

# **APLICABILIDAD DEL ENTRENAMIENTO INTERVÁLICO DE ALTA INTENSIDAD EN LA REHABILITACIÓN DEPORTIVA DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.**

## **APPLICABILITY OF HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING IN SPORTS REHABILITATION OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT.**

*Jimmy Esneider Cardona Rivera, Alejandro Yepes Gómez, Michael Stiven Vinasco García del programa Fisioterapia,  
Fundación Universitaria María Cano, alejan-dro-999@hotmail.com, maicolami@hotmail.es,  
jimmyesneidercardona@gmail.com.*

### **Resumen**

La rehabilitación deportiva tiene como objetivo principal la reincorporación del atleta a las diferentes situaciones reales de juego, por lo tanto, es necesario conocer los aspectos tácticos, técnicos y fisiológicos presentados en los deportes, principalmente en aquellos con características de oposición y de oposición-invasión, o clasificados como juegos deportivos y deportes de combate. En este orden de ideas vamos a demostrar la aplicabilidad del entrenamiento cardio HIIT dentro de un proceso de rehabilitación deportiva, teniendo en cuenta su impacto en la fisiología de los sistemas implicados en los esfuerzos aeróbicos y anaeróbicos presentados en los deportes antes mencionados. Una vez identifiquemos las respuestas, adaptaciones y modificaciones que genera el entrenamiento cardio HIIT en los sistemas implícitos en el ejercicio, correlacionaremos esta información con los protocolos actuales de rehabilitación deportiva para prescribirlo según la planificación y organización de un macrociclo de entrenamiento, con el fin de utilizarlo como eslabón entre el entrenamiento aeróbico convencional y el trabajo de campo característico de la competencia.

### **Palabras clave.**

Entrenamiento, rendimiento, salud, fisiología, intensidad aeróbica.

### **Abstract.**

Sports rehabilitation has as main objective the reincorporation of the athlete to the different real situations of play, therefore, it is necessary to know the tactical, technical and physiological aspects presented in sports, mainly in those with characteristics of opposition and opposition-invasion. In this order of ideas we will demonstrate the applicability of HIIT cardio training within a sports rehabilitation process, taking into account its impact on the physiology of the systems involved in the aerobic and anaerobic efforts presented in the aforementioned sports. Once we identify the answers, adaptations and modifications that the HIIT cardio training generates in the systems implicit in the exercise, we will correlate this information with the current protocols of sports rehabilitation to prescribe it according to the planning and organization of a training macrocycle, in order to use it as a link between conventional aerobic training and field work characteristic of the competition.

### **Keywords.**

Training, performance, health, physiology, aerobic intensity.

## **INTRODUCCIÓN.**

En la actualidad el deporte y lo que éste implica sobre la salud y por ende la competencia ha sobrellevado a pensar y ejecutar estrategias idóneas de entrenamiento que perpetúen, establezcan y generen cambios desde la fisiología humana y consiguientemente el rendimiento deportivo. Específicamente estamos hablando de que si bien el deporte lleva a obtener beneficios en cuestiones de salud, es ésta misma salud la que tiene que ser valorada dentro de los programas de entrenamiento deportivo, ya que si bien la actividad física de tipo competitivo conlleva a establecer beneficios morfo-estructurales al atleta, durante los procedimientos de planificación, organización y ejecución de un plan de entrenamiento, éste tiene gran probabilidad de sufrir algún tipo de lesión o disfunción corporal que se traduce en un retroceso adaptativo desde el ámbito físico dentro de dicha planificación. Este hecho sobrepone la posibilidad de preservar en la medida de lo posible el bienestar del deportista, y si es el caso en el que éste se vea subyugado a un proceso lesional, de plantear la mejor manera de rehabilitación para reducir tiempos de recuperación, disminuir costos de la misma y llevar a cabo mecanismos de independencia deportiva efectivos. Esta disyuntiva entre salud y rendimiento se ve reflejada cuantitativamente, dado que, y tomando como ejemplo el fútbol, en la actualidad se reportan 300 esfuerzos de intensidad por partido acompañados de recorridos entre 10 y 14 kilómetros, lo que sugiere todo tipo de fatiga que se constata en un mayor índice de lesiones. Se evidencia entonces, que encontramos deportistas más veloces y resistentes pero más lesionables en comparación con décadas anteriores en donde eran menos veloces y resistentes pero más saludables. Es acá en donde la biología permite identificar como el entrenamiento modifica entre otros los tipos de fibras musculares y cómo esto incide sobre las estructuras musculoesqueléticas que brindan estabilidad y movimiento.

En situaciones mucho más particulares, la cuestión de la rehabilitación no está en el simple hecho de disminuir dolor o ganar movilidad y por ende fuerza, pues la complejidad radica en la apropiación del momento adecuado de la readaptación deportiva y la manera a través de la cual se puede hacer una intervención holística e integral que desde la parte anatómica y funcional haya una recuperación del movimiento; y que a su vez desde la parte psicológica se genere la seguridad y confianza suficiente para el empoderamiento de la práctica y posterior competencia deportiva.

Es por esto que los fisioterapeutas a diario se ven enfrentados a rehabilitar lesiones deportivas desde estadios iniciales en donde es necesario preservar las estructuras comprometidas. Para ello utilizan ejercicios aeróbicos en donde la baja intensidad y los altos volúmenes son su principal característica. Posteriormente y según el protocolo, la rehabilitación va enfocada a mejorar los niveles de fuerza a través de ejercicios anaeróbicos. Lo anterior dice, que se respetan los procesos de curación de los tejidos y que por consiguiente se fortalecen los músculos que protegen las estructuras lesionadas, sin embargo consideramos necesario utilizar esfuerzos mixtos que mantengan lo ganado aeróbica y anaeróbicamente y que además generen una predisposición fisiológica para afrontar las exigencias propias de los deportes de oposición y de oposición/invasión. Es ahí en donde se genera el interrogatorio

de ¿cuál es la correcta prescripción del entrenamiento cardio HIIT dentro de un proceso de rehabilitación deportiva?

El objetivo de este trabajo es:

- Demostrar la aplicabilidad de un entrenamiento interválico de alta intensidad dentro de un proceso de rehabilitación deportiva.
- Establecer las diferencias entre ejercicio cardiovascular de resistencia moderada, con el entrenamiento de intervalos de alta intensidad “cardio HIIT”.
- Reconocer la importancia del entrenamiento cardio HIIT dentro de un programa de rehabilitación deportiva.
- Comprender la prescripción del ejercicio cardio HIIT dentro de un macrociclo de entrenamiento.

Este trabajo es producto resultado de un estudio de caso como soporte para el requisito de trabajo de grado y lleva como nombre: Aplicabilidad del entrenamiento interválico de alta intensidad en la rehabilitación deportiva del ligamento cruzado anterior.

#### **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA O TEMA.**

Los fisioterapeutas en la rehabilitación deportiva deben realizar tratamientos enfocados hacia las situaciones reales de juego, las cuales exigen los sistemas aeróbicos y anaeróbicos, no obstante, es en esta situación en donde la prescripción del ejercicio se hace difícil, dado que hay que llevar al deportista a su realidad, pero además hay que cuidar y preservar las estructuras lesionadas, por tanto debemos iniciar con ejercicios aeróbicos convencionales y ejercicios de resistencia a la fuerza utilizando intensidades bajas y repeticiones altas. Posteriormente se invierten los componentes de la carga en donde buscamos mejorar la fuerza máxima para generar hipertrofia y proteger los tejidos lesionados teniendo presente los mecanismos de lesión.

La presente monografía busca prescribir el entrenamiento cardio HIIT en el momento adecuado del proceso de recuperación con el fin de unificar el entrenamiento aeróbico y de fuerza con los ejercicios precompetitivos y competitivos utilizando la planificación del entrenamiento deportivo como base para interconectar las cargas. Todo lo anterior está sustentado bajo las modificaciones que se generan en la fibra muscular según el estímulo realizado, dichas modificaciones afectan el tipo de fibra y su incidencia sobre el rendimiento y la salud del deportista.

Realizar una rehabilitación deportiva bajo fundamentos teóricos biológicos y fisiológicos va a permitir que el entrenamiento de una capacidad se mantenga y mejore mientras la otra se potencie porque de lo contrario sería contraproducente, generando recidivas y disminuyendo su nivel competitivo. Consideramos que el entrenamiento cardio HIIT es un método que nos permite enlazar las diferentes fases de la rehabilitación deportiva.

## **REVISIÓN DE LITERATURA.**

A continuación se presentará una revisión literaria de temas correspondientes a la rehabilitación del LCA y el cardio HIIT, y así mismo se enfocará en los cambios fisiológicos que este tipo de entrenamiento produce cuando se ejecuta dentro de un plan de entrenamiento. Este tipo de metodología permitirá contextualizar la manera y el modo del por qué aplicar cardio HIIT dentro de la rehabilitación del LCA conllevando a una adaptación y readaptación deportiva más segura y que optimice las capacidades de los deportistas tras el tiempo estimado de incapacidad que produce este tipo de lesión.

