asymmetry	Asimetría
Effect size	Tamaño del efecto
Concentric impulse	Impulso concéntrico
Concentric peak force	Fuerza máxima concéntrica
Eccentric	Excéntrico
Concentric force ratio	Relación de fuerza concéntrica
Eccentric deceleration RFD	RFD de desaceleración excéntrica
Eccentric deceleration impulse	Impulso de desaceleración excéntrica
Eccentric peak force	Fuerza máxima excéntrica
Force at zero velocity	Fuerza a velocidad cero
Non-dominant	No dominante
Dominant.	Dominante

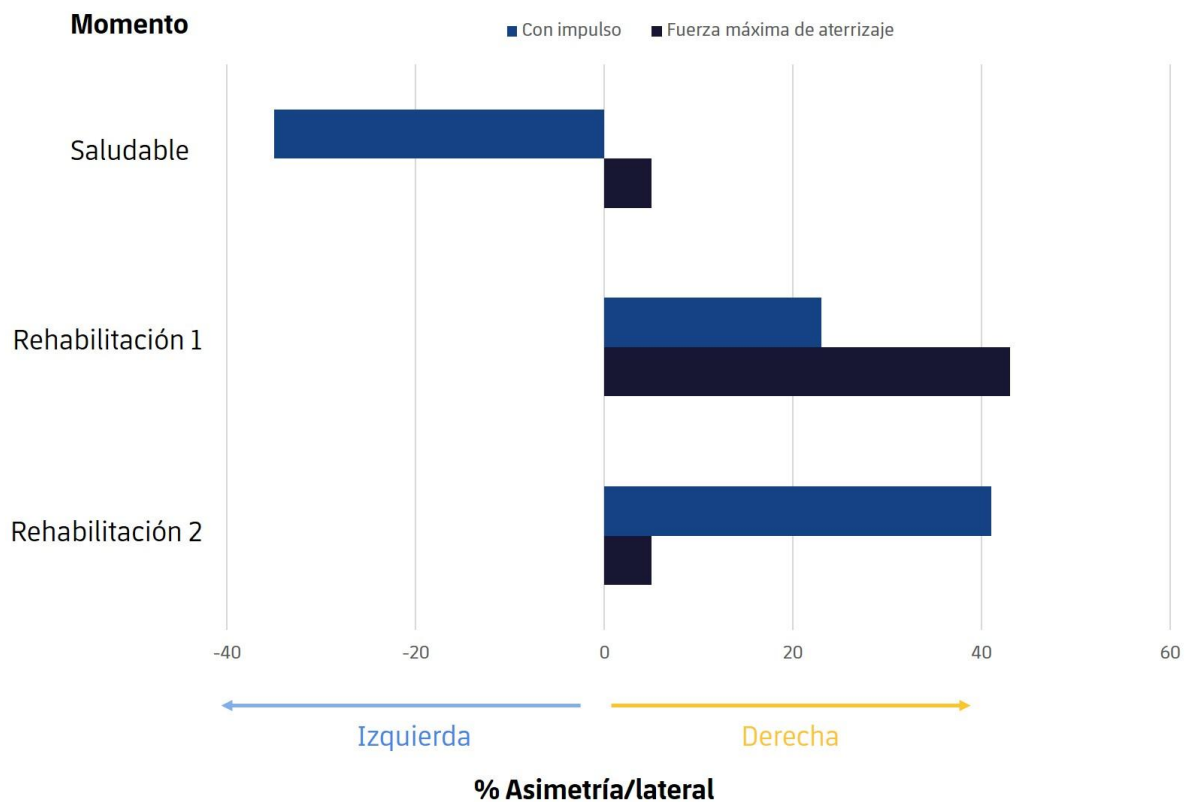
Dado que el énfasis de la LRM en el R-RTS está en evaluar y comprender el progreso en la respuesta individual al reacondicionamiento, es interesante comprender mejor qué factores influyen en la trayectoria del progreso neuromuscular a través de la rehabilitación. Existen pruebas de que los factores genéticos a través de los polimorfismos de nucleótido único (SNP) (variaciones en la secuencia del ADN) influyen en la duración de la recuperación y la gravedad de las lesiones de tejidos blandos. Por ejemplo, en un análisis de 73 futbolistas de élite, Pruna et al., (2013) descubrieron que entre los jugadores con lesiones de ligamentos, el retorno de la lesión fue significativamente más corto (media de 24,7 días) en aquellos con el genotipo ELN AG que en aquellos con los genotipos ELN GG (media de 37,5 días) o AA (media de 83,2 días). También hay estudios en atletas sanos que demuestran que el SNP influye en el grado de susceptibilidad al daño muscular inducido por el ejercicio (Baumert et al., 2016). Por lo tanto, hay

factores no modificables que modulan el efecto de la propia lesión y la respuesta del deportista al ejercicio de reacondicionamiento incluido en la rehabilitación - que influirán en el ritmo de recuperación. El fenómeno de respondedores y no respondedores al ejercicio crónico también se describe en individuos sanos (Pickering & Kiely., 2019). En atletas sanos, las cualidades de la capacidad física como la fuerza y la potencia pueden modificar la variación interindividual en el perfil de recuperación / respuesta residual a las demandas de la competición (Johnston et al., 2015; Norris et al., 2019), y también pueden contribuir a la variabilidad durante la R-RTS.

Las medidas del dolor, la inflamación y las exploraciones pueden informar sobre el ritmo de curación y la respuesta aguda a la carga, mientras que la cinética proporciona medidas objetivas granulares de la respuesta neuromuscular durante este proceso. La posibilidad de cuantificar la variabilidad descrita y de proporcionar información detallada sobre la respuesta individual al reacondicionamiento, con el fin de mejorar la prescripción de un entrenamiento de "precisión" más específico, eficiente e individualizado, constituye el núcleo de la propuesta de valor para la integración de la plataforma de fuerza y otros diagnósticos de S&P en el R-RTS. De hecho, se sugiere que la individualización inadecuada y la dependencia excesiva de los criterios tradicionales basados en el tiempo para la progresión de la rehabilitación y la RTS son factores que contribuyen al número considerable de jugadores que no vuelven a practicar deporte después de una lesión grave como la ACLR, o que vuelven y se vuelven a lesionar el mismo tejido o uno diferente (Taberner et al, 2022). La individualización del proceso, que mejora la correlación, puede influir positivamente en los resultados.

Un análisis exhaustivo de los ILA cinéticos también revela tendencias divergentes en diferentes métricas a través de la rehabilitación dentro de los atletas, como se muestra en la figura 6. La lesión de la rodilla izquierda ha provocado grandes aumentos del ILA de la extremidad derecha en ambas métricas (con valores anteriores a la lesión disponibles para el jugador). También muestra que entre dos evaluaciones DL-CMJ realizadas con un intervalo de 6 semanas durante la rehabilitación, hubo una mejora (reducción) en el % de ILA de impulso concéntrico. Sin embargo, la fuerza máxima de aterrizaje ILA % aumentó -lo que sugiere una mayor estrategia de evitación de la fuerza de impacto del aterrizaje- a pesar de la respuesta positiva en la fase de producción de fuerza (ascendente/concéntrica).

Figura 6: Tendencias en el impulso concéntrico y la asimetría de la fuerza máxima de aterrizaje en DL-CMJ durante la rehabilitación tras una lesión de rodilla y valores saludables previos a la lesión: estudio de un caso en un futbolista de élite.



CON=Concéntrico; % de asimetría y dirección (barra a la izquierda = asimetría izquierda, barra a la derecha = asimetría derecha) para evaluaciones DL-CMJ realizadas en 3 puntos temporales: Sano=evaluación "de referencia" del deportista sano antes de la lesión; Rehabilitación 1=evaluación en la primera autorización para realizar saltos durante la rehabilitación; Rehabilitación 2=evaluación realizada 6 semanas después de la rehabilitación 1, antes de la transición al cambio de dirección a mayor velocidad.

Fuente: elaboración propia.

Time point	Momento
Healthy	Saludable
Rehab	Rehabilitación
Asymmetry/side	Asimetría/lateral
Peak landing force	Fuerza máxima de aterrizaje
Con impulse	Con impulso

Left	Izquierda
Right	Derecha

Rendimiento bilateral y métricas cinéticas "alternativas"

¿Qué parámetros vigilar?

¿Qué métricas vigilar? La eterna pregunta es si se debe monitorizar al atleta sano o al lesionado. En el módulo Kinetics in ACL injury, rehab and RTS nos centramos en los ILA en el DL-CMJ e identificamos los que más diferenciaban al atleta lesionado del no lesionado durante la rehabilitación y el postoperatorio. También presentamos datos que demostraban que, dentro de la misma lesión, la respuesta del ILA variaba según el tipo de injerto, y destacamos cómo la elección de la métrica puede variar en las subpoblaciones lesionadas. Este es el tipo de información que contribuye a mejorar la individualización de la monitorización de la respuesta de los déficits específicos de la lesión identificados al reacondicionamiento. También subraya el valor de los análisis exhaustivos de ILA en curso para crear "firmas" de monitorización de precisión en otros tipos y subtipos de lesiones. Estos datos se presentan en el módulo Cinética en la lesión del LCA, rehabilitación y RTS, pero en la tabla 2 se ofrece un resumen de las métricas de asimetría en cada fase con la mayor diferencia de tamaño del efecto entre jugadores lesionados (evaluados durante la rehabilitación) y no lesionados.

Tabla 2: Asimetrías DL-CMJ en futbolistas profesionales 5 meses después del ACLR (n=39) frente a controles (n=24)

Métrica	Controlar	ACL	Valor P	Tamaño del efecto
Fase descendente ("excéntrica")				
Desaceleración RFD	9.6 (8.9)	28.8 (17.1)	<0.001***	1.32
RFD excéntrico	13.4 (11.5)	22.8 (13.3)	0.01**	0.75

Fuerza @ Velocidad	10.3 (8.8)	18.4 (10.6)	0.003***	0.81
Fase ascendente ("concéntrica")				
Impulso	5.9 (4.2)	18.3 (8.8)	<0.001***	1.67
Fuerza@Pote ncia máxima	4.2 (2.9)	17.9 (8.9)	<0.001***	1.89
Fase de aterrizaje				
Impulso 70 ms	14.5 (8.7)	36.7 (22.8)	<0.001***	1.18
Fuerza máxima	10.0 (6.5)	25.7 (16.9)	<0.001***	1.13

Fuente: elaboración propia.

Las asimetrías cinéticas y los resultados clásicos del rendimiento (altura de salto, potencia pico concéntrica) siguen siendo las métricas bilaterales "a las que se recurre" comúnmente informadas cuando se controla a los jugadores durante la rehabilitación (Read et al., 2021; Costley et al., 2023; Cohen et al., 2020; SGP-ACL). También indicamos anteriormente que otras métricas deben ser consideradas e incorporadas en los informes de progreso en R-RTS. Esto incluye las variables cinéticas "alternativas", CMJ, ahora bien establecidas como variables con mayor sensibilidad a la fatiga residual, adaptaciones positivas a la carga y efectos de la descarga específica y recomendadas en la monitorización de la respuesta a la carga (LRM) del atleta sano. Además, estas variables y otras que describen la técnica de movimiento durante el salto proporcionan un contexto que mejora la clasificación de los valores y cambios observados en el ILA. Esto puede ayudar a explicar y comprender mejor una tendencia, o puede alterar su interpretación. Ejemplos de esto se muestran a continuación, pero primero, examinemos la CMJ-cinética bilateral.

Métricas bilaterales alternativas en R-RTS

Estas métricas también pueden ayudar a identificar el origen de un déficit en una salida como la altura de salto en el CMJ o la altura de salto y el tiempo de contacto en el DJ, junto con la inspección de la forma de onda. El estado o las cualidades neuromusculares que se infieren de las métricas cinéticas derivadas pueden o no revelar una tendencia divergente a la de los resultados del rendimiento, pero proporcionan información sobre la fase y subfase o la fuerza, la velocidad, el tiempo y el desplazamiento que probablemente mejore la capacidad de los profesionales para localizar, en términos de posición corporal de fase o calidad neuromuscular, el impulsor o los determinantes de los resultados funcionales deficientes, lo que podría informar de un cambio de énfasis o enfoque en la prescripción del entrenamiento de lo que estaba previsto.

Considere la siguiente tabla de la comparación de Hart et al (2019) de las variables bilaterales DL-CMJ en futbolistas profesionales sanos con o sin lesión grave previa. Aunque las diferencias no son significativas, las diferencias entre los grupos son más pronunciadas (tamaños de efecto más grandes) para las variables cinéticas CMJ que representan el rendimiento limitado por el tiempo (FT:CT o Con RPD-100) o indicativo de una estrategia de producción de fuerza alterada (relación de fuerza Excéntrica:Concéntrica) que las diferencias en las métricas típicas reportadas: altura de salto y potencia máxima concéntrica.

Tabla 3: Variables del salto bilateral con contramovimiento en futbolistas profesionales sanos con (N = 17) o sin (N = 17) lesión grave previa de las extremidades inferiores

Performance variable	Injury status	Mean ± SD	Effect size
Jump height (cm)	Previously injured	33.9 ± 4.7	-0.24
	Uninjured	34.9 ± 3.6	
Peak power/ BW	Previously injured	50.5 ± 6.1	-0.22
	Uninjured	51.7 ± 5.2	
Flight:Contraction time (s)	Previously injured	0.63 ± 0.08	-0.47
	Uninjured	0.67 ± 0.09	
Eccentric: Concentric force ratio	Previously injured	52.1 ± 3.7	0.51
	Uninjured	50.2 ± 3.3	
Concentric RPD/BW	Previously injured	235.1 ± 61.4	-0.40
	Uninjured	258.6 ± 54.5	

PC=peso corporal; RPD=velocidad de desarrollo de la potencia. Clasificación del tamaño del efecto < 0,2 = trivial; 0,2 - 0,5 = pequeño; 0,5 -0,8 = moderado

Fuente: Hart et al., 2019

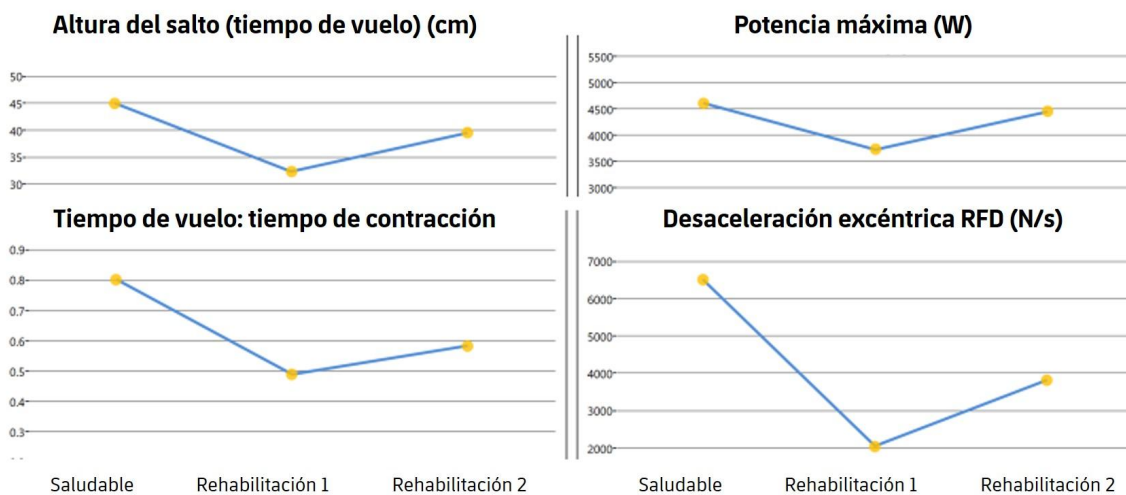
Performance variable	Variable de rendimiento
Injury status	Estado de la lesión
Mean	Media
Effect size	Tamaño del efecto
Jump height	Altura de salto
Peak power/BW	Pico de potencia/BW
Flight: contraction time	Vuelo: tiempo de contracción
Eccentric: concentric force ratio	Excéntrico: relación de fuerza concéntrica
Concentric RPD/BW	RPD concéntrica/BW
Previously injured	Anteriormente herido
Uninjured	Sin heridos

Aunque la falta de significación puede deberse en parte a la muestra relativamente pequeña de 17 personas en cada grupo, también es probable que se deba a una variabilidad interindividual real en la respuesta. En general, estos datos sugieren que, si bien hay una tendencia a que las variables cinéticas CMJ estén menos recuperadas / más afectadas por lesiones previas, los déficits pueden no ser grandes o no son consistentes en todos los resultados de rehabilitación. Read et al., 2021 no informaron variables cinéticas CMJ bilaterales, pero destacaron que en jugadores profesionales, a más de 9 meses después de la cirugía ACLR, además de la elevada DL-CMJ ILA, la altura media de salto fue significativamente menor (30,7 cm SD: 4,6) que en sus homólogos no lesionados (34,5 cm SD: 4,0).

Anecdóticamente, observamos que hay atletas para los que la altura de salto se recupera más lentamente tras una lesión que la cinética CMJ, y otros para los que examinar únicamente la altura de salto y la potencia pico concéntrica dará una impresión engañosa del progreso y la recuperación. Como se observa en la figura 7, el estado relativo al punto de referencia saludable del atleta y las trayectorias de

recuperación pueden diferir en estas métricas, al igual que en el LRM del atleta saludable.

Figura 7: Tendencias en las métricas bilaterales "típicas" frente a las "alternativas" y valor saludable previo a la lesión durante la rehabilitación tras una lesión de rodilla: estudio de caso en un futbolista masculino de élite.



Fuente: elaboración propia.

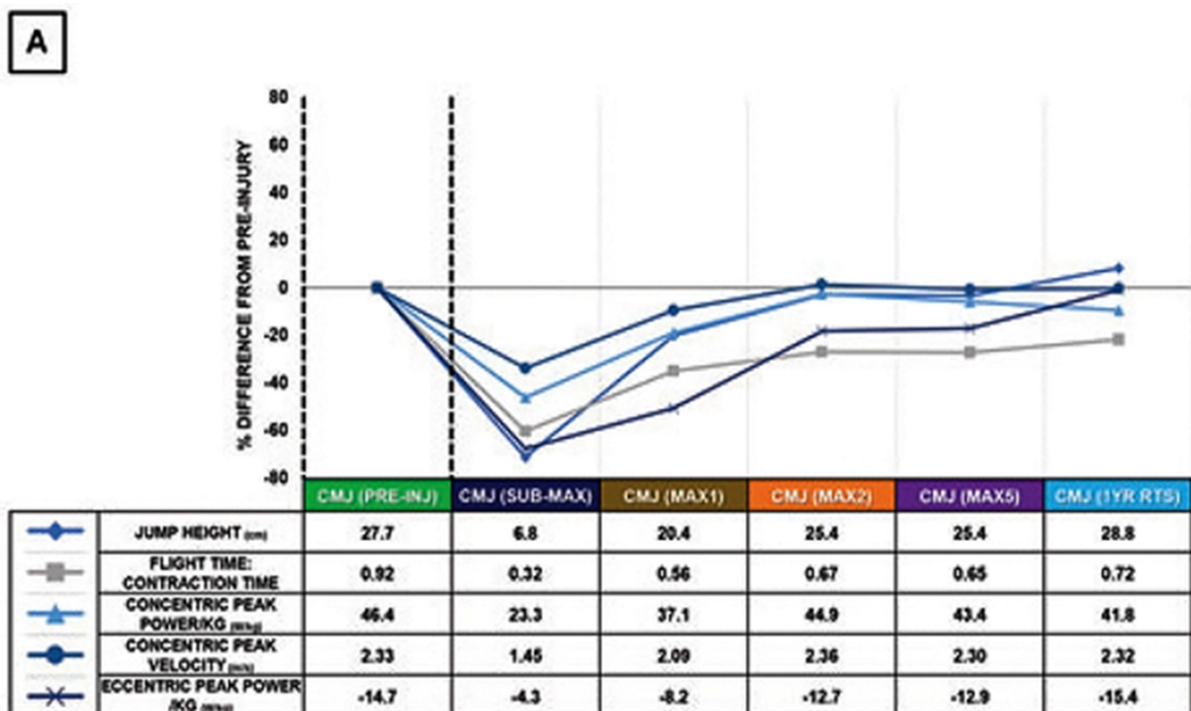
Media de 3 ensayos de DL-CMJ realizados en tres puntos temporales: Sano=evaluación "de referencia" del deportista sano antes de la lesión; Rehabilitación 1= primera autorización para realizar saltos durante la rehabilitación; Rehabilitación 2= aproximadamente 6 semanas después de la rehabilitación 1, antes de la transición a un cambio de dirección a mayor velocidad.

Jump height (flight time)	Altura del salto (tiempo de vuelo)
Peak power	Potencia máxima
Flight time: contraction time	Tiempo de vuelo: tiempo de contracción
Eccentric deceleration RFD	Desaceleración excéntrica RFD
Healthy	saludable
Rehab	Rehabilitación

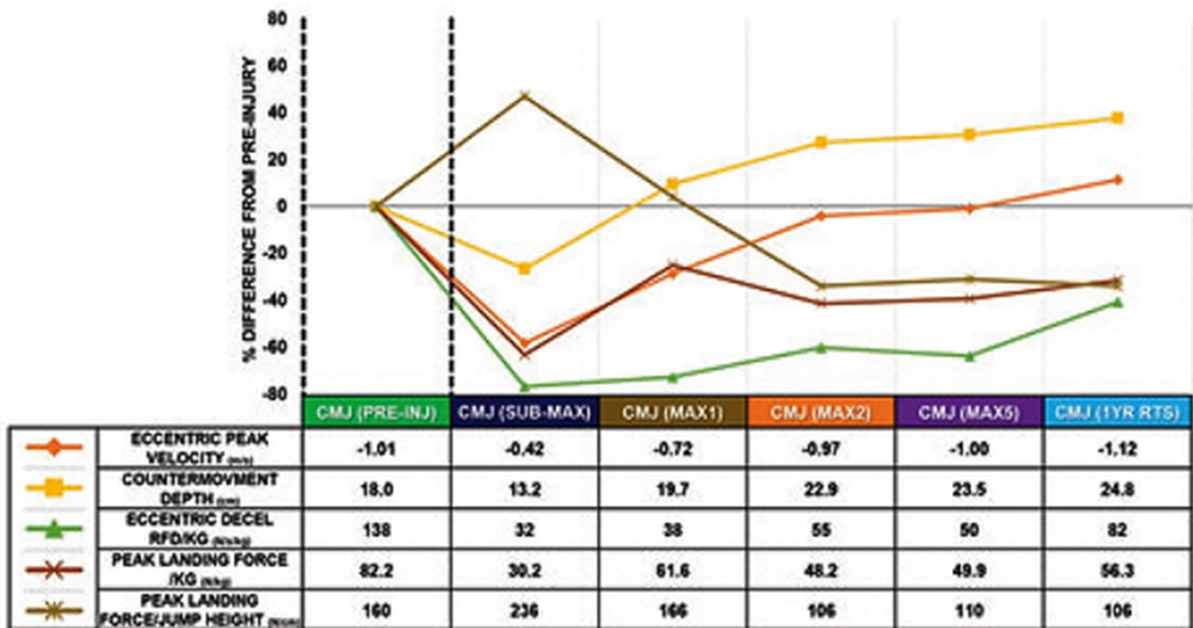
Los déficits en altura de salto y potencia pico concéntrica (es decir, en relación con los valores de referencia sanos) fueron del -12 y -4% respectivamente, mientras que los déficits correspondientes en FT: CT y RFD de desaceleración excéntrica fueron del 27% y 41%, respectivamente. En este caso, la cinética CMJ identificó déficits / progresos divergentes en cualidades neuromusculares no expresadas en resultados típicos como la altura del salto y la potencia pico concéntrica.