### **1.**

#### **Cambios fisiológicos del cardio Hiit en el organismo.**

En el campo deportivo las lesiones son un mal común que afecta a todo deportista, su incorporación depende de una pronta intervención y rehabilitación. En la rehabilitación deportiva intervienen el tiempo de recuperación como factor principal, cada día que se tiene un deportista fuera de su deporte significa mayor des acondicionamiento, generando mayor dificultad para el deportista volver al nivel competitivo y coger el ritmo de juego; esto significa más trabajo para su entrenador y pérdidas para su equipo. Por tales motivos surgió la necesidad de implementar dentro de los programas de rehabilitación deportiva un método eficiente en el tiempo, que proporcione adaptaciones cardio vasculares, fisiológicas, metabólicas y hormonales. Dada la necesidad encontramos en el cardio a intervalos HIIT (High Intensity Interval Training) o entrenamiento en intervalos de alta intensidad; un abordaje directo para satisfacer esta demanda. Pero ¿qué es el cardio HIIT o cardio a intervalos? El siguiente estudio nos dice que: “Aunque no existe una definición universal, HIIT generalmente se refiere a sesiones repetidas de ejercicio intermitente relativamente breve, a menudo realizado con un esfuerzo "total" o en una intensidad cercana a la que provoca  $VO_{2\text{ pico}}$  (es decir,  $\geq 90\%$  de  $VO_{2\text{ pico}}$ ). Dependiendo de la intensidad del entrenamiento, un solo esfuerzo puede durar desde unos pocos segundos hasta varios minutos, con múltiples esfuerzos separados por unos minutos de descanso o ejercicio de baja intensidad” (Gibala & McGee, abril de 2008 ).

Revisando diferentes estudios encontramos que el cardio a intervalos logra alcanzar niveles de adaptación al ejercicio en un corto periodo de tiempo y con un volumen de trabajo muy bajo, convirtiéndose en un método de entrenamiento eficaz para lograr metas a corto plazo; caracterizándose por alcanzar varios picos durante un ciclo anual; mejorando las capacidades tanto aeróbicas como anaeróbicas en los deportistas; aunque por su intensidad las mejoras se generarían partiendo de adaptaciones propias del ejercicio anaeróbico. (Sheykhlovand, Khalili, Agha-Alinejad, & Gharaat, 2016). Aunque el cardio a intervalos es un ejercicio tipo anaeróbico (por la intensidad en la que se ejecuta  $\geq 90\%$  de  $VO_{2\text{ pico}}$ ), encontramos que el HIIT, es mucho más que eso, compararse con el ejercicio aeróbico o resistencia convencional, debido a que aumenta y mejora la capacidad de transportar

y utilizar el oxígeno y la actividad máxima de enzimas mitocondriales en el músculo esquelético (Laursen P. y., 2002).

Pero realmente ¿si son comparables estas modalidades de ejercicio cardiovascular? Diferentes autores nos hablan de utilizar ejercicio a intervalos de alta intensidad, para generar adaptaciones comparadas al ejercicio de resistencia (Gibala & McGee, abril de 2008). Visto esto sí son comparables además de complementarias dentro de los programas de entrenamiento ambas modalidades de ejercicio cardiovascular. Ahora examinemos de qué tipos de adaptaciones hablan y donde surgen tales varianzas:

A nivel del musculo esquelético se encontró una mayor capacidad oxidativa muscular debido al aumento de proteínas enzimáticas mitocondriales como la citrato sintasa y la citocromo oxidasa de un 15% a 35% que varía de aproximadamente 15% a 35% (Burgomaster, 2005).

La validez de este hallazgo la podemos encontrar en estudios a las diferentes modalidades de entrenamiento Hiit vs entrenamiento de resistencia donde ambos entrenamientos indujeron adaptaciones en el rendimiento y en la capacidad oxidativa del músculo esquelético, y todo esto teniendo en cuenta que el volumen de trabajo para el cardio Hiit fue un 90% menor que el utilizado para el entrenamiento de resistencia (Gibala M. J., 2006). Lo que sugiere que el cardio a intervalos es un ejercicio eficiente en el tiempo pudiéndose acoplar a la rehabilitación acortando los tiempos de incorporación a la práctica deportiva, generando por sí mismo adaptaciones fisiológicas que pudieron comprometerse por la inactividad y que verán altamente compensadas en el transcurso de solo unas cuantas semanas.

Pudiendo decir que el cardio Hiit, aumenta la cantidad de unas enzimas y utilización de otras enzimas, que mejoran la eficiencia y producción de fuentes de energía; a través de proteínas que facilitan el transporte de sustratos energéticos, así como hormonas que facilitan el metabolismo de ácidos grasos o carbohidrato que normalmente están asociados con el entrenamiento de resistencia tradicional, facilitando la generación de energía, la quema de grasa o quema de calorías en general, incluido un mayor contenido de glucógeno en reposo y una tasa reducida de utilización de glucógeno (Gibala & McGee, abril de 2008 ). Esto último es de resaltar pues el aumento de peso por la inactividad es un lastre para el deportista y el entrenador, es una de las barreras generada por el des acondicionamiento, y un factor muy importante que limita el rendimiento en la mayoría de deportes.

La eficiencia de estos procesos de utilización de energía se da gracias a la mitocondria. Esta organela celular se ve beneficiada aumentando en tamaño y numero, siendo comparadas a adaptaciones que solo conocíamos en el ejercicio de cardio convencional o de resistencia de tipo aeróbico. Estudios demuestran que existen un aumento en reguladores de la biogénesis mitocondrial y transcripción de genes mitocondriales; como la proteína PGC-1 $\alpha$ , que actúa en la respuesta adaptativa y capacidad de realizar ejercicio de resistencia prolongada (Gibala J. P., 2010). Dejando claro que el cardio a intervalos no solo genera adaptaciones comparadas con el ejercicio de resistencia sino que aumenta la capacidad para soportar la fatiga y realizar actividad física por más tiempo.

También encontramos evidencia sobre aumentos en la testosterona libre gracias al cardio a intervalos. La testosterona que es la principal hormona esteroidea que promueve el crecimiento muscular, mejora

la potencia y eficiencia en el ejercicio, acelera la recuperación de los músculos, pudiendo entrenar más y descansando menos, por lo que obtendría mayor rendimiento en el deportista (Peter Herber, 2017).

Cuando hablamos del cardio a intervalos la mayoría de personas aparte de desconocer sus beneficios encuentran en él un ejercicio que, por su intensidad podría ser nocivo para la salud del corazón, aunque varios estudios refutan dicha información. Muchos estudios sugieren que realizar ejercicio a intensidades moderadas es suficiente para reducir el riesgo de enfermedad cardiovascular, pero existen hallazgos de que en hombres de mediana edad, es mejor para la salud del corazón ejercicio vigoroso para lograr protección (Wisløff, Ellingsen, & Kemi, 2009). Como sabemos los deportistas de alto rendimiento han aumentado las dimensiones de su corazón, gracias a realizar el ejercicio a intensidades relativamente alta, mejorando así la función cardiaca (Cox ML, 1986). También se demostró que el entrenamiento a intervalos aumento  $VO_2$  máx en un 18%, además de aumentar también la masa y la contractilidad del VI entre un 12% y 13% respectivamente (Slordahl SA, 2004). Otro estudio nos habla de aumentos en el  $VO_2$  máx y volumen sistólico, y que estos aumentos se generaban gracias a la intensidad en la que se realizaba el ejercicio por lo que serían mayores estos parámetros en el cardio a intervalos con respecto al ejercicio de resistencia (Helgerud J, 2007). Existe una estrecha relación en que la intensidad de la realización del ejercicio mejora notablemente el  $VO_2$  máx y este último es un notable marcador para pronosticar la enfermedad cardiovascular que cualquier otro indicador de riesgo establecido (Keteyian SJ, 2008).

Numerosos estudios demuestran que el entrenamiento a intervalos mejora la capacidad de contracción y relajación del cardiomiocito, aumentando así su fuerza independientemente de la influencia neurohormonal (Wisløff, Ellingsen, & Kemi, 2009)

El ejercicio produce un aumento sistólico y una decadencia diastólica más rápida del  $Ca^{2+}$  transitorio, todo esto es altamente beneficioso y sería proporcional con la intensidad con la que se ejecute (Kemi OJ H. P., 2005) produciendo mayor receptación de  $Ca^{2+}$  en el retículo sarcoplásmico (Kemi OJ C. M., 2008).

Aunque la liberación y re captación de calcio es fundamental para un mejor funcionamiento del corazón, esto no es el único factor que influye en su funcionamiento; un incremento en el número de cardiomiocitos y de todo el corazón, incluidas la dilatación de sus cámaras, mejoran la función de la bomba contráctil. Estos aumentos en el tamaño de sus células y su diámetro es a lo que se denomina hipertrofia fisiológica y se da en el embarazo y en periodos de entrenamiento deportivo (Wisløff, Ellingsen, & Kemi, 2009).