En la figura 8, a continuación, se muestran los datos de DL-CMJ de una jugadora de élite antes de la lesión, en varios puntos temporales durante la rehabilitación y después del regreso (Taberner et al., 2020). Las métricas dentro de las pruebas muestran una amplia gama de magnitudes de déficit en relación con antes de la lesión son evidentes en la primera evaluación (submáximo), y diferentes trayectorias de recuperación a partir de entonces. Las tendencias en cada evaluación se consideran junto con otras métricas de fuerza e impulso - con total, implicado-no implicado e ILA % (por ejemplo, figura 10 a continuación) - y en el contexto de las demandas de carga de la fase previa y posterior (como se ha comentado anteriormente). Nótese que ciertas métricas no volvieron a los valores previos a la lesión incluso después de 1 año post-RTS; FT: CT, profundidad CM, desaceleración excéntrica RFD, altura absoluta y de salto en relación con la fuerza máxima de aterrizaje. La relevancia de esto se discute más adelante. Desaceleración excéntrica RFD

Figura 8: Métricas bilaterales DL-CMJ durante la rehabilitación tras la LCA-R - Tendencias en valores seleccionados en relación con los valores previos a la lesión: Estudio de caso Futbolista de élite



B



Media de 3 pruebas de DL-CMJ. Los puntos de tiempo previos a la lesión fueron 2 meses antes de la lesión (en temporada), pruebas submáximas y máximas realizadas aproximadamente una vez al mes a partir de 4 meses después de la lesión.

Fuente: Taberner et al., 2020.

Jump height (flight time)	Altura de salto (tiempo de vuelo)
Flight time: contraction time	Jump height (flight time)
Concentric peak powering	Fuerza máxima concéntrica
Concentric peak velocity	Fuerza máxima concéntrica
Eccentric peak power	Ecc Potencia máxima
Difference from pre-injury	Diferencia respecto a antes de la lesión
Pre inj	Pre inj

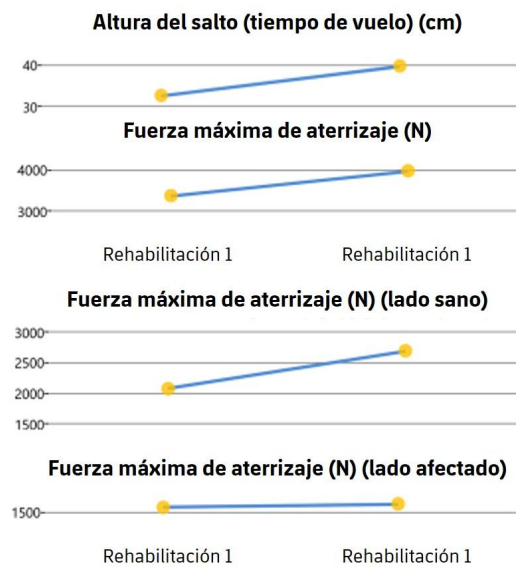
Sub max	Sub max
Max	Max
Eccentric peak velocity	Con Velocidad punta
Countermovement depth	Profundidad del contramovimiento
Eccentric decal RFD	Desaceleración excéntrica RFD
Peal landing force	Fuerza máxima de aterrizaje
Peak landing force/jump height	Fuerza máxima de aterrizaje/altura de salto

Salidas individuales de las extremidades "frente a" ILA

En la monitorización de la DL-CMJ (y otras pruebas de DL), a menudo se pasan por alto las tendencias de los valores absolutos de fuerza, RFD e impulso de las extremidades individuales, centrándose en el producto de estos datos, la asimetría (ILA) %. En la R-RTS, una vez que se dispone de 2 puntos temporales (es decir, en la monitorización longitudinal), los datos brutos a partir de los cuales se calculan las asimetrías -valores de las extremidades implicadas y no implicadas- también deben tenerse en cuenta, junto con los valores totales (implicadas + no implicadas) y el % de asimetría ILA. El examen de las tendencias de las extremidades implicadas y no implicadas por separado, en el contexto de los valores totales, proporciona información adicional más allá de la tendencia de la asimetría del ILA por sí sola. Considere los datos en la figura 9 abajo, mostrando las tendencias en los valores absolutos de la fuerza máxima de aterrizaje - total, miembro involucrado y no involucrado - entre dos puntos de tiempo de rehabilitación durante los cuales la asimetría de la fuerza máxima de aterrizaje aumentó de 25% a 41% - en el jugador mostrado arriba en la figura 6. También se muestran las tendencias de la altura de salto, ya que un aumento, a través de un aumento de la velocidad de aterrizaje, se espera que también aumente la fuerza de aterrizaje (impacto). Estos datos explican las tendencias de asimetría - mostrando que a pesar del aumento sustancial de la fuerza máxima total de aterrizaje, la extremidad implicada muestra valores estables. Esto sugiere que la capacidad, la voluntad de carga de la extremidad implicada en el

aterrizaje no ha progresado y la extremidad no implicada tiene que "atenuar" toda la carga adicional.

Figura 9: Evolución de la altura de salto y de la fuerza máxima de aterrizaje total e individual de las extremidades durante la rehabilitación tras una lesión de rodilla: estudio de un caso en un futbolista masculino de élite



Valores medios de 3 ensayos de evaluaciones DL-CMJ realizadas en dos momentos de la rehabilitación con un intervalo aproximado de 6 semanas.

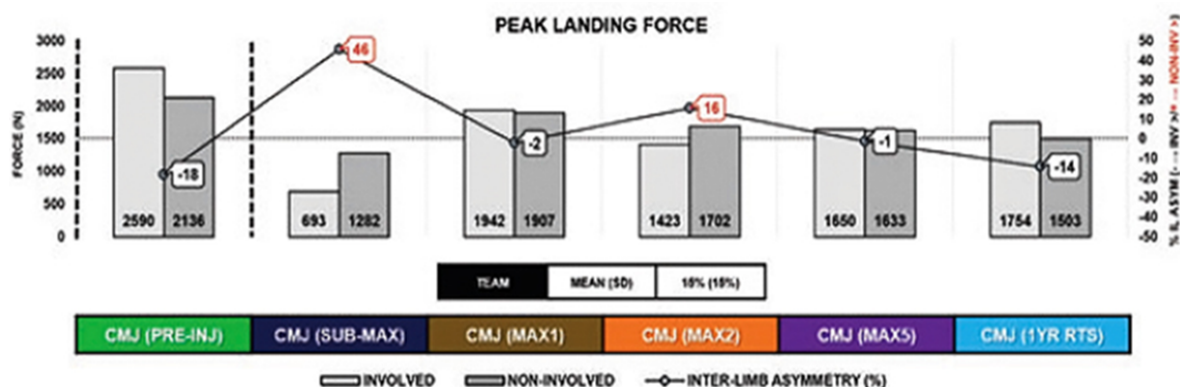
Fuente: elaboración propia.

Jump height (flight time)	Altura de salto (tiempo de vuelo)
Peak landing force	Fuerza máxima de aterrizaje
right / left	derecha / izquierda
involved side	Lado afectado
Healthy side	Lado sano
Rehab	Rehabilitación

En el caso mostrado en la figura 9, el examen de los valores individuales de las extremidades y totales de la métrica más un determinante - la altura del salto - proporciona contexto y comprensión, pero no cambiaría la conclusión alcanzada al observar un aumento de la asimetría del 25-41%. Sin embargo, en otros casos, la información adicional sí altera la interpretación de una tendencia de asimetría, particularmente cuando se consideran los ILA de fase excéntrica/descendente.

Contrasta la tendencia de la figura 9 con la que se observa a continuación en una jugadora entre una prueba submáxima en la que su altura de salto fue de 6,8 cm y su primera prueba máxima en la que saltó 20,4 cm y las fuerzas máximas de aterrizaje aumentaron de c.2000 a 4000 N. En su caso, en la prueba submáxima, mostró una gran estrategia de evitación (46% de asimetría) pero en la prueba máxima el pico de aterrizaje de su extremidad implicada había aumentado en más del 100% a (693 a 1492) y la asimetría era ahora del 2% (favoreciendo el lado implicado). El aumento de la atenuación de la carga absoluta y relativa y la reducción de la evitación son indicios de progreso.

Figura 10: DL-CMJ fuerza máxima de aterrizaje ILA% y valores de las extremidades implicadas y no implicadas antes de la lesión, durante la rehabilitación y 1 año después del regreso a la competición: Estudio de caso de una futbolista de élite.



Los valores absolutos de cada extremidad se muestran dentro de cada barra (gris claro = implicada (izquierda), gris oscuro = no implicada (derecha)). Los recuadros muestran el % de ILA y la dirección (-ve = dominancia izquierda, +ve = dominancia derecha). Equipo = media (DE) para ILA% absoluto basado en la evaluación de pretemporada.

Fuente: Taberner et al., 2020.

Peak landing force	Fuerza máxima de aterrizaje
Involved	Involucrado
Non involved	No implicado
Inter limb asymmetry	Asimetría entre extremidades
Team	Equipo

En R-RTS, uno de los factores contextuales más importantes que pueden alterar su interpretación de las tendencias en las variables y en las asimetrías es el estado del atleta y los cambios subsiguientes en el desplazamiento (altura) y la velocidad del centro de masa (COM). Esto puede observarse en la fase de aterrizaje, como se muestra en la figura 9, pero más a menudo durante la fase excéntrica/descendente del salto. A partir de la curva COM-desplazamiento-tiempo del CMJ, podemos obtener la posición COM y estimar los cambios de posición COM en eventos clave como la profundidad máxima del contramovimiento (profundidad CM) al final de la fase excéntrica/descendente. La posición del COM se alinea con la flexión máxima de la rodilla (Sahrom et al., 2021) y, por lo tanto, podemos obtener un indicador indirecto (o "proxy") de la flexión de la rodilla aunque el COM derivado del vGRF no sea específico de la articulación. Sin embargo, un cambio en la profundidad del COM podría deberse a un aumento de la flexión del tronco al final de la fase descendente sin cambios en la flexión de la rodilla, o a un cambio en la rodilla.

En el contexto de la rehabilitación, el desplazamiento (y la velocidad) del COM durante la fase descendente puede proporcionar al profesional una caracterización objetiva de los cambios inducidos por la lesión en la disposición, la confianza y la capacidad del atleta para cargar rápidamente en flexión excéntrica de la rodilla y pasar al ROM de la rodilla, y de la respuesta y recuperación de los déficits en estos a través de la vía (Taberner et al, 2020; Cohen et al, 2020). Por el contrario, una menor profundidad del CM puede deberse a una restricción deliberada para evitar el dolor en una flexión más profunda de la rodilla. La jugadora de la figura 8B muestra una profundidad de CM reducida (5 cm menos de profundidad de CM en su primera evaluación (submáxima) de DL-CMJ que en su prueba previa a la lesión al principio de la rehabilitación, debido a que limita la flexión de la rodilla - como puede observarse en la figura 8B en la jugadora.

La disminución de la velocidad pico excéntrica (VPE) se observa sistemáticamente después de una lesión. Por ejemplo, la jugadora de la figura 8 tenía una VPE previa a la lesión de 1,01 m/s, y de 0,72 en su primera DL-CMJ máxima, mientras que en la prueba submáxima fue de 0,42.