El entrenamiento interválico ha generado mayores resultados en la salud cardiovascular que el entrenamiento de resistencia en pacientes con síndrome metabólico (Tjonna AE, 2008). Pero a su vez otro estudio nos habla de que se deben de generar más investigaciones con pacientes con enfermedades cardiovasculares ya establecidas como: insuficiencia cardiaca, síndrome metabólico, enfermedad arterial coronaria e hipertensión arterial; ya que las investigaciones ya desarrolladas arrojan resultados positivos de los beneficios generados por el entrenamiento a intervalos sobre estas patologías

ya establecidas (Amundsen BH, 2008). Este bombardeo de información no solo deja claro que el ejercicio interválico es bueno para que el corazón aumente su tamaño (hipertrofia fisiológica), sino que este tipo de ejercicio mejorara su contractilidad y eficiencia dando como resultado un corazón más fuerte y con mejor salud.

Como pudimos comprobar el entrenamiento a intervalos ofrece adaptaciones comparadas con el entrenamiento de resistencia pero el desentrenamiento y sedentarismo puede volver a los niveles iniciales estas ganancias en tan solo un lapso de 2-4 semanas, según Kemi “el desentrenamiento ocurre más rápido que los efectos de entrenamiento. (Kemi OJ H. P., 2004).

### **Tipos de fibras musculares.**

El sistema muscular puede generar sus movimientos a diferentes intensidades y velocidades, todo esto es debido a su composición. El tejido muscular está formado por células y estas a su vez forman fibras, las cuales se distribuyen según las funciones de cada músculo. Nuestro sistema muscular puede generar contracciones para realizar movimientos de precisión y para realizar estas funciones no necesita de mucha fuerza a comparación de la necesitada para mantener la postura, todo esto se da gracias a los diferentes tipos de fibra muscular los cuales se encuentran distribuidos en diversa proporciones, otorgando una perfecta adaptación hacia las tareas para las cuales se ha organizado y desarrollado funcionalmente cada una de éstas (Bermejo, 2006). Según (Schiaffino y Reggiani, 1996) citado por Bermejo (2006), las fibras musculares son clasificadas según el tipo de miosina que contengan y la velocidad con la que se contraigan (Bermejo, 2006).

Las fibras musculares las podemos diferenciar en rojas y blancas siendo las principales características de estas: las fibras rojas o lentas tipo I poseen una coloración rojiza, otorgada por su gran capilarización, una gran resistencia a la fatiga y una respuesta lenta a los estímulos, produciendo contracciones mantenidas de baja intensidad por largos periodos de tiempo. Opuesto a esto las fibras blancas o rápidas tipo II pueden generar contracciones a una alta intensidad durante cortos periodos de tiempo, su coloración es blanquecina o pálida, con una escasa resistencia a la fatiga pero soporta altos niveles de tensión. Las fibras tipo II se dividen en IIA, IIB, IIX; aunque las fibras tipo IIB son propias en mamíferos y no se han encontrado en el ser humano y estas son en realidad fibras tipo IIX (Bermejo, 2006).

Las fibras tipo I hidrolizan más lentamente el ATP además de poseer menos abundancia de retículos sarcoplásmico por lo que tendría menor capacidad para almacenar calcio, generando así menor velocidad de contracción, además de basar su metabolismo en sistema oxidativo obteniendo el ATP del sistema aeróbico. Las fibras de tipo II poseen una velocidad de contracción de tres a cinco veces mayor que las de tipo I, con un metabolismo más glucolítico, aunque las fibras tipo IIA tendrían características más oxidativas, y las tipo IIX serían mixtas. Estas fibras (II) poseen mayor densidad de retículo sarcoplásmico lo que le permite mayor almacenamiento y liberación de calcio, permitiéndole a su vez una contracción y relajación más rápida (Bermejo, 2006).

La musculatura es capaz de adaptarse a las necesidades y tipos de entrenamiento a los que se les someta, los deportistas de élite que practican deportes de resistencia poseen un porcentaje de fibras tipo I entre un 60—65% y los deportes de fuerza tienen un aumento en las fibras tipo II superiores a un 65%. Podemos encontrar mejoras en la resistencia y la fuerza partiendo de modificaciones en la capilarización, aumento de la actividad enzimáticas (citrato sintasa, succinato deshidrogenasa) y diámetro de las fibras musculares; comprobándose que tanto las fibras tipo I como tipo II pueden hipertrofiarse. La capilarización favorece la nutrición de los tejidos y el aprovechamiento del oxígeno a nivel mitocondrial y esta organela a su vez aumenta en tamaño y en número (Bermejo, 2006).

Según (Bermejo, 2006) “Lo que determina el reclutamiento de uno u otro tipo de fibras se relaciona con la cantidad de fuerza que se requiere y no la velocidad de contracción”

### **Prescripción del entrenamiento cardio HIIT en el alto rendimiento deportivo.**

Al hablar de la prescripción del HIIT en el alto rendimiento deportivo es importante mencionar que a lo largo de la recolección bibliográfica la utilización de este método en los últimos años ha venido en un aumento en grandes proporciones desde el siglo XIX y en la actualidad existe una gran conjunto de evidencia que plasma la idea del HIIT de bajo volumen como un método de entrenamiento. Según Gibala (2012) el efecto puntual de intervenciones de entrenamiento específicas sobre el rendimiento de individuos altamente entrenados no se conoce con detalle. Esto, quizás, es entendible por varias razones prácticas. Primero, los fisiólogos del ejercicio han tenido dificultad para convencer a atletas de élite que vale la pena experimentar con sus programas de entrenamiento normales. Segundo, aun cuando atletas (y sus entrenadores) desearan modificar sus entrenamientos, los enfoques convencionales para investigar la respuesta a dosis diferentes de un tratamiento (es decir entrenamiento intervalado) utilizando diseños de medidas repetidas en las que cada atleta recibe todas la dosis diferentes, son absolutamente poco prácticos para los estudios de entrenamiento físico; los efectos a largo plazo de cualquier dosis dada de entrenamiento impiden que los atletas reciban más de una dosis del tratamiento. Sin embargo se han hallado en varios estudios los beneficios que este método tiene en el deportista. Laursen y Jenkins (2002), destacan los mecanismos potenciales responsables de un rendimiento en resistencia mejorado utilizando HIIT en atletas altamente entrenados. Por esto Fader (2013) menciona La comprensión de las posibles formas en que el HIIT puede beneficiar el rendimiento de resistencia se hace posible a través del examen de parámetros fisiológicos particulares que han sido identificados como importantes en eventos de resistencia. El  $VO_{2\text{máx.}}$ , la utilización sostenible fraccionada de  $VO_{2\text{máx.}}$ , y la economía de movimiento contribuyen al rendimiento de resistencia. La explicación de los cambios fisiológicos tanto centrales como periféricos se mencionaran más adelante; sin embargo es importante mencionar a grandes rasgos los cambios fisiológicos del deportista, Fader (2013) menciona que El atleta altamente entrenado ya posee una elevada capacidad aeróbica, y un elevado grado de adaptación en numerosas variables fisiológicas asociadas con el suministro y utilización de oxígeno. Además, las mejoras en el rendimiento de resistencia aplicando HIIT, a pesar de ser estadísticamente significativas, han sido relativamente

pequeñas (2 a 4%). Un punto es que mientras estas mejoras en el rendimiento son extremadamente importantes para el atleta de elite, pueden ser muy pequeñas para ser detectadas y explicadas estadísticamente.

### **Cambios centrales en la prescripción del entrenamiento cardio Hiit.**

Según Gibala et al. (2012) podría ser que, series cortas de alta intensidad con HIIT de bajo volumen indujeran a aumentos en el estrés celular y en los vasos periféricos, aislando eficazmente al corazón de ese estrés debido a la breve duración de las series de ejercicio. Este aislamiento central relativo, por una parte, permite a los individuos entrenar a intensidades mucho más altas de las que utilizarían de otro modo, aunque puede producir diferentes respuestas en el tiempo y cargas de estímulo efectivas entre los componentes centrales y periféricos del sistema cardiovascular; y, por otra parte, facilita una distribución mejorada del oxígeno a los músculos. Relacionado con esto último, Fader (2013), señala que dado que la frecuencia cardíaca máxima (FCmax) se mantiene sin variaciones, las mejoras en la distribución de oxígeno a los músculos pueden ser atribuidas a un aumento en el volumen sistólico. Este puede incrementarse a través de una mayor fuerza contráctil del ventrículo izquierdo y/o a través de un aumento de la presión de llenado cardíaco.

Los cambios demostrados que se dan en este método de entrenamiento son:

Consumo máximo de oxígeno: Tschakert & Hofmann (2013) señalan en su estudio que las mejoras en el VO<sub>2</sub>max se deben principalmente tanto a las adaptaciones del potencial oxidativo muscular, como al aumento de mitocondrias y actividad enzimática mitocondrial. Estos mismos autores hacen hincapié en que un estímulo óptimo de HIIT es aquel que mantiene largos períodos de tiempo por encima de 90% VO<sub>2</sub>max y que las largas duraciones de carga máxima, de 2 a 3 min, permiten acumular más tiempo en el VO<sub>2</sub> máx que el HIIT de intervalos cortos (Álvarez Fernández, Iker 2013).

Gasto cardíaco: Astrand et al. (1960), citado por Tschakert & Hofmann (2013), demostraron que con intervalos largos con duraciones de trabajo de al menos 3 min, las oscilaciones de frecuencia cardíaca (FC) eran mayores entre las fases de trabajo y recuperación (188-118 ppm) frente a intervalos cortos de 30 s de trabajo (150-137 ppm). También demuestran que el HIIT provoca mejoras en la función cardíaca a través de un aumento del volumen en el ventrículo izquierdo, produciendo una disminución de la resistencia periférica, que a su vez conlleva un mayor volumen diastólico final (VDF) y un mayor volumen sistólico (VS) (Álvarez Fernández, Iker 2013).

Tolerancia al calor: Según Álvarez Fernández, Iker (2013), la mejora en la tolerancia al calor del deportista de élite es otro mecanismo responsable, en parte, de la progresión positiva del rendimiento de resistencia realizando HIIT. El ejercicio de alta intensidad produce elevadas temperaturas centrales (~40°C) incrementando el volumen plasmático, aclimatándose así el deportista al calor. De hecho, el HIIT puede provocar una mayor tolerancia al calor en individuos físicamente activos. Esta adaptación se da a través de un aumento de la tasa de sudoración. El hecho de que los atletas entrenados posean una

capacidad mejorada para sudar, así como una mejor irrigación sanguínea, apoya a la tolerancia al calor como una posible adaptación en respuesta al HIIT (Fader, 2013).

### **Cambios periféricos en la prescripción del cardio Hiit.**

Los cambios periféricos se manifiestan específicamente en el músculo, en el consumo de las vías energéticas y en la producción y utilización del ATP:

Fosfocreatina y oximioglobina: La producción de energía a través de la resíntesis de ATP obtenido por el metabolismo aeróbico y/o anaeróbico es una de las cuestiones de mayor estudio dentro del HIIT. En la fase inicial, el oxígeno no llega a los valores de la demanda real del mismo debido al retraso de la cinética del VO<sub>2</sub>. Por lo tanto, la energía para la resíntesis de ATP debe ser obtenida por medio de oxígeno intracelular almacenado y/o a través de la vía anaeróbica. En este sentido, estos autores destacaron la importancia de la oximioglobina como almacén de oxígeno intracelular y de fosfocreatina (PC), un fosfágeno rico en energía (Álvarez Fernández, Iker 2013).

Lactato: Los estudios de Astrand et al. (1960), citado por Tschakert & Hofmann (2013), revelaron que largos intervalos de 2 ó 3 min a intensidades cercanas a la potencia en el VO<sub>2</sub> máx, provocaron altas concentraciones de lactato en sangre (niveles de 16,6 mmol/L). Contrario a esto, intervalos cortos de 30 segundos ó 1 minuto a potencia pico, provocaron una menor concentración de lactato (2 mmol/L) y fueron bien tolerados durante 1 hora. Estos datos fueron sorprendentes dado el alto volumen de trabajo a potencia pico. Por tanto, cuanto mayor sea la potencia pico a desarrollar en los intervalos, menor ha de ser el tiempo a ejecutar, lo que llevará a desempeñar un trabajo en estado estable de lactato (LASS). Además, la ventaja de realizar un ejercicio en LASS es que puede ser realizado durante más tiempo, es decir, mayor volumen de entrenamiento (Álvarez Fernández, Iker 2013).

Potencia aeróbica máxima (PAM): es indudable en que el Hiit tiene cambios en la potencia aeróbica máxima pero la variable PAM es la que menor grado de mejora obtiene en la mayoría de los estudios. Esto puede ser debido al alto nivel de entrenamiento de los sujetos al inicio de los mismos. De hecho, las mejoras más destacadas se observan en el trabajo de Bayati et al. (2011) en el que los sujetos no eran deportistas entrenados sino jóvenes activos y por tanto contaban con más margen de mejora en esta variable. Además, dada la relación directa que existe entre la mejora del VO<sub>2</sub>max y la PAM, los autores no destacan esta última debido a que ya establecen resultados respecto a la primera Álvarez Fernández, Iker (2013).

### **Biomecánica del ligamento cruzado anterior.**

El LCA comprende una cantidad diversa de funciones dentro de la capacidad mecánica y funcional de la rodilla, donde comprender su anatomía y modo de acción contribuirá a identificar en primer lugar la causa y mecanismo lesional de éste, en segundo lugar permitirá constar la gravedad de la lesión estructural de éste y por último permitirá enfocar un programa de rehabilitación holístico para la posterior vuelta a campo de los deportistas tras la lesión del LCA

Según Anetzberger H, et al y Bonfim TR et al, los ligamentos cruzados de la rodilla son los encargados de regular la cinemática articular y los «órganos sensores» que informan de la musculatura periarticular influyendo sobre la posición de las superficies articulares, la dirección y la magnitud de las fuerzas y, también, de forma indirecta, sobre la distribución de las tensiones articulares (citados en Forriol F et al, 2008).

Los ligamentos cruzados están formados por bandas de tejido conectivo denso orientadas regularmente. El LCA está rodeado por un simil-mesenterio de sinovial originado en el área intercondilar posterior de la rodilla. Por lo tanto, el LCA es "intra-articular pero extra-sinovial". La longitud promedio del LCA se encuentra entre los 31 y 38 mm con una media de 11 mm. La inserción proximal del LCA se encuentra en una fosa en forma de semicírculo en la faceta posterior de la superficie medial del cóndilo femoral lateral. El origen tiene 16 a 24 mm de diámetro con un centro de 15 mm desde la posición "over the top". La inserción distal del LCA se encuentra en una fosa en frente de y lateral a la espina tibial anterior y pasa debajo del ligamento meniscal transverso. La inserción tibial es más amplia que la femoral, 11 mm de ancho y 17 mm en la dirección antero-posterior. La orientación espacial del LCA es crítica para su función durante la movilidad articular. Normalmente, el ligamento se dirige anterior, medial, y distalmente cuando pasa del fémur a la tibia, y gira externamente 90° aproximadamente. El LCA se inserta en el fémur y en la tibia como un manojo de fascículos individuales que se abren en abanico sobre un área extensa y plana. Los fascículos se dividen en bandas anteromedial (AM) y posterolateral (PL). Con la rodilla en extensión, las bandas PL se encuentran tensas, y con la flexión máxima, las bandas AM se encuentran tensas. Las fibras del LCA son paralelas con la rodilla en extensión. Cuando se flexiona la articulación, las fibras anteriores actúan como un eje de torsión y el ligamento gira sobre sí mismo. (Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

Para el Dr. Alan D. Cooper y el Dr. Miguel A. Khoury, "la articulación de la rodilla realiza 3 movimientos de traslación y 3 de rotación. El LCA es un controlador primario de la cinética de la rodilla" (1996).

Butler y col. (JBJS 1980) determinaron que el LCA es el freno primario del desplazamiento anterior de la tibia, proveyendo el 86% de las fuerzas de resistencia (citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996). Otros estudios experimentales como el de Piziali (J Biomech 1980) han mostrado que el LCA provee resistencia al desplazamiento medial de la tibia en extensión completa y en 30 grados de flexión (citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

"Un rol secundario del LCA es la resistencia a la rotación tibial. En extensión de rodilla, esta función es más pronunciada para la rotación interna que para la rotación externa" (Lipke et al. JBJS 1981, citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

Makalf y col. (JBJS 1993) "determinaron que el ACL actúa como un estabilizador secundario durante la rotación a varo y la rotación interna en extensión en presencia de lesión compleja del ligamento

arcuado (ligamento cruzado lateral, ligamento arcuado y polplíteo)” (citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

Wroble, Grood y col exploraron el rol de estabilizadores extrarticulares en presencia de deficiencias del LCA. Los hallazgos de aumento de la traslación anterior en flexión y rotación y el incremento de la rotación interna a 90 grados fueron observados en lesiones combinadas del LCA y anterolateral. El compromiso combinado de LCA y posterolateral se asocia a mayor traslación anterior en extensión más que en flexión, incremento de la adducción y de la rotación externa en flexión y extensión (citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

Haimes, Grood y col observaron el rol de las estructuras mediales en deficiencias del LCA. Los hallazgos más importantes incluyeron: 1) aumento de la traslación anterior a 30 y 90 grados, 2) aumento de la rotación externa a 90 grados y 3) aumento de la rotación adducción a 15 grados. Estos resultados se incrementaron con la lesión adicional del complejo formado por los ligamentos oblicuo posterior y capsular medial posterior (citado en Dr. Alan D. Cooper, Dr. Miguel A. Khoury, 1996).