No es infrecuente observar durante la rehabilitación una tendencia que es a la vez contraintuitiva y a primera vista indicativa de un progreso deficiente; un atleta muestra una asimetría excéntrica muy baja en una evaluación temprana de la rehabilitación, y en una evaluación, tras un período de acondicionamiento la magnitud de la asimetría aumenta sustancialmente. Un ejemplo de esto se muestra en la tabla 4, en la que el % de RFD ILA de desaceleración excéntrica de un jugador aumenta del 14% al 28%, una tendencia que parece paradójica en términos del progreso observado en la altura de salto, por ejemplo. Sin embargo, el gran aumento (> 20%) en EPV, en sí mismo un marcador positivo de una mayor voluntad y confianza para descender rápidamente, crea un gran aumento en la demanda de desaceleración al final de la fase descendente/ excéntrica antes de invertir la dirección. Sin embargo, a diferencia del ejemplo anterior de la figura 9, en el que el aumento de la altura de salto ha contribuido a un aumento global de las demandas de carga y la extremidad implicada no ha asumido ninguna de las cargas adicionales, en el presente caso la implicada sí muestra un aumento de más del 10% en la RFD de desaceleración excéntrica, pero el gran aumento de la asimetría se debe a un aumento relativo mucho mayor en el lado no implicado. Por lo tanto, al tener en cuenta no solo el %ILA, sino también los datos individuales de las extremidades, la VPE, así como las demás métricas bilaterales, los conocimientos se vuelven más completos. Una que demuestra progreso en lugar de regresión, aunque con la necesidad de garantizar que la extremidad implicada recibe un estímulo de desarrollo de la desaceleración adecuado.

Tabla 4: Tendencias en el porcentaje de asimetría, valores absolutos de miembros implicados y no implicados y métricas bilaterales durante la rehabilitación posterior a la RACL: Estudio de caso de un Futbolista profesional masculino

	Miembro implicado y no implicado y ILA %.		Bilateral		
	Desaceleración excéntrica RFD	Impulso concéntrico	Velocidad (M/S)	JH (cm)	CT (ms)
Tiempo					

	Inv	Uninv	ILA	Inv	Uninv	ILA			
	N/s	N/s	%	N.s	N.s	%			
1	2063	2344	14	285	382	13	1.26	34	926
2	2457	3499	28	304	340	11	1.53	44	821

Inv=Miembro implicado; Uninv=No implicado; EPV=Velocidad pico excéntrica; JH=Altura de salto; CT=Tiempo de contracción. Tiempo 1 y 2=1ª y 2ª evaluación.

Fuente: adaptación propia de Cohen et al., 2020.

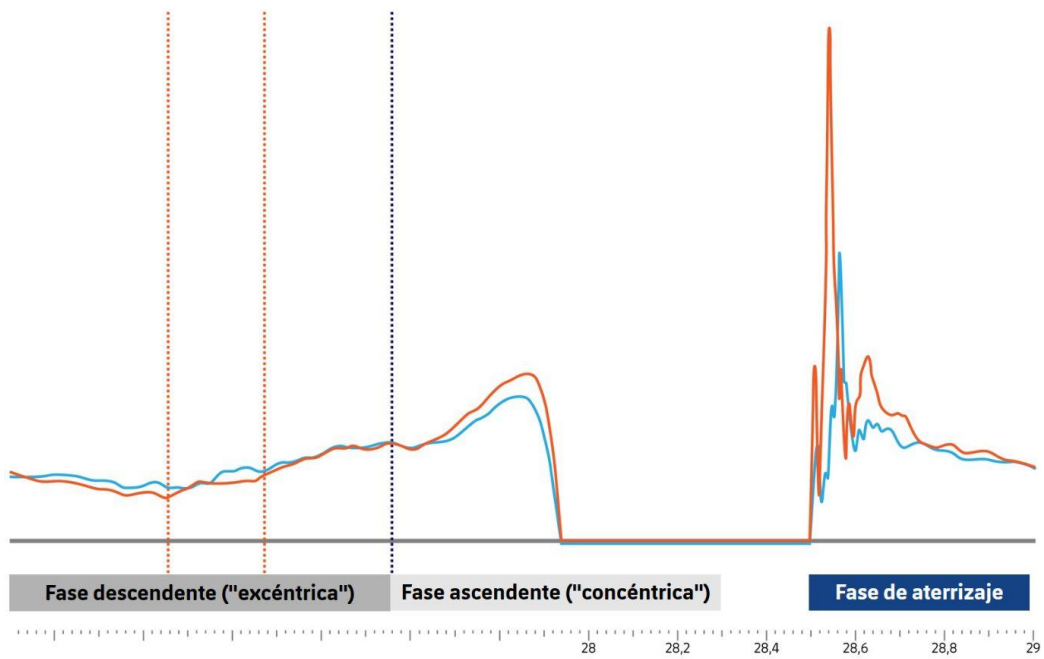
El panel izquierdo de la figura 11 muestra las curvas de fuerza-tiempo izquierda y derecha en un futbolista profesional durante la rehabilitación tras un ACLR del lado izquierdo. En la inspección visual, hay inesperadamente baja asimetría evidente y de hecho los valores de ILA para este ensayo fueron 2,7% en impulso de desaceleración excéntrica y aproximadamente 8% en desaceleración excéntrica / RFD excéntrica, que están muy por debajo de los valores medios para esas métricas en ese punto de tiempo (véase el cuadro 2 anterior). Las mayores asimetrías son evidentes en las fases concéntrica (fuerza @ pico concéntrica ILA% =19,1) y de aterrizaje (fuerza pico de aterrizaje ILA= 45,3%). De la inspección visual de las curvas fuerza-tiempo se desprende que la descompensación es limitada y que la pendiente del aumento de la fuerza desde el inicio de la fase de cesión es muy poco pronunciada, y añadiendo la curva velocidad-tiempo también es evidente un valor de EPV bajo (0,78 m/s).

Figura 11: Curva Fuerza-Tiempo y Velocidad-Tiempo en Futbolista Profesional Post-ACLR con Asimetrías Cinéticas de Fase Excéntrica Baja (Hacia Abajo).

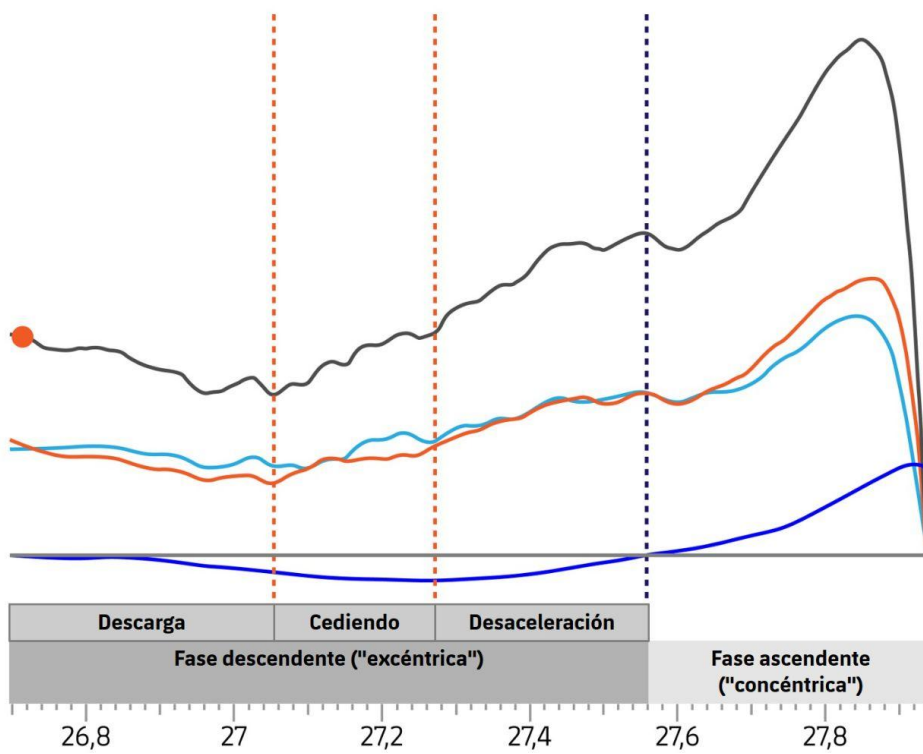
A: Curvas fuerza-tiempo izquierda y derecha

B: Más vGRF total, velocidad-tiempo

A: Curvas fuerza-tiempo izquierda y derecha



B: Más vGRF total, velocidad-tiempo



Línea azul claro = miembro implicado; naranja = no implicado; negro = vGRF total; azul oscuro = velocidad.

Fuente: elaboración propia.

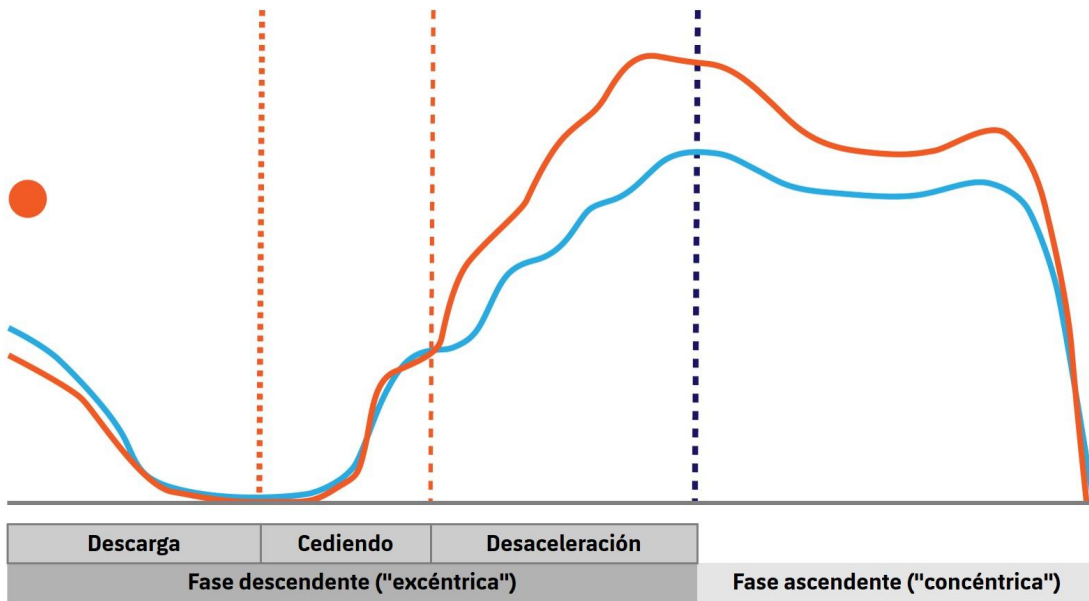
Downwards (eccentric) phase	Fase descendente ("excéntrica")
Upward (concentric) phase	Fase ascendente ("concéntrica")
Landing phase	Fase de aterrizaje
Unloading	Descarga
Yielding	Cediendo
Deceleration	Desaceleración

Esta estrategia podría explicar las asimetrías excéntricas excepcionalmente bajas: la demanda de deceleración se ha autolimitado mediante una gran reducción de la deceleración negativa (fase descendente).