### **Rehabilitación del Ligamento Cruzado Anterior.**

La estabilidad funcional de la rodilla se debe en parte a la normalidad y congruencia de las estructuras óseas, pero fundamentalmente está determinada por la integridad funcional de los cuatro ligamentos mayores: cruzado anterior, cruzado posterior, colateral medial y colateral lateral. Así, las lesiones en cualquiera de estas estructuras suelen provocar una alteración o variante de la estabilidad biomecánica y funcional de la articulación. (Ramos Álvarez et al, 2008, p. 63).

Es bien sabido que las lesiones de rodilla tienen una alta incidencia dentro de la cotidianidad de las personas, y más aún si se tiene en cuenta que la lesión del LCA es una de las más frecuentes, pues “se calcula que al año 1 de cada 3.000 personas sufren una ruptura del LCA” (Miyazaki Kc, Daniel DM, Stone ML, 1991, citado en Velázquez Saornil et al, 2016). Otros informes arrojan que “una de las principales lesiones que sufre la rodilla es la ruptura del Ligamento Cruzado Anterior (LCA), con cerca del 79% de todas las lesiones en la articulación (Krause et al., 2012, citado en Ramos, A. Okubo, R, 2017, p. 129).

En el deporte son un factor predisponente de deserción deportiva (especialmente en el fútbol) e incluso de altos costos institucionales para las entidades deportivas, según la Junta Directiva de la Asociación Española de Artroscopia (2001), citado en Velázquez Saornil et al (2016) “estas lesiones son mucho más frecuentes en deportistas debido al aumento de los factores predisponentes para sufrir este tipo de lesión”. Lo anterior lo confirma Truque et al cuando dice que “en la práctica de este deporte el compromiso del LCA es una lesión altamente frecuente; el 70% se produce sin contacto debido a la desaceleración brusca con la rodilla bloqueada en extensión, con o sin cambio de dirección, o al caer después de un salto” (2014, p. 129).

Por su parte Ramos Álvarez et al indican que la lesión del LCA es una lesión muy común y que afecta en mayor proporción a las mujeres en relación con los hombres (2008, p. 63). Así mismo podemos encontrar que el mecanismo de lesión del LCA desde un punto de vista biomecánico “es la rotación del fémur sobre una tibia fija (pie apoyado) durante un movimiento de valgo excesivo o forzado (pivote). También es común la hiperextensión de la rodilla, aislada o en combinación con rotación interna de la tibia” (Ramos Álvarez, 2008, p. 64). Un estudio específicamente cuantificó la cantidad de lesiones que pueden ocurrir sobre el LCA, según (Drobnic, González, & Martínez, 2004, citado en Paredes Hernández et al, 2010) “Hay seis lesiones de ligamento cruzado anterior por cada 100 jugadores de fútbol en un periodo de cinco años” (p. 574).

Otro factor fuertemente involucrado con la incidencia de la lesión del LCA, es el equilibrio muscular entre el cuádriceps e isquiotibiales, que algunos autores consideran como un factor intrínseco, por ser una cualidad individual de la característica de las fibras y otros extrínsecos por tener una característica específica para el deporte practicado, posición y tiempo de entrenamiento (Xaverova et al., 2015, citado en Ramos, A y Okubo, R, 2017, p. 8).

Es de destacar que casi siempre la lesión del LCA está acompañada de otro tipo de lesiones en la rodilla afectada que conlleva a lesiones meniscales y/o condrales que empeoran el pronóstico de la lesión (Junta Directiva de la Asociación Española de Artroscopia (2001), citado en Velázquez Saornil et al, 2016). Del mismo modo encontramos que uno de los principales inconvenientes dentro de la rehabilitación y posterior readaptación deportiva al deporte son las recaídas, recidivas o posibles alteraciones morfoestructurales de otras partes de la rodilla después de la recuperación del LCA como lo son: daños en los meniscos, en cartílagos adyacentes u otros ligamentos (Ramos, F.J., Segovia Martínez, Martínez Melen, & Legido Arce, 2008, citado en Paredes Hernández et al, 2010).

Filbay, Crossley & Ackerman (2016), realizaron un estudio que “tuvo por objetivo evaluar e identificar los aspectos que más influenciaban la calidad de vida de los pacientes que habían sido sometidos a la reconstrucción del LCA en un periodo de 5 a 20 años de follow-up. Fueron evaluados 165 individuos con edades entre 18 a 55 años a través del cuestionario ACL-QOL. Los puntos más comúnmente identificados que influenciaban la calidad de vida, era la actividad desarrollada, las modificaciones de las actividades en el estilo de vida y el miedo a nuevas lesiones. En la evaluación de la paciente relatada en el presente estudio, los ítems que más han ejercido influencia para la baja calidad de vida detectada por la aplicación del ACL-QOL, fueron las alteraciones en el estilo de vida y principalmente el miedo a una nueva lesión; este último factor, fue decisivo para que la paciente fuese parte del 50% que desiste de su actividad deportiva, además de la presencia de lesiones asociadas instaladas en los meniscos y un cuadro de artrosis en curso (Ramos, A y Okubo, 2017, p. 9).

De este modo podemos reafirmar que la lesión del LCA después de un postoperatorio y acompañado posteriormente por un proceso de rehabilitación física, desencadenan un desorden a nivel de seguridad deportiva (miedo de recidiva) que impide o retarda el proceso de readaptación deportiva y que sugiere que el antecedente de ruptura de LCA está asociado con patologías futuras de rodilla.

En el año 2017, Ramos, A y Okubo, R afirman que “el proceso postoperatorio generalmente es caracterizado por síntomas como dolor y pérdida del control neuromuscular, principalmente del cuádriceps, lo que provoca malestar e impide que el paciente pueda realizar actividades simples como bañarse y moverse con autonomía” (p. 2). Por esta razón la rehabilitación de este tipo de lesiones y más aún luego de un post-quirúrgico debe de incluir “un protocolo de fortalecimiento muscular y propiocepción” (Velázquez Saornil et al, 2016).

Dentro de este contexto encontramos que elegir y aplicar un protocolo de rehabilitación de manera holística conlleva a mejores resultados, por tal motivo “Es aconsejable para rehabilitar pacientes con una lesión del ligamento cruzado anterior utilizar un programa de ejercicios en fisioterapia que entrene múltiples capacidades sensoro motrices (equilibrio y propiocepción)” (Delgado Martínez, 2016, p. p. 9). “En cualquier caso las estrategias y el objetivo común de la rehabilitación pre y/o post quirúrgicas es buscar el mejor nivel funcional para el paciente evitando el riesgo de una nueva lesión. Ambos se consiguen eliminando la inestabilidad, restaurando la movilidad, recuperando la fuerza y alcanzando e incluso mejorando las capacidades físicas previas a la lesión” (Ramos Álvarez, 2008, p. 65).

Risberg en el año 2009 evidencia mediante un ensayo clínico aleatorizado (con seguimiento a largo plazo de dos años de evolución) que la combinación de ejercicios de entrenamiento de la fuerza muscular clásicos combinados con un programa de entrenamiento de ejercicios neuromusculares resulta la mejor opción para mejorar la funcionalidad de la rodilla tras la operación de LCA. (Citado en Ramos, A y Okubo, R, 2017, p. 2). Para Trees et al, 2011 “la recuperación del control muscular y el alivio de los síntomas dolorosos es fundamental para que el paciente pueda pasar por un complejo proceso de recuperación funcional” (Citado en Ramos, A y Okubo, R, 2017, p. 2). Según Paredes Hernández et al “las consideraciones más importantes en la recuperación de la lesión de ligamento cruzado anterior es recuperar la amplitud o grado de movimiento de la rodilla, para una vez conseguido, mejorar los niveles propioceptivos y la capacidad de resistencia y la fuerza de la musculatura periférica de la rodilla” (2010, p. 575-576).

Diego Martínez en el año 2016, recomienda que después del post-quirúrgico de LCA se deben dar consejos acerca de estilos de vida saludable y al mismo tiempo el equipo multidisciplinar que establece y desarrolla el tratamiento de la lesión en cuestión, debe estar pendiente de alertas

fisiológicas dentro del proceso rehabilitatorio como son: el dolor, la hinchazón y la movilidad articular de la rodilla.

Dentro de los protocolos de rehabilitación del LCA se podrían describir infinidad de técnicas y protocolos. Ramos Álvarez en el 2008 estandariza un protocolo de rehabilitación para la ruptura del LCA que comprende una fase inmediata previa a la cirugía, una fase post quirúrgica I, una fase post quirúrgica II, una fase post quirúrgica III, una fase de entrenamiento funcional, un retorno al ejercicio deportivo. Lo que busca Ramos Álvarez es poder estructurar un protocolo de rehabilitación que independientemente de los tiempos de recuperación y cicatrización ligamentaria, constituya una base efectiva para el retorno a la actividad deportiva del lesionado.