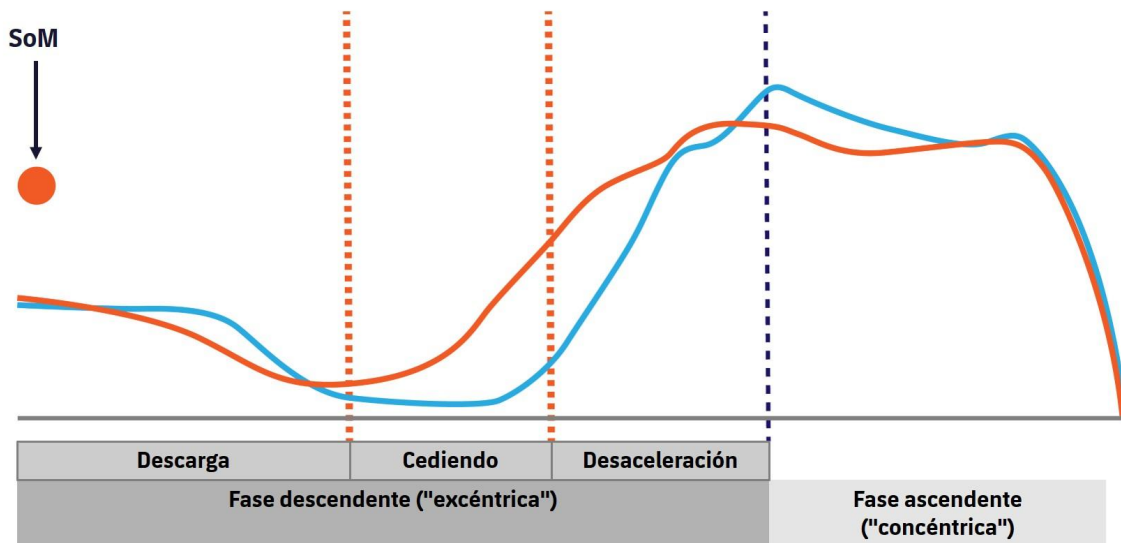
Otro aspecto de la inspección visual en la interpretación de los datos se refiere al uso de la deceleración excéntrica frente al RFD excéntrico ILA %. Como se muestra en la figura 12, esta última (de la que se informa con mayor frecuencia) se calcula como la pendiente de la fuerza (cambio de fuerza/cambio de tiempo) desde el inicio de la fase de desaceleración hasta el final de la fase descendente, mientras que la segunda comienza el cálculo de la pendiente al inicio de la fase de fluencia (que también termina al final de la fase descendente). La figura 12 muestra dos tipos de patrones de asimetría de fase excéntrica/descendente, que pueden identificarse en la inspección visual de las curvas fuerza-tiempo izquierda y derecha y que también afectarán a las dos variables ILA% mencionadas. Estos dos patrones deben reconocerse ya que, por ejemplo, el ILA puede caracterizarse completamente dentro de la RFD de desaceleración excéntrica descendente en el patrón del panel A y el impulso de desaceleración daría valores muy similares. En el patrón del panel B, la magnitud y la dirección del ILA de impulso y RFD son paradójicas (valores más altos de impulso en el lado, más altos de RFD en el lado opuesto) porque es evidente una estrategia diferente por la que se evitan altas tasas de carga a la derecha durante la deceleración más exigente teniendo una tasa más temprana y más baja, comenzando en la fase de cedencia.

Figura 12: Curvas fuerza-tiempo izquierda y derecha que muestran patrones comunes de fase excéntrica (descendente).

A: Patrón EDRFD ILA



B: E-RFD (cediendo) ILA patrón



SoM=inicio del movimiento; línea naranja= extremidad derecha, azul= extremidad izquierda.

Fuente: elaboración propia.

Consideraciones adicionales al interpretar las tendencias en el atleta lesionado

Como se ha mencionado anteriormente, nuestra interpretación de una tendencia a menudo se basa y está sesgada por nuestra interpretación de las tendencias en esa variable en el contexto del LRM del atleta sano (y la base de pruebas asociada). Existen advertencias / factores adicionales a considerar cuando se interpretan las tendencias en ellos, en un atleta lesionado. En referencia a la jugadora de élite, como se ha comentado (y se muestra en las Figuras 8A y B anteriores) su FT: CT y

la profundidad del CM se mantuvieron por debajo de los valores previos a la lesión en el RTS y en una evaluación posterior a un regreso exitoso a la competición. En jugadores sanos, una disminución de FT: CT se considera indicativo de fatiga neuromuscular residual tras la competición (Cormack et al., 2008), y se asocia con un menor rendimiento en carrera a alta velocidad (Cormack et al., 2013), y un aumento, una adaptación positiva a la carga y una mejora en la función del CSE (Lonergan et al., 2021). Sin embargo, el jugador alcanzó una nueva velocidad máxima después de regresar después de ACLR y el aumento de la profundidad CM subyacente al componente de tiempo de contracción extendida de FT: CT parece ser una alteración crónica en la estrategia de CMJ. También representa una reducción en la rigidez durante la fase descendente del salto, también mostrada en sus tendencias de fuerza de aterrizaje; pico absoluto reducido y pico relativo a la altura del salto (figura 8B). Por lo tanto, una tendencia que se interpretaría como una adaptación negativa en el atleta sano, paradójicamente, parece representar una positiva en el contexto de la rehabilitación. Debe tenerse en cuenta que esto puede ser específico de la atleta femenina, para quien las fuerzas de aterrizaje y la rigidez de aterrizaje más elevadas (en el DJ) se han asociado con un mayor riesgo de nueva lesión del LCA. Además, Collings et al (2022) descubrieron que, en las futbolistas, una mayor fuerza máxima concéntrica DL-CMJ (total, no ILA%) se asociaba con un mayor riesgo prospectivo de LCA (1ª y nueva lesión combinadas). Por el contrario, la rigidez y las fuerzas más elevadas se asociaron con un menor riesgo de nueva lesión del LCA en atletas masculinos (King et al., 2021).

El salto con contramovimiento con una sola pierna

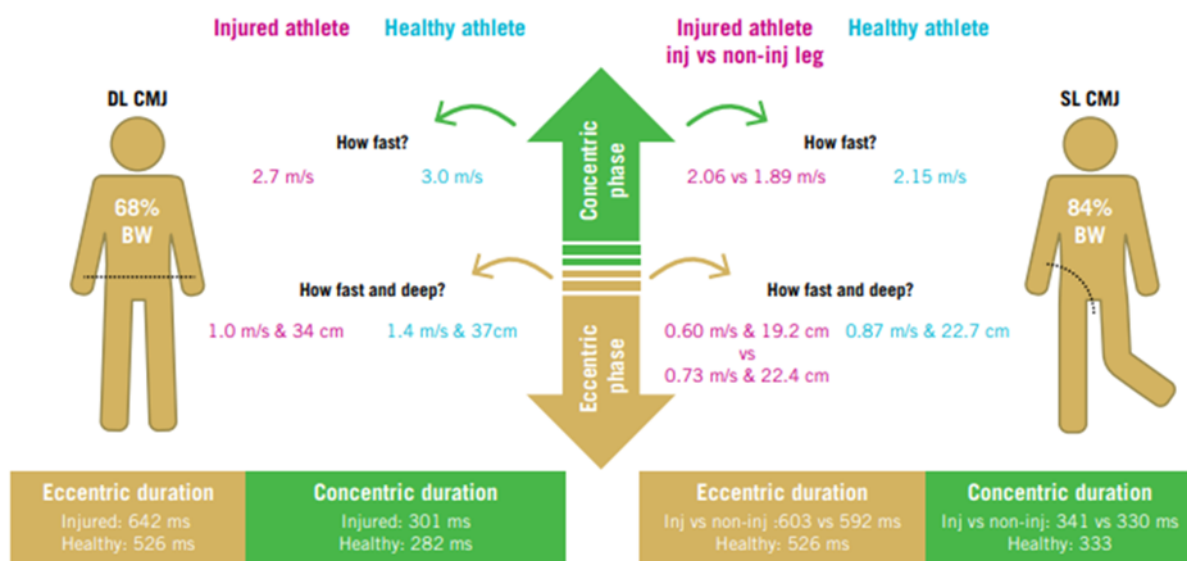
Está claro en todo el certificado que el DL-CMJ se ha convertido en la prueba principal en los entornos de alto rendimiento con plataformas de fuerza. Se ha destacado en varios lugares que la prueba de salto con una sola pierna (contramovimiento) SL-CMJ también puede proporcionar información valiosa. Sin embargo, ha recibido menos atención en este certificado, lo que está en consonancia con la investigación más limitada realizada sobre la evaluación SL-CMJ en plataformas de fuerza que examinan la ganancia potencial de información proporcionada por la cinética en la prueba sobre la proporcionada por la altura del salto solo - un enfoque clave del certificado. También se utiliza mucho menos en entornos de alto rendimiento en LRM.

Sin embargo, si no se dispone de plataformas de fuerza (duales), la asimetría no puede determinarse simultáneamente con otras métricas cinéticas y de rendimiento del COM y el % de ILA, y debe determinarse mediante evaluaciones de una sola extremidad, ya sea utilizando el CL-CMJ, el SL-DJ o las pruebas de salto. Sin embargo, si se dispone de plataformas de fuerza y se obtiene el ILA% de DL-CMJ, a menudo surge la pregunta de si el ILA% de SL-CMJ añade valor o debería utilizarse en lugar de los datos de DL-CMJ.

Fundamentalmente, la incorporación de evaluaciones adicionales se justifica sobre la base de que proporcionan información mejorada, que define mejor el estado de la lesión y clasifica con mayor precisión la preparación para el regreso, revela déficits neuromusculares / falta de progreso en las cualidades neuromusculares y puede detectar y localizar respuestas positivas y negativas a cargas específicas, para informar mejor la prescripción de entrenamiento.

Tanto el SL como el DL-CMJ son evaluaciones dinámicas de triple extensión, pero como se muestra en la figura 13, en comparación con las pruebas de salto con una sola extremidad, el DL-CMJ tiene una mayor velocidad, especialmente durante la fase descendente en atletas sanos y post-ACLR (Cohen et al., 2020). Como se destacó anteriormente, el desafío asociado con la desaceleración de la masa corporal a una mayor velocidad de fase descendente (pico excéntrico) en el DL-CMJ crea demandas que revelan ILA / déficits que pueden no manifestarse con demandas de menor velocidad - lo que sugiere que es una característica importante de la evaluación (y las evaluaciones de DJ o drop-land que crean demandas de desaceleración extrínseca en el impacto). El DL-CMJ también implica una profundidad de contramovimiento sustancialmente mayor que el SL-CMJ, lo que refleja una mayor flexión de la rodilla durante el movimiento. Esto puede explicar por qué el % ILA de la altura de salto SL-CMJ no difirió tras el injerto de rótula hueso-hueso frente a los injertos de isquiotibiales (mostrado en la cinética en el módulo Lesión, rehabilitación y RTS del LCA), mientras que sí hubo diferencias significativas en la DL-CMJ de flexión más profunda y más rápida.

Figura 13: Diferencias cinéticas seleccionadas entre DL y SL-CMJ en atletas sanos y lesionados (ACLR)



BW= peso corporal. Sanos = Futbolistas profesionales de élite sanos evaluados en pretemporada. Lesionados = Futbolistas profesionales evaluados durante la rehabilitación tras la RCA.

Fuente: Cohen et al., 2020, p. 5

Injured athlete	Atleta lesionado
Healthy athlete	Atleta sano
How fast?	¿Cómo de rápido?
How fast and deep?	¿Cómo de rápido y profundo?
DL CMJ	DL CMJ
BW	BW
Eccentric duration	Duración excéntrica
Injures/Healthy	Lesiones/Salud
Concentric duration	Duración concéntrica
Concentric Phase	Fase concéntrica
Eccentric phase	Fase excéntrica
Injured athlete inj vs. non-inj leg	Atleta lesionado pierna lesionada vs. no lesionada
inj vs. non-inj	lesionado vs. no lesionado
Healthy	Saludable

La DL-CMJ, por tanto, supone un mayor reto para las capacidades de desaceleración de alta velocidad y atenuación de la carga del atleta, mientras que, en relación con la DL-CMJ, la SL-CMJ está más hacia el extremo de fuerza de la curva fuerza-velocidad, y en particular con respecto a la fase descendente (excéntrica). El SL-CMJ también es una prueba menos "reactiva": aunque implica el ciclo de estiramiento-acortamiento, en la práctica, se suele realizar con un pequeño y lento contramovimiento y, a menudo, con una pausa al final de una breve fase

descendente: no se obtiene sistemáticamente un intercambio rápido entre la fase descendente y la ascendente y requiere más entrenamiento que para el DL-CMJ.

En el módulo de cinética en la lesión del LCA, rehabilitación y RTS mostramos que incluso la altura del salto y las asimetrías del impulso concéntrico (teóricamente el ILA más alineado) solo se correlacionaban moderadamente a nivel de grupo en futbolistas post-ACLR. Varios estudios en atletas sanos (Miras-Moreno et al., 2021; Bishop et al., 2022) también han mostrado una falta de concordancia en el ILA en diferentes pruebas de salto a nivel medio e individual - tanto en magnitud como en dirección - destacando la naturaleza "específica de la tarea" del ILA. Dadas las diferentes características de carga y velocidad de estas evaluaciones, la falta de acuerdo quizás no sea sorprendente y también la base de su inclusión, ya que proporcionan información sobre el estado y el progreso de diferentes cualidades neuromusculares (Cohen et al., 2020). Aparte de las características y demandas cinéticas, la postura DL vs. SL delimita diferentes opciones o estrategias de evitación para que el atleta reduzca la carga sobre una articulación lesionada durante y post-RTS (Roos et al., 2014; Baumgart et al., 2017; Chan & Sigward, 2019).

Asimetrías en la DL frente a la SL CMJ

Como se destacó en el módulo de cinética en la lesión del LCA, rehabilitación y RTS, las diferencias en las salidas de las extremidades izquierda y derecha y el % de ILA resultante basado en el DL-CMJ (u otra evaluación de salto DL) se han denominado "estrategias compensatorias" (Baumgart et al., 2017), así como asimetrías (Jordan et al., 2015; Read et al., 2021; Costley et al., 2023). Otra perspectiva, defendida por Benjanuvatra et al. (2013) es que las asimetrías determinadas en las pruebas de salto en DL no reflejan las "verdaderas asimetrías" y que, debido al potencial de estrategias compensatorias interlímbicas en estas evaluaciones, las asimetrías deben medirse utilizando pruebas de una sola pierna que aíslen la extremidad y permitan medir las verdaderas capacidades de producción de fuerza de la extremidad. En individuos lesionados, se han descrito compensaciones interarticulares significativas en la prueba de salto con una sola pierna que pueden enmascarar déficits en la función de la rodilla y socavar la validez del ILA % en distancia como medida de la función de la rodilla y sobreestimar el grado de recuperación (Wren et al., 2018; Kotsifaki et al., 2022a). Por el contrario, el ILA% en las salidas de rendimiento en el SL-CMJ (altura de salto) y SL-DJ (altura de salto y RSI) se han destacado como medidas más válidas y sensibles de la función de la rodilla en atletas masculinos post-ACLR (Kotsifaki et al., 2022b). Por lo tanto, las pruebas de SL per se no parecen ser universalmente superiores a la hora de identificar y cuantificar los déficits; también deben tenerse en cuenta las exigencias específicas de la prueba y la posibilidad de que las compensaciones influyan en los resultados.

Correlaciones isocinética

Los estudios informan de correlaciones significativas moderadas ($r = 0,52-0,52$) (Fischer et al., 2017) a buenas ($r = 0,73-0,79$) (Ohji et al., 2021) entre la altura SL-CMJ y el par máximo concéntrico isocinético a través de diferentes velocidades. Petschnig et al. (1998) informaron sobre la altura SL CMJ y el par máximo concéntrico isocinético del cuádriceps (Con-PT) (15/seg) ILA y la asociación entre en pacientes en dos puntos temporales post-ACLR (3 v 13 meses). La altura del SLJ mostró una correlación significativa moderada ($r = 0,51$) a los 13 meses, pero no a los 3 meses - esta correlación fue similar a la encontrada entre el Con-PT y el salto simple y triple para la distancia. Aunque hubo asimetrías significativas tanto en el Con-PT como en el SL-CMJ en ambos puntos temporales, fueron mayores en el SL CMJ en ambos puntos temporales y a los 13 meses post-ACLR. Llegaron a la conclusión de que como el ILA del SLJ era del 25,1% en comparación con el 12,8% del par máximo isocinético, el salto era más revelador de los déficits neuromusculares subyacentes. Sugirieron que la mayor sensibilidad del SL-CMJ en comparación con el IKD-PT podría estar relacionada con los requisitos de equilibrio y estabilización de la prueba, y el deterioro de estas cualidades tras la cirugía, además de los déficits de fuerza.

DL-CMJ Limitaciones/desventajas

De hecho, también hay profesionales e investigadores que excluyen rigurosamente el SL-CMJ de las baterías de pruebas debido a preocupaciones relacionadas con la variabilidad de la ejecución de la prueba y la fiabilidad de la cinética derivada de la prueba.

Además, la altura de salto en el SL-CMJ puede lograrse mediante técnicas que contribuyen a la altura de salto, pero no reflejan la potencia de la articulación de la rodilla. Mientras que el SL-CMJ, realizado con las manos en las caderas o utilizando clavijas limita una contribución variable de la parte superior del cuerpo, la posición y el movimiento de la extremidad pasiva es una fuente de variabilidad en la ejecución de la tarea - Sado et al. (2020) informan de una contribución significativa de la cadera libre a la producción de fuerza. Al justificar el uso de la DL-CMJ para medir las asimetrías de fuerza, Impellizeri et al. (2007) destacaron que los requisitos de equilibrio y estabilización de la prueba hacían de la SLJ una medida menos precisa y más contaminada de la fuerza tras el ACLR que la DL-CMJ. La inestabilidad previa al inicio de la fase descendente y la tendencia de los atletas a comenzar en una posición ligeramente flexionada y con un descenso muy lento, también dificulta el análisis cinético -por ejemplo, la detección del inicio del movimiento y, a su vez, el cálculo de la duración de las fases-, lo que dificulta el análisis detallado del movimiento.

Valores SLJ - asimetría residual

While Baumgart et al. (2017) informaron de ILA persistente SJ-CMJ en altura de salto (11,5%) en una cohorte mixta una media de 31 meses después de ACLR. Como el único estudio que compara los resultados funcionales de SL y DL-CMJ ILA y uno de los pocos que presentan cinética SL-CMJ, también presentan algunos hallazgos pertinentes adicionales. Como se destaca en el módulo de cinética en la lesión del LCA, rehabilitación y RTS, observaron que mientras que un mayor porcentaje de asimetría en varios de los ILA cinéticos DL-CMJ evaluados se asoció con una peor función autoinformada, un mayor porcentaje de ILA de altura de salto SL-CMJ no lo hizo. Tampoco encontraron diferencias significativas entre las extremidades en el impulso o el vGRF máximo, mientras que había un 16,4% y un 10,3% de asimetrías respectivamente en los ILA equivalentes DL-CMJ. Sin embargo, es importante señalar que una peor función de la rodilla se asoció con un mayor porcentaje en un ILA cinético SLJ: fuerza a velocidad cero. Esto sugiere que, al igual que para la DL-CMJ, hay una cinética de la SL-CMJ que es más reveladora de déficits residuales, un área que merece más investigación. Basándonos en los datos y observaciones del SGP-ACL, sugerimos que en el SL-CMJ, además del % de ILA (y valores absolutos) en la altura del salto y la fuerza @ velocidad cero, también deberían examinarse las tendencias en la profundidad y velocidad del CM para discernir estrategias alteradas. Además, como destacaron Cohen et al., 2020, la fuerza máxima de aterrizaje, ajustada a la altura del salto (para tener en cuenta la probable mayor altura y, por lo tanto, la velocidad de aterrizaje en el lado no implicado) es una métrica que es indicativa de un aterrizaje más rígido y asociado con una menor flexión de la rodilla (Ithurburn et al., 2019). Las reducciones en esta métrica se interpretarían como una tendencia positiva, ya que la altura del salto ajustó la fuerza máxima de aterrizaje en el DL-CMJ (como se muestra en el jugador de la figura 8B).

En conjunto, la altura de salto en la DL-CMJ puede servir como un buen indicador indirecto de la fuerza concéntrica máxima del cuádriceps y esta métrica sencilla y fácil de obtener ha demostrado ser un indicador más válido de la función de la rodilla que el rendimiento del salto horizontal y el ILA%. El DL-CMJ proporciona información detallada entre fases y, en particular, la voluntad, la capacidad y las estrategias relacionadas con la desaceleración a alta velocidad y la oportunidad de manifestar e informar sobre una combinación de capacidad + estrategias compensatorias relacionadas con la atenuación de la carga en el aterrizaje desde una altura sustancialmente mayor que en el SL-CMJ. El detalle cinético del DL-CMJ complementado con las mayores demandas de fuerza y el rendimiento aislado y el ILA% y la cinemática indirecta resaltados generarán amplias perspectivas sobre el estado y el progreso. Además, las discrepancias entre ILA en la prueba SL v DL - pueden guiar al profesional a un énfasis en ejercicios de una sola pierna o doble

pierna, ya que los déficits en la activación y las estrategias compensatorias interlimb se observan post-ligamento (Chan & Sigward, 2019; Roos et al., 2014) y lesión muscular (Bourne et al., 2016) durante ejercicios bilaterales.

Las evaluaciones suficientemente tempranas y frecuentes también permiten cuantificar la respuesta absoluta y relativa (es decir, con respecto a la extremidad implicada) de la extremidad no implicada al acondicionamiento específico del deporte y basado en el gimnasio. Las respuestas divergentes pueden reflejar estrategias/inhibición alteradas de distribución de la carga (evitación) (Roos et al. 2014) y proporcionar un indicador indirecto del grado de estímulo durante estas actividades (Taberner et al., 2020). Se reportan asimetrías cinéticas y cinemáticas en tareas de cambio de dirección (King et al., 2018), y patrones de evitación en carrera (Kotsifaki et al., 2022a) tras ACLR.

Limitación del cálculo del LSI en pruebas de una sola extremidad

En los deportes de alto rendimiento, es probable que, como mínimo, las pruebas de rendimiento físico se completen en la pretemporada y proporcionen algún tipo de datos de referencia en caso de lesión, lo que en estos entornos debería considerarse como un deber mínimo de cuidado (Cohen & Kennedy, 2021). En las ligas profesionales, un jugador sin al menos una prueba DL-CMJ de plataforma de fuerza de pretemporada se está convirtiendo rápidamente en la excepción más que en la regla. Las baterías de pruebas pueden o no incluir pruebas de salto simple o salto para proporcionar, además de las asimetrías/estrategias de compensación derivadas del DL-CMJ, una forma de caracterizar la fuerza de velocidad más lenta, y la capacidad ILA% (como se ha comentado anteriormente). En contextos deportivos juveniles con menos recursos, esto hace que la disponibilidad de la tecnología de plataformas de fuerza sea menos ubicua, y sugiere que en estos contextos la altura de salto con una sola pierna, que puede obtenerse con diversos medios de menor coste, debería considerarse un estándar mínimo de atención.

Como se destacó anteriormente, en particular en la figura 7, los datos de referencia pueden cambiar sustancialmente la interpretación del estado de un atleta con respecto a la cinética CMJ bilateral. También destacamos el potencial de clasificación errónea de los datos de DL-CMJ ILA%. Con respecto a las asimetrías calculadas a partir de datos de pruebas diagnósticas de fuerza y potencia de una sola extremidad sin puntos de referencia previos a la lesión, el profesional depende del índice de simetría de la extremidad para clasificar el estado y el progreso. Esto significa utilizar datos del miembro sano contralateral obtenidos también durante la rehabilitación. Al menos en las lesiones de larga duración que implican algún periodo de inmovilización, el LSI debe interpretarse en el contexto de que, debido a una reducción significativa de la carga específica del deporte y al acondicionamiento en el gimnasio, es probable que se haya producido un desacondicionamiento

sustancial de la extremidad no afectada. Existen pocos datos publicados que describan los datos detallados previos a la lesión de los atletas lesionados posteriormente con los que determinar la magnitud de la disminución del rendimiento neuromuscular basándose en los datos recogidos justo antes de la lesión. Sin embargo, Wellsandt et al., 2017 adoptaron un enfoque alternativo en el que compararon el índice de simetría de la extremidad (LSI %) determinado utilizando el rendimiento de la extremidad no implicada obtenido en una evaluación durante la rehabilitación 6 meses después de la ACLR con un índice calculado utilizando una prueba de la extremidad no implicada realizada después de la lesión, pero antes de la cirugía ("EPIC %"). Sus resultados ilustran el potencial para la inflación y la clasificación errónea del progreso individual utilizando el enfoque LSI de 6 meses.