La fase postquirúrgica I y según Ramos Álvarez alcanza las primeras 2-4 semanas tras la intervención. Los objetivos en esta fase se basan principalmente en ganar el arco de movilidad completa, para Beynnon et al, 2002; Cascio, Culp, & Cosgarea, 2004; Kvist, 2004 se debe “completar la extensión y recuperar el control muscular” (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 68). Y es que existe gran controversia acerca del tiempo total en el cual se debe recuperar y completar el ángulo total de la rodilla, hay quienes afirman que la recuperación del ROM de la rodilla lesionada “se extiende hasta las dos semanas después de la intervención” (Gotlin & Huie, 2000; Kvist, 2004, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 68).

La movilización temprana de la articulación después de la reconstrucción del LCA puede reducir el dolor, disminuye los cambios adversos al cartílago articular, favorece la nutrición articular, promueve la cicatrización y previene la contracción de la cápsula articular (Barber-Westin & Noyes, 1993; Mackenzie et al., 1996; Siegel & Barber-Westin, 1998, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 69).

En relación con lo anterior, Ramos Álvarez es consecuente al decir que el arco de movilidad se incrementa utilizando una combinación de ejercicios activos y pasivos de forma progresiva, ya que la pérdida del arco de movilidad, en extensión y en flexión es un hecho frecuente tras la cirugía, se plantea como fundamental, obtener una extensión completa y una flexión a 90° en la primera semana post quirúrgica; y aquellos pacientes con retraso en los objetivos, que no alcancen la extensión completa en dos semanas, deben tratarse más agresivamente. Para ello son útiles ciertas maniobras como: colgar la extremidad en posición prona, hacer presión manual o aplicar estiramiento forzado. Maniobras similares pueden ser utilizadas en el déficit de la flexión, en sentido inverso, pero siempre cuidando el límite de los 90°. (2008, p. 69).

En primer lugar, la **fase postquirúrgica I** es relevante la utilización de los medios físicos (frío y calor) como coadyuvantes del proceso terapéutico “para el manejo del dolor y el control de la inflamación” (Beynnon et al, 2002; Cascio et al., 2004; Kvist, 2004, citados en Ramos Álvarez, 2008, p. 68). Majima et al en el 2002, reafirman lo anterior cuando dicen que “el control de la inflamación

y el dolor promueve el control neuromuscular y la activación del cuádriceps, lo cual ayuda a mantener la extensión y facilita la deambulación” (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 68)

Dentro de esta fase postquirúrgica I se puede realizar la aplicación de los ejercicios isométricos para la musculatura flexora y extensora de la rodilla en primeras fases, ya “una contracción isométrica aporta fuerza de estabilización que ayuda a mantener relaciones normales en la longitud-tensión y en los pares de fuerza, elementos críticos para la artrocinemática normal” (Ellen M.I., Young JL, Sarni JL, citado en Velázquez Saornil, 2016, p. 45). El ejercicio isométrico tiene la capacidad de aumentar la fuerza, según Velázquez Saornil los incrementos de la fuerza son relativamente específicos, con hasta un 20 % de transferencia al ángulo articular en que se practica el movimiento (2016, p. 45) siendo una buena opción terapéutica para comenzar con la ganancia de fuerza del cuádriceps y los isquiotibiales en una fase inicial. La aplicación de los ejercicios isométricos dentro de la rehabilitación y su efectividad van directamente ligados a la aplicación técnica de este tipo de ejercicio.

Según Ellen M.I., Young JL, Sarni JL (1999) y Shelbourne KD, Nitz P (1990) “es necesario hacer uso de los ejercicios isométricos funcionales o posicionales que impliquen la aplicación de fuerza isométrica en múltiples ángulos de todo el grado de movilidad. Los ejercicios isométricos funcionales tienen gran importancia en la rehabilitación para evitar la pérdida de fuerza” (citado en Velázquez Saornil, 2016, p. 45). Si bien los ejercicios isométricos funcionales son un desencadenante de la efectividad inicial del proceso rehabilitatorio, es conveniente utilizarlos hasta que la curación haya llegado al punto en que se puedan practicar actividades en todo grado de movilidad (Tous, 2009, citado en Paredes Hernández, 2010, p. 579).

Por otro lado hay quienes establecen que los ejercicios con técnica isométrica no generan ganancias de fuerza pero conservan e impiden una hipotrofia muscular, donde los ejercicios isométricos contribuyen más precisamente a mantener el tono muscular, pero que acompañado por ejercicios de hidroterapia favorecen la activación articular y producen estimulación de mecanorreceptores que están inhibidos por los periodos de inmovilización (Paredes Hernández et al, 2010, p. 578).

Otro de los factores importantes dentro de esta primera fase post quirúrgica I es el apoyo de la rodilla operada, pues Barber-Westin & Noyes en 1993, hicieron referencia a que el apoyo progresivo facilita la recuperación del cuádriceps y consecuentemente disminuye el dolor en la región anterior de la articulación. “El apoyo temprano hace que el paciente mejore su fuerza, mejore el grado de confianza y normalice su patrón de marcha lo antes posible” (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 70). Esto da constancia de que una movilización temprana es una medida terapéutica que contribuye a disminuir el algia de la rodilla y proporciona coactivación muscular como estímulo para la fuerza.

Aunque lo anterior es un punto de partida para tener conciencia de la importancia del inicio del apoyo, hay autores como Tyler, McHugh, Gleim, & Nicholas que en 1998 quienes afirmaron a partir de un estudio que el apoyo ocasiona una traslación anterior de la tibia, pero sus efectos no están bien estudiados (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 70). Estos autores lograron dicha referencia comparando dos grupos: uno con apoyo inmediato y otro con apoyo dos semanas después, no encontró diferencias entre ellos en la laxitud a los 7 meses de seguimiento, aunque el 40% tenía más de 3mm de desplazamiento anterior de la tibia (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 71).

En segundo lugar y dentro de la **fase post quirúrgica II** que propone Ramos Álvarez en el 2008 y que transcurre entre la 6 y 10 semana “los objetivos planteados son: completar el arco de movilidad alcanzando la flexión y la hiperextensión, fortalecer la musculatura del miembro afectado, mejorar la propiocepción y recuperar el patrón de marcha” (Ramos Álvarez, 2008, p. 72). En esta fase se realizan ejercicios más específicos para lograr un adecuado fortalecimiento muscular que van desde ejercicios concéntricos, hasta ejercicios excéntricos.

Ellen M.I., Young J.L., Sarni J.L. en 1999 propusieron que se realizará “una potenciación muscular suave con cargas a nivel del tercio medio tibial para no ejercer una fuerza de palanca a la altura de la rodilla intervenida. Se debe trabajar ambos grupos musculares, es decir agonistas y antagonistas, cuádriceps e isquiotibiales” (citado en Velázquez Saornil et al, 2016, p. 45).

Por otro lado, encontramos los ejercicios de contracción excéntrica para la musculación de los isquiotibiales y el cuádriceps, las contracciones musculares excéntricas son muy útiles para desarrollar fuerza excéntrica muy necesaria para la realización de diversas acciones en el deporte ya que permiten reclutar selectivamente a unidades motoras rápidas, lo que tiene gran relevancia para el rendimiento eficaz en las acciones de juego en el fútbol (Askling, Karlsson, & A., 2003; Coarasa et al., 2003; Croisier, Ganteaume, & Ferret, 2005; Fyfe & Stanish, 1992; González, Lantarón, Gutiérrez, & Pazos, 2003; Lorza, 1998, citado en Paredes Hernández et al, 2010, p. 579).

A partir de esto y teniendo una amplitud articular de rodilla completa y en el momento de elegir entre ejercicio concéntrico o excéntrico, se ha visto que las técnicas de fortalecimiento que utilicen la contracción concéntrica y excéntrica de forma combinada o simultánea, son más efectivas que los utilizan una sola (Frontera, 2003; Kraemer, 2003; L.C. Thomson et al., 2005, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 74).

Es apropiado decir que una fuerza adecuada en la musculatura que rodea y hace parte activa de la rodilla es apropiada para disminuir la probabilidad de recidiva y reruptura del LCA. Para Drobic et al (2004), “unos niveles de fuerza adecuados, disminuye el índice de lesiones ya que ayuda como método de prevención” (citado en Paredes Hernández, 2010, p. 579).

Para dar validez a esto, Ramos Álvarez afirma que “los isquiotibiales y el cuádriceps son los grupos musculares prioritarios en el fortalecimiento muscular que se realiza en esta fase. Las razones son múltiples:

a) La estabilidad de la rodilla, objetivo en esta fase, depende principalmente de ambos músculos (cuádriceps e isquiotibiales).

b) Los isquiotibiales se consideran los principales agonistas del LCA, pues su contracción disminuye la tensión en el injerto o en el LCA, dando una protección activa contra el desplazamiento anterior de la tibia. Por ello el fortalecimiento de los isquiotibiales es una parte importante del fortalecimiento, que contribuye al patrón de marcha y las actividades deportivas. En este sentido el cuádriceps no se considera un músculo positivo, pues su contracción en rangos de flexión de 0-75 grados, provoca traslación anterior de la tibia sobre el fémur” (2008, p. 74).