Encontraron diferencias significativas entre el % de asimetría calculado utilizando datos LSI frente a datos EPIC; la única diferencia entre los dos cálculos es que el LSI utiliza el valor obtenido en la extremidad no afectada a los 6 meses y el EPIC utiliza el valor posterior a la lesión, anterior a la cirugía. Además, el EPIC clasificó a una proporción significativamente menor de pacientes como que cumplían los criterios del 90% para RTS. Y lo que es más importante, el seguimiento de los pacientes demostró que esta clasificación errónea de la preparación para el retorno tenía consecuencias clínicas; 8 / 11 que sufrieron una 2ª lesión del LCA (ya fuera ipsi- o contralateral) habían superado los criterios del LSI a los 6 meses después de la ACLR. De esos 8, solo 2 cumplían los criterios EPIC (también del 90%).

Mientras que el estudio implicó pruebas de IKD y del salto, y no implicó pruebas verticales del salto, demuestra fundamentalmente que el deconditioning en el miembro uninvolvement da lugar a una subestimación significativa de la asimetría e infla LSI que sobrestime el grado de recuperación del miembro ACL-R. También sugiere que si el profesional no tiene datos sanos de IKD previos a la lesión de un atleta que sufre una lesión del LCA, pero puede acceder al dispositivo para examinarlo periódicamente durante la rehabilitación, una evaluación previa a la cirugía podría añadir un enorme valor, en términos de una mejor estimación de su ILA. Dada su asociación con la fuerza isocinética extensora concéntrica, la evaluación del salto vertical con una sola pierna (SLJ) en ese momento también podría mejorar la precisión del cálculo posterior.

Como se describió anteriormente, (Cohen et al., 2020) los autores atribuyen a la posibilidad de incluir ambos dentro de una línea de base / pantalla de referencia. Comprender los conocimientos que pueden aportar las pruebas, así como sus ventajas y limitaciones prácticas, es fundamental para tomar decisiones sobre su uso. La DL-CMJ, pero no la SL-CMJ, se realizaría regularmente como parte de la LRM durante la temporada en el atleta sano, pero en el caso de una lesión de rodilla -ligamento o tendón- se realizarían de nuevo ambas evaluaciones, la DL-CMJ como

prueba principal durante el proceso de rehabilitación y la SLJ podría realizarse de nuevo a intervalos menos frecuentes. Potencialmente, para denotar la posibilidad de que se realice el SL-DJ en lugar del SLVJ, y el DJ, al menos en pretemporada. En términos de riesgo de nueva rotura del LCA, al menos en atletas masculinos, ya que las pruebas prospectivas indican que los déficits en la prueba (y en la DL-DJ, mientras que no se examinó la CMJ) se asociaron con un riesgo elevado de lesión del LCA contralateral (King et al., 2021). Sin embargo, hubo diferencias triviales y no significativas con respecto al SL-CMJ o al LSI de la prueba de salto.

Referencias

- Akenhead, R., & Nassis, G. P. (2016). Training Load and Player Monitoring in High-Level Football: Current Practice and Perceptions. *International journal of sports physiology and performance*, 11(5), 587–593. <https://doi.org/10.1123/ijpspp.2015-0331>
- Arden, C. L., Taylor, N. F., Feller, J. A., & Webster, K. E. (2013). A systematic review of the psychological factors associated with returning to sport following injury. *British journal of sports medicine*, 47(17), 1120–1126. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091203>
- Arden, C. L., Glasgow, P., Schneiders, A., Witvrouw, E., Clarsen, B., Cools, A., Gojanovic, B., Griffin, S., Khan, K. M., Moksnes, H., Mutch, S. A., Phillips, N., Reurink, G., Sadler, R., Silbernagel, K. G., Thorborg, K., Wangensteen, A., Wilk, K. E., & Bizzini, M. (2016). 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. *British journal of sports medicine*, 50(14), 853–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278>
- Barris, S., & Button, C. (2008). A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 38(12), 1025–1043. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00006>
- Baumert P, Lake MJ, Stewart CE, Drust B, Erskine RM. (2016) Genetic variation and exercise-induced muscle damage: implications for athletic performance, injury and ageing. *Eur J Appl Physiol.* 2 Sep;116(9):1595-625. doi: 10.1007/s00421-016-3411-1.
- Beardmore, A. L., Handcock, P. J., & Rehrer, N. J. (2005). Return-to-play after injury: practices in New Zealand rugby union. *Physical Therapy in Sport*, 6(1), 24-30, <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2004.04.002>
- Beato, M., Devereux, G., & Stiff, A. (2018). Validity and Reliability of Global Positioning System Units (STATSports Viper) for Measuring Distance and Peak Speed in Sports. *Journal of strength and conditioning research*, 32(10), 2831–2837. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002778>

Beato, M., De Keijzer, K. L., Leskauskas, Z., Allen, W. J., Dello Iacono, A., & McErlain-Naylor, S. A. (2021). Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance. *Journal of strength and conditioning research*, 35(9), 2616–2621. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003214>

Benjanuvatra N, Lay BS, Alderson JA, Blanksby BA. (2013). Comparison of ground reaction force asymmetry in one- and two-legged countermovement jumps. *J Strength Cond Res*;27(10):2700–7.

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

Blanch, P., & Gabbett, T. J. (2016). Has the athlete trained enough to return to play safely? The acute:chronic workload ratio permits clinicians to quantify a player's risk of subsequent injury. *British journal of sports medicine*, 50(8), 471–475. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095445>

Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F. X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British journal of sports medicine*, 51(5), 452–459. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>

Brooks, J. H., & Kemp, S. P. (2011). Injury-prevention priorities according to playing position in professional rugby union players. *British journal of sports medicine*, 45(10), 765–775. <https://doi.org/10.1136/bjism.2009.066985>

Brophy RH, Schmitz L, Wright RW, Dunn WR, Parker RD, Andrish JT, McCarty EC, Spindler KP. (2012). Return to play and future ACL injury risk after ACL reconstruction in soccer athletes from the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) group. *Am J Sports Med*. Nov;40(11):2517-22. doi: 10.1177/0363546512459476.

Buchheit, M., Samozino, P., Glynn, J. A., Michael, B. S., Al Haddad, H., Mendez-Villanueva, A., & Morin, J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of sports sciences*, 32(20), 1906–1913. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.965191>

Buchheit M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome?. *Frontiers in physiology*, 5, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>

Buchheit, M., Manouvrier, C., Cassirame, J., & Morin, J. B. (2015). Monitoring Locomotor Load in Soccer: Is Metabolic Power, Powerful?. *International journal of sports medicine*, 36(14), 1149–1155. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555927>

Buckthorpe, M., Wright, S., Bruce-Low, S., Nanni, G., Sturdy, T., Gross, A. S., Bowen, L., Styles, B., Della Villa, S., Davison, M., & Gimpel, M. (2019). Recommendations for hamstring injury prevention in elite football: translating research into practice. *British journal of sports medicine*, 53(7), 449–456. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099616>

Burgi, C. R., Peters, S., Ardern, C. L., Magill, J. R., Gomez, C. D., Sylvain, J., & Reiman, M. P. (2019). Which criteria are used to clear patients to return to sport after primary ACL reconstruction? A scoping review. *British journal of sports medicine*, 53(18), 1154–1161. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099982>

Bourne MN, Opar DA, Williams MD, Al Najjar A, Shield AJ. (2016) Muscle activation patterns in the Nordic hamstring exercise: Impact of prior strain injury. *Scand J Med Sci Sports*. Jun;26(6):666-74. doi: 10.1111/sms.12494.

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>

Chan M-S, Sigward SM. (2019). Loading Behaviors Do Not Match Loading Abilities Post anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 51(8):1626–34.

Costley JAE, Miles JJ, King E, Daniels KAJ. (2023). Vertical jump impulse deficits persist from six to nine months after ACL reconstruction. *Sports Biomech*. Jan;22(1):123-141. doi: 10.1080/14763141.2021.1945137.

Collings TJ, Diamond LE, Barrett RS, Timmins RG, Hickey JT, DU Moulin WS, Williams MD, Beerworth KA, Bourne MN.(2022). Strength and Biomechanical Risk Factors for Noncontact ACL Injury in Elite Female Footballers: A Prospective Study. *Med Sci Sports Exerc*. Aug 1;54(8):1242-1251. doi: 10.1249/MSS.0000000000002908.

Cohen DD, Burton A, Wells C, Taberner M, Diaz MA, Graham-Smith P. (2020) Single v double leg countermovement jump tests; not half an apple. *Aspetar Sports Med J*;9:34–41.

Cohen & Kennedy, 2021 NSCA

Colby, M. J., Dawson, B., Heasman, J., Rogalski, B., & Gabbett, T. J. (2014). Accelerometer and GPS-derived running loads and injury risk in elite Australian

footballers. *Journal of strength and conditioning research*, 28(8), 2244–2252. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000362>

Comfort, P., Dos'Santos, T., Beckham, G. K., Stone, M. H., Guppy, S. N., & Haff, G. G. (2019). Standardization and Methodological Considerations for the Isometric Midthigh Pull. *Strength and Conditioning Journal*, 41(2), 57-79. <http://dx.doi.org/10.1519/SSC.0000000000000433>

Coughlan, G. F., Green, B. S., Pook, P. T., Toolan, E., & O'Connor, S. P. (2011). Physical game demands in elite rugby union: a global positioning system analysis and possible implications for rehabilitation. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 41(8), 600–605. <https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3508>

Cummins, C., Orr, R., O'Connor, H., & West, C. (2013). Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43(10), 1025–1042. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>

di Prampero, P. E., & Osgnach, C. (2018). Metabolic Power in Team Sports - Part 1: An Update. *International journal of sports medicine*, 39(8), 581–587. <https://doi.org/10.1055/a-0592-7660>

Dunlop, G., Ardern, C. L., Andersen, T. E., Lewin, C., Dupont, G., Ashworth, B., O'Driscoll, G., Rolls, A., Brown, S., & McCall, A. (2020). Return-to-Play Practices Following Hamstring Injury: A Worldwide Survey of 131 Premier League Football Teams. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(4), 829–840. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01199-2>

Duthie, G., Pyne, D., & Hooper, S. (2003). Applied physiology and game analysis of rugby union. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(13), 973–991. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333130-00003>

Ehrmann, F. E., Duncan, C. S., Sindhusake, D., Franzsen, W. N., & Greene, D. A. (2016). GPS and Injury Prevention in Professional Soccer. *Journal of strength and conditioning research*, 30(2), 360–367. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001093>

Engel G. L. (1977). The need for a new medical model: a challenge for biomedicine. *Science (New York, N.Y.)*, 196(4286), 129–136. <https://doi.org/10.1126/science.847460>

Finch, N. A., Zasowski, E. J., Murray, K. P., Mynatt, R. P., Zhao, J. J., Yost, R., Pogue, J. M., & Rybak, M. J. (2017). A Quasi-Experiment To Study the Impact of Vancomycin Area under the Concentration-Time Curve-Guided Dosing on Vancomycin-Associated Nephrotoxicity. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 61(12), e01293-17. <https://doi.org/10.1128/AAC.01293-17>

Flanagan SD, Proessl F, Dunn-Lewis C, Sterczala AJ, Connaboy C, Canino MC, Beethe AZ, Eagle SR, Szivak TK, Onate JA, Volek JS, Maresh CM, Kaeding CC, Kraemer WJ. (2021). Differences in brain structure and theta burst stimulation-induced plasticity implicate the corticomotor system in loss of function after musculoskeletal injury. *J Neurophysiol.* Apr 1;125(4):1006-1021. doi: 10.1152/jn.00689.2020.

Fuller, C. W., & Walker, J. (2006). Quantifying the functional rehabilitation of injured football players. *British journal of sports medicine*, 40(2), 151–157. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.021048>

Gabbett, T. J., & Ullah, S. (2012). Relationship between running loads and soft-tissue injury in elite team sport athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 26(4), 953–960. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182302023>

Gabbett T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder?. *British journal of sports medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>

Glasgow, P., Phillips, N., & Bleakley, C. (2015). Optimal loading: key variables and mechanisms. *British journal of sports medicine*, 49(5), 278–279. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094443>

Hägglund, M., Waldén, M., & Ekstrand, J. (2005). Injury incidence and distribution in elite football--a prospective study of the Danish and the Swedish top divisions. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(1), 21–28. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00395.x>

Hägglund, M., Waldén, M., Magnusson, H., Kristenson, K., Bengtsson, H., & Ekstrand, J. (2013). Injuries affect team performance negatively in professional football: an 11-year follow-up of the UEFA Champions League injury study. *British journal of sports medicine*, 47(12), 738–742. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092215>

Herring SA, Bergfeld JA, Boyd J, et al.(2002) The team physician and return-to-play issues: a consensus statement. *Med Sci Sports Exerc*; 34 (7): 1212–4.