Más allá de la correcta utilización de los ejercicios con técnica concéntrica y/o excéntrica respectivamente, de los grupos musculares a los cuales se les realiza un trabajo específico de potenciación muscular, actualmente existe un debate entre la utilización de ejercicios de cadena cinética cerrada (CCC) o ejercicios de cadena cinética abierta (CCA).

Shelbourne KD, Nitz P propusieron en 1990 que se inicien ejercicios en cadena cinética cerrada de rodilla un entrenamiento excéntrico temprano para restablecer la fuerza y los distintos sistemas elásticos necesarios para contrarrestar las fuerzas de reacción y mejorar la coordinación neuromuscular y se prioriza el trabajo en CCC sobre el de cadena cinética abierta (CCA), para disminuir las fuerzas de cizallamiento y traslación (citado en Velázquez Saornil et al, 2016, p. 45).

En la rehabilitación de la lesión de LCA, se utilizan prioritariamente los ejercicios de CCC porque son más seguros y producen tensiones y fuerzas que constituyen un menor peligro para las estructuras que se están recuperando. Son más funcionales, ya que implican actividades en las que el deportista soporta peso. Cualquier movimiento dentro de una cadena cinética cerrada suele ser multiarticular, colaborando además con muchos grupos musculares para actuar como estabilizadores. (Truque et al, 2014, p. 129).

Según Ramos Álvarez “los ejercicios CCC teóricamente son los más indicados y seguros para esta etapa pues la co-contracción muscular durante su ejecución aumenta la estabilidad de la articulación y protege al injerto de las fuerzas transversales/cortantes de desplazamiento anterior” (2008, p. 76).

Por consiguiente los programas con ejercicio de CCC, reproducen mejor la biomecánica normal, estimulando por este camino la propiocepción, la funcionalidad, y minimizando el estrés femoro-patelar y las fuerzas encontradas, cortantes y transversales sobre la articulación (Cascio et

al., 2004; Escamilla et al., 1998; Gotlin & Huie, 2000; Kvist, 2004, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 76).

Es éste el punto de la contrapartida entre la cadena cinética cerrada y la cadena cinética abierta ya que según el planteamiento anterior, la CCC es una forma segura de ejercicio que mantiene estable y sin repercusiones morfofuncionales al LCA después del post quirúrgico. En el estudio que realizó Tagesson S, Oberg B, Good L, Kvist J. A, (2008) y Glass R, Waddell J, Hoogenboom B (2010) evidenciaron que “los programas de entrenamiento con CCA y CCC no difieren significativamente en sus efectos sobre la laxitud de la rodilla en un periodo de 8 a 14 semanas después de la reconstrucción de ligamento cruzado anterior” (citado en Truque et al, 2014, p. 131).

En contraste a esto, Parry Gerber y cols (2009) encontraron que al emplear un programa que combine CCA y CCC se produce un aumento en el volumen y la fuerza muscular del cuádriceps, isquiotibiales y glúteo mayor, en un 50% más que en las personas que realizaban la rehabilitación únicamente con ejercicios de CCC, en este estudio se comienzan a emplear las CCA a partir de la tercera semana de la reconstrucción del LCA (citado en Truque et al, 2014, p. 133).

Contrario a todo lo anterior, diversos autores hacen planteamientos con evidencias de los beneficios de la utilización de la CCA dentro de un programa de rehabilitación de LCA, en uno de ellos “se evaluó la eficacia subjetiva para el propio paciente de realizar ejercicios en cadena cinética cerrada frente a realizarlos en cadena cinética abierta. Chrzan D. Et al (2013), con un estudio de calidad metodológica media en la escala PEDro y una muestra de 40 participantes. Los participantes del grupo que realizaba ejercicios en cadena cinética abierta tuvieron mejor impresión subjetiva de su programa de ejercicios por lo que concluyen que tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior se debería basar en la realización de más ejercicios en cadena cinética abierta” (citado en Delgado Martínez, 201, p. 17).

Uno de los principales inconvenientes de ejecutar la cadena cinética abierta dentro del plan de rehabilitación del LCA, es que durante su aplicación puede generar inestabilidades en la rodilla, pero en contraposición a esto, “con la implementación de las CCA se incrementa la fuerza isocinética del cuádriceps comparado con las CCC, sin aumentar la traslación estática o dinámica tibial, lo que sugiere que este tipo de ejercicios no parecen tener efectos adversos en la estabilidad de la articulación de la rodilla” (Mikkelsen C et al 2000, Morrissey MC et al, 2000, Gerber JP et al, 2009, citado en Truque et al, 2014, p. 131).

Una serie de autores afirman que “el fortalecimiento del cuádriceps a través de un programa de tratamiento con ejercicios en cadena cinética abierta lleva a un aumento significativamente mayor de la fuerza sobre el uso de ejercicios en cadena cinética cerrada;  $80\% \pm 15\%$  con CCC y  $99\% \pm 11\%$  con CCA con un valor  $p = 0.009$ ” (Mikkelsen C et al 2000, Morrissey MC et al, 2000, Perry MC et al, 2009, Francisco Silva et al, 2012, citado en Truque, 2014, p. 132).

Otro estudio evaluó la eficacia y efectividad de aplicar los ejercicios de CCA en fases más tempranas versus fases más tardías, así, Fukuda TY. Et al en el 2013, con un estudio de alta calidad metodológica en la escala PEDro y una muestra de 49 participantes concluyeron que comenzar a realizar ejercicios en cadena cinética abierta a la cuarta semana de un programa de rehabilitación en un rango de movimiento controlado de la articulación de la rodilla de entre 45° y 90° no supone ninguna diferencia de comenzar a realizarlos en la semana 12 en términos de mejoría funcional y control del dolor. Además, la fuerza muscular de cuádriceps aunque más tarde se igualo entre grupos, en el grupo de comienzo temprano comenzó a subir antes que en el grupo de ejercicios más tardío (citado en Delgado Martínez, 2016, p. 17).

En el 2010, Glass R, Waddell J, Hoogenboom B llegaron a un consenso del tiempo adecuado para la utilización de los ejercicios de cadena cinética abierta, los cuales se deben El comienzo con ejercicios en CCA se debe dar seis o más semanas después de una lesión o reconstrucción respectivamente. Los estudios que iniciaron con ejercicios CCA a las cuatro semanas anteriores a la lesión o cirugía no mostraron superioridad en los resultados en relación a las CCC (citado en Truque et al, 2014, p. 132).

En cuanto a las contraindicaciones, “un estudio realizado por Heijne y Werner encontró que se puede fortalecer el cuádriceps en un principio con ejercicios CCA a la cuarta semana después de la reconstrucción del LCA, pero producen una mayor laxitud de la rodilla anterior, en comparación con los mismos ejercicios comenzando a las 12 semanas” (citado en truque et al, 2014, p. 132). Teniendo en cuenta que el LCA es uno de los principales estabilizadores de rodilla, para Glass R, Waddell J, Hoogenboom B (2010) “el ligamento cruzado anterior sirve como un estabilizador está contraindicado las CCA con una extensión completa; en un rango menor, son benéficas” (citado en truque et al, 2014, p. 132).

Finalmente Truque et al, concluyeron dentro de su estudio sobre la utilización de las CCC versus las CCA que la implementación de las CCA es recomendada a partir de la 4 semana de la reconstrucción o lesión de ligamento cruzado anterior, este tiempo es benéfico ya que mejora la fuerza muscular en cuádriceps e isquiotibiales y no influye en generar inestabilidad a la rodilla; así se comprueba que no existe mayor laxitud del ligamento, cuando las cadenas cinéticas abiertas se trabajan en un rango de 0° a 60°.

También es importante resaltar, que la inclusión de éstas aumentan la funcionalidad y permite que los deportistas regresen a sus actividades de alto rendimiento de manera más rápida y con el mismo nivel que se tenía antes de la lesión, incluso la percepción que se tiene sobre el dolor y la función de la rodilla por parte de los pacientes se mejora notablemente.

Ahondando otro tema importante dentro de la rehabilitación del LCA, cabe destacar dentro de esta fase el trabajo propioceptivo, que como afirman Liu-Ambrose T, Taunton J, MacIntyre D,

McConkey P, Khan K “ante una recuperación de cirugía tras rotura completa de LCA es crucial comenzar con la rehabilitación de forma precoz y utilizar un protocolo combinado de fuerza y propiocepción, independientemente de las lesiones asociadas a la rotura de dicho ligamento” (citado en Velázquez Saornil et al, 2016, p. 48).