Hewett, T. E., Ford, K. R., Hoogenboom, B. J., & Myer, G. D. (2010). Understanding and preventing acl injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations - update 2010. *North American journal of sports physical therapy : NAJSPT*, 5(4), 234–251.

Hoppe, D. J., Truntzer, J. N., Shapiro, L. M., Abrams, G. D., & Safran, M. R. (2017). Diagnostic Accuracy of 3 Physical Examination Tests in the Assessment of Hip Microinstability. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 5(11), 2325967117740121. <https://doi.org/10.1177/2325967117740121>

Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Blanch, P., Chapman, P., Bailey, D., & Orchard, J. W. (2014). Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. *British journal of sports medicine*, *48*(8), 708–712. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092524>

Hulin, B. T., Gabbett, T. J., Lawson, D. W., Caputi, P., & Sampson, J. A. (2016). The acute:chronic workload ratio predicts injury: high chronic workload may decrease injury risk in elite rugby league players. *British journal of sports medicine*, *50*(4), 231–236. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094817>

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International journal of sports physiology and performance*, *14*(2), 270–273. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0935>

Ithurburn MP, Paterno M V., Thomas S, Pennell ML, Evans KD, Magnussen RA, et al. (2019). Change in Drop-Landing Mechanics Over 2 Years in Young Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* Sep 1;47(11):2608–16.

Jordan, M. J., Morris, N., Lane, M., Barnert, J., MacGregor, K., Heard, M., Robinson, S., & Herzog, W. (2020). Monitoring the Return to Sport Transition After ACL Injury: An Alpine Ski Racing Case Study. *Frontiers in sports and active living*, *2*, 12. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00012>

King, E., Richter, C., Franklyn-Miller, A., Wadey, R., Moran, R., & Strike, S. (2019). Back to Normal Symmetry? Biomechanical Variables Remain More Asymmetrical Than Normal During Jump and Change-of-Direction Testing 9 Months After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American journal of sports medicine*, *47*(5), 1175–1185. <https://doi.org/10.1177/0363546519830656>

King E, Richter C, Franklyn-Miller A, Daniels K, Wadey R, Jackson M, Moran R, Strike S. (2018) Biomechanical but not timed performance asymmetries persist between limbs 9 months after ACL reconstruction during planned and unplanned change of direction. *J Biomech.* Nov 16;81:93-103. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.09.021

Kotsifaki, A., Korakakis, V., Whiteley, R., Van Rossom, S., & Jonkers, I. (2020). Measuring only hop distance during single leg hop testing is insufficient to detect deficits in knee function after ACL reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, *54*(3), 139–153. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099918>

Kotsifaki A, Van Rossom S, Whiteley R, Korakakis V, Bahr R, D'Hooghe P, Papakostas E, Sideris V, Farooq A, Jonkers I. (2022). Between-Limb Symmetry in ACL and Tibiofemoral Contact Forces in Athletes After ACL Reconstruction and

Clearance for Return to Sport. *Orthop J Sports Med.* 2022a Apr 11;10(4):23259671221084742. doi: 10.1177/23259671221084742.

Kotsifaki A, Van Rossom S, Whiteley R, Korakakis V, Bahr R, Sideris V, Smith PG, Jonkers I. (2022). Symmetry in Triple Hop Distance Hides Asymmetries in Knee Function After ACL Reconstruction in Athletes at Return to Sports. *Am J Sports Med.* 2022b Feb;50(2):441-450. doi: 10.1177/03635465211063192.

Kotsifaki A, Van Rossom S, Whiteley R, Korakakis V, Bahr R, Sideris V, Jonkers I. (2022). Single leg vertical jump performance identifies knee function deficits at return to sport after ACL reconstruction in male athletes. *Br J Sports Med.* 2022 May;56(9):490-498. doi: 10.1136/bjsports-2021-104692. Epub 2022c Feb 8.

Lolli, L., Batterham, A. M., Hawkins, R., Kelly, D. M., Strudwick, A. J., Thorpe, R. T., Gregson, W., & Atkinson, G. (2019). The acute-to-chronic workload ratio: an inaccurate scaling index for an unnecessary normalisation process?. *British journal of sports medicine*, 53(24), 1510–1512. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098884>

Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., & Turner, A. (2020). Strength and Power Training in Rehabilitation: Underpinning Principles and Practical Strategies to Return Athletes to High Performance. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(2), 239–252. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01195-6>

Malone, S., Roe, M., Doran, D. A., Gabbett, T. J., & Collins, K. (2017). High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. *Journal of science and medicine in sport*, 20(3), 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.005>

Malone, S., Hughes, B., Doran, D. A., Collins, K., & Gabbett, T. J. (2019). Can the workload-injury relationship be moderated by improved strength, speed and repeated-sprint qualities?. *Journal of science and medicine in sport*, 22(1), 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.010>

McCall, A., Carling, C., Davison, M., Nedelec, M., Le Gall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2015). Injury risk factors, screening tests and preventative strategies: a systematic review of the evidence that underpins the perceptions and practices of 44 football (soccer) teams from various premier leagues. *British journal of sports medicine*, 49(9), 583–589. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094104>

Miras-Moreno S, Pérez-Castilla A, Rojas FJ, Janicijevic D, De la Cruz JC, Cepero M, García-Ramos A. (2021). Inter-limb differences in unilateral countermovement jump height are not associated with the inter-limb differences in bilateral countermovement jump force production. *Sports Biomech.* Sep 22:1-13. doi:10.1080/14763141.2021.1980091.

Myer GD, Martin L Jr, Ford KR, Paterno MV, Schmitt LC, Heidt RS Jr, Colosimo A, Hewett TE. (2012) No association of time from surgery with functional deficits in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: evidence for objective return-to-sport criteria. *Am J Sports Med.* Oct;40(10):2256-63. doi: 10.1177/0363546512454656.

Nagelli CV, Hewett TE. (2017). Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports Med*;47:221–32.

Oberhofer, K., Hosseini Nasab, S. H., Schütz, P., Postolka, B., Snedeker, J. G., Taylor, W. R., & List, R. (2017). The influence of muscle-tendon forces on ACL loading during jump landing: a systematic review. *Muscles, ligaments and tendons journal*, 7(1), 125–135. <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.1.125>

Orchard, J., & Best, T. M. (2002). The management of muscle strain injuries: an early return versus the risk of recurrence. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 12(1), 3–5. <https://doi.org/10.1097/00042752-200201000-00004>

Osgnach, C., Poser, S., Bernardini, R., Rinaldo, R., & di Prampero, P. E. (2010). Energy cost and metabolic power in elite soccer: a new match analysis approach. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(1), 170–178. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae5cfd>

Paterno, M. V., Ford, K. R., Myer, G. D., Heyl, R., & Hewett, T. E. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 17(4), 258–262. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77ea>

Pickering C, Kiely J. (2019). Do Non-Responders to Exercise Exist-and If So, What Should We Do About Them? *Sports Med*; 49(1):1-7

Pruna R, Artells R, Ribas J, Montoro B, Cos F, Muñoz C, Rodas G, Maffulli N. (2013). Single nucleotide polymorphisms associated with non-contact soft tissue injuries in elite professional soccer players: influence on degree of injury and recovery time. *BMC Musculoskelet Disord.* Jul 26;14:221. doi: 10.1186/1471-2474-14-221.

Read, P. J., Turner, A. N., Clarke, R., Applebee, S., & Hughes, J. (2019). Knee Angle Affects Posterior Chain Muscle Activation During an Isometric Test Used in Soccer Players. *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(1), 13. <https://doi.org/10.3390/sports7010013>

Reid, A., Birmingham, T. B., Stratford, P. W., Alcock, G. K., & Giffin, J. R. (2007). Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical therapy*, 87(3), 337–349. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060143>

Reid, L. C., Cowman, J. R., Green, B. S., & Coughlan, G. F. (2013). Return to play in elite rugby union: application of global positioning system technology in return-to-running programs. *Journal of sport rehabilitation*, 22(2), 122–129. <https://doi.org/10.1123/jsr.22.2.122>

Roos PE, Button K, Van Deursen RWM. (2014). Motor control strategies during double leg squat following anterior cruciate ligament rupture and reconstruction: An observational study. *J Neuroeng Rehabil*. Feb 28;11(1).

Shrier, I. (2015). Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. *British journal of sports medicine*, 49(20), 1311–1315. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094569>

Stares, J., Dawson, B., Peeling, P., Drew, M., Heasman, J., Rogalski, B., & Colby, M. (2018). How much is enough in rehabilitation? High running workloads following lower limb muscle injury delay return to play but protect against subsequent injury. *Journal of science and medicine in sport*, 21(10), 1019–1024. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.03.012>

SGP-ACL: Cohen DD, Burton A, Wells C, Mackenzie B, Richter C, Taberner M. BOSTAA conference. 2021

Stares JJ, Dawson B, Peeling P, Heasman J, Rogalski B, Fahey-Gilmour J, Dupont G, Drew MK, Welvaert M, Toohey L. (2019). Subsequent Injury Risk Is Elevated Above Baseline After Return to Play: A 5-Year Prospective Study in Elite Australian Football. *Am J Sports Med*. Jul;47(9):2225-2231. doi: 10.1177/0363546519852622.

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

Taberner M, Allen T, Cohen DD.(2019) Progressing rehabilitation after injury: consider the 'control-chaos continuum'.*Br J Sports Med*. Sep;53(18):1132-1136. doi: 10.1136/bjsports-2018-100157.

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, van Dyk N, Allen T, Jain N, Richter C, Drust B, Betancur E, Cohen DD.(2020) Physical preparation and return to performance of an elite female football player following ACL reconstruction: a journey to the FIFA Women's World Cup. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2020a Dec 1;6(1):e000843. doi: 10.1136/bmjsem-2020-000843.

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.* 2020b Oct 26;6(1):e000898. doi: 10.1136/bmjsem-2020-000898

Thornton, H. R., Delaney, J. A., Duthie, G. M., & Dascombe, B. J. (2019). Developing Athlete Monitoring Systems in Team Sports: Data Analysis and Visualization. *International journal of sports physiology and performance*, 14(6), 698–705. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2018-0169>

Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(11), 2135–2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>

Watanabe, S., Takahashi, T., Takeba, J., & Miura, H. (2018). Factors associated with the prevalence of back pain and work absence in shipyard workers. *BMC musculoskeletal disorders*, 19(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-1931-z>

Weiler, R., Monte-Colombo, M., Mitchell, A., & Haddad, F. (2015). Non-operative management of a complete anterior cruciate ligament injury in an English Premier League football player with return to play in less than 8 weeks: applying common sense in the absence of evidence. *BMJ case reports*, 2015, bcr2014208012. <https://doi.org/10.1136/bcr-2014-208012>

Wren TAL, Mueske NM, Brophy CH, Pace JL, Katzel MJ, Edison BR, Vandenberg CD, Zaslow TL. (2018). Hop Distance Symmetry Does Not Indicate Normal Landing Biomechanics in Adolescent Athletes With Recent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* Aug;48(8):622-629. doi: 10.2519/jospt.2018.7817.

Wellsandt E, Failla MJ, Snyder-Mackler L. (2017). Limb Symmetry Indexes Can Overestimate Knee Function After Anterior Cruciate Ligament Injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* May;47(5):334-338. doi: 10.2519/jospt.2017.7285.

Zambaldi, M., Beasley, I., & Rushton, A. (2017). Return to play criteria after hamstring muscle injury in professional football: a Delphi consensus study. *British journal of sports medicine*, 51(16), 1221–1226. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097131>