Si bien en la primera fase no se habló de ejercicios propios para propiocepción, cabe decir que el hecho de generar movimiento (recuperar la movilidad completa de la rodilla) y teniendo en cuenta que el LCA es un propioceptor de rodilla, pues diversos autores encontraron receptores sensoriales propioceptivos en las fibras del LCA, estableciendo una falta de correlación entre la insuficiencia del ligamento y la estabilidad funcional (Heraud & Tremble, 2005; Newt et al., 2002; Hogervorst & Brand, 1998; Pitman, Nainzadeh, Menche, Gasalberti, & Song, 1992, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 76).

El LCA contiene mecanorreceptores que detectan cambios en la tensión, la velocidad, la aceleración, la dirección del movimiento, y la posición de la rodilla; la información neuromuscular alterada secundaria a la información somatosensorial disminuida altera la función (propiocepción), los sentidos especializados del LCA están implicados en el control del movimiento y la postura (Solomon M., Krogsgaard M, 2001, citado en Velázquez Saornil et al, 2016). Lo anterior permite constatar que se genere una estimulación kinestésica importante y preparatorio para el trabajo propioceptivo dentro de esta fase.

Para Ramos Álvarez, “durante esta fase, es importante continuar insistiendo en la recuperación de la propiocepción” (2008, p. 76). Según Velázquez Saornil et al, la propiocepción tiene un modo específico de trabajo que se basa en ejercicios predeterminados por tiempo, de este modo “el protocolo de propiocepción puede durar entre 15 y 20 minutos, y la duración de cada ejercicio son 30 segundos por pierna, realizando dos repeticiones por ejercicio.”

Los ejercicios se ejecutan de menor a mayor complejidad e inestabilidad. Este trabajo se puede realizar tanto sin material, mediante una serie de ejercicios en suelo, como usando distintos utensilios, valiéndonos de una serie de elementos que permitan realizar desequilibrios o posiciones inestables para el refuerzo muscular, como los “bosu”, “togu”, plataformas, “fitball”, “Dyn Air”, colchonetas, cojines (Mascaró Vilella A, citado en Velázquez Saornil et al, 2016). Los ejercicios propioceptivos deben de estar en marcados dentro de elementos progresivos, “al inicio los ejercicios deben ser estáticos, enfatizando la co-contracción de la musculatura alrededor de la articulación. Cuando el paciente ya puede mantenerse en pie y apoyar todo el peso, se inician ejercicios como “caminar de puntera” o “los pasos de lado”” (Ramos Álvarez, 2008, p. 77).

En la fase inicial del entrenamiento propioceptivo, el paciente comenzará en bipedestación con apoyo de ambos pies y utilizando diversos materiales para crear un ligero desequilibrio. En la siguiente fase se pueden realizar ejercicios de propiocepción con apoyo unipodal y se pueden ir

complicando progresivamente al pedir al paciente que cierre los ojos. En la fase final se realizan todos los ejercicios de las fases anteriores pero añadiendo complicaciones a la realización del ejercicio, combinando distintas superficies y solicitando al paciente movimientos rápido y explosivos, pero sin perder el equilibrio. (Auada RJ, 2009, Myungchun L et al, 2016, citado en Velázquez Saornil et al, 2016).

En tercer lugar encontramos la **fase post quirúrgica III**, que tiene mayor especificidad en el proceso deportivo y de mejoramiento de las cualidades fisiológicas del deportista, ésta “incluye una variedad de ejercicios con el objetivo principal de recuperar y/o mejorar las cualidades físico-deportivas básicas (flexibilidad, fuerza máxima, fuerza resistencia, resistencia aeróbica) que permitan al paciente lesionado iniciar la carrera y abordar los ejercicios funcionales específicos de cada actividad o deporte (Cascio et al., 2004; Frontera, 2003; Kvist, 2004, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 78)”.

Berdejo et al (2007) plantea que dentro de esta fase se hace una readaptación precoz al deporte, “donde se busca la restauración de las funciones perdidas, principalmente la readaptación fisiológica de la zona afectada a la sistemática del entrenamiento” (citado en Paredes Hernández, 2010, p. 580). Dentro de esta fase existe gran controversia acerca del tiempo predispuesto para realizar ejercicios de carrera (especialmente para el fútbol), hay quienes afirman que “esta fase se inicia aproximadamente a los 2 o 3 meses después de la reconstrucción. Ya que, hasta las 13 semanas, el injerto no se ha incorporado completamente” (Ramos Álvarez, 2008, p. 78).

Otros autores tienen como contrapartida un protocolo de rehabilitación mucho más conservador y de protección para el LCA (tratando de evitar la recidiva), para Chahla et al y dentro de un protocolo de rehabilitación abreviado, la recuperación del LCA y dentro de los ejercicios de carrera como el trote, deben ser practicados a partir del cuarto mes del post quirúrgico (2015). Ramos Álvarez reafirma lo anterior al decir que entre estos meses en los que se ejecuta la carrera, “el injerto responde a las fuerzas de tensión para remodelarse y someterse al proceso de incorporación funcional como sustituto del LCA” (2008, p. 78). Frontera (2003), afirma que “el tiempo medio de regreso a la carrera es de 4,3 meses, con un rango entre 3-12 meses. La recuperación del sujeto para el salto, se produce en un tiempo medio de 6 meses, con un rango entre 3-12 meses” (citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 82).

En esta fase es cuando los sujetos comienzan a correr en campo, y observamos cómo tras varios entrenamientos de carga moderada, las rodilla responden con una buena tolerancia al esfuerzo. Introducimos por lo tanto ejercicios elementales de técnica individual (habilidad y conducción) para que exista una readaptación al gesto deportivo (Paredes Hernández, 2008).

Dentro de su estudio, Paredes Hernández constatan que “el tiempo de esta primera parte de la tercera fase (nivel 4) es de 4 semanas para el sujeto X, 3 semanas para el sujeto Z y 4 semanas para el sujeto Y” (2008, p, 586).

La recuperación de la resistencia aeróbica, también constituye un objetivo en esta etapa. El tipo de actividades aconsejadas para este entrenamiento, son las que afecten a grandes masas musculares y puedan realizarse a intensidad moderada. La natación, la carrera continua y el ciclismo estarían indicados en la última etapa de esta fase” (Ramos Álvarez, 2008)

Dentro de esta fase y teniendo en cuenta que se realizan ejercicios mucho más demandantes para el injerto, los ejercicios propios de flexibilidad son de gran importancia, donde es recomendable realizar técnicas estáticas como la contracción- relajación. Así mismo, es recomendable realizar éstos con una dosificación de 4-7 repeticiones con una duración media de entre 30-40 segundos dos veces al día. (Ramos Álvarez, 2008). Lo anterior constituye un principio básico del cuerpo y es el de evitar las compensaciones musculares del miembro sano y así mismo del miembro en rehabilitación por sobrecarga muscular.

Ahora bien, dentro de esta fase se continúa con el entrenamiento propioceptivo, pero generando mayores dificultades para el deportista.

En cuarto lugar, se continua con lo que Ramos Álvarez considera como la **fase de entrenamiento funcional** y la cual es “la fase más próxima al retorno a las actividades físicas y deportivas, se inicia transcurridas 16 semanas de la cirugía” (2008, p. 81). Para el fútbol es importante generar procesos de aprendizaje que constituyan un reaprendizaje motor que mejore las habilidades de juego y genere procesos de confianza para la vuelta al trabajo de campo.

Utilizamos ejercicios de habilidad estática y dinámica como introducción a los ejercicios de gesto deportivo. El sujeto utilizara todas las superficies posibles de contacto, tanto del lado fuerte como débil, para reactivar sus niveles de destreza motriz elementales. Como gesto deportivo incluimos un ejercicio de conducción en el cual el sujeto manejara ambas piernas y realizara giros de 360 grados y cambios de dirección circulando con el balón en los pies, y simulando acciones de regate. También incluimos acciones de juego real 1:1 en las cuales el sujeto se somete a un trabajo muscular específico y donde vivenciará apoyos y movimientos similares a la competición (Paredes Hernández, 2010).

Uno de los primeros objetivos en esta etapa es conseguir la permanencia o estabilidad sobre un solo pie. La carrera, otro elemento importante en esta fase, debe ir progresando paulatinamente en distancia, tiempo y frecuencia semanal, dejando el incremento de la intensidad/velocidad para una etapa posterior (Ramos Álvarez, 2008).

Así mismo dentro de esta fase es importante generar procesos fisiológicos un poco más explosivos para el deportista y por ende el injerto, así se inician los ejercicios pliométricos, que utilizan fase inicial de contracción concéntrica, seguida por otra fase de contracción excéntrica (Cascio et al., 2004; Mackenzie et al., 1996; L.C. Thomson et al., 2005, citado en Ramos Álvarez, 2008, p. 82).

Por último encontramos lo que Ramos Álvarez llamo como el **retorno al ejercicio físico o deporte**, donde Cascio et al., 2004; Gotlin & Huie, 2000; Kvist, 2004 llegan a un consenso a partir de un estudio y consiguen un retorno competitivo al deporte en 6 meses (citado en Ramos Álvarez, 2008).

Es la última fase de recuperación. Sigue constante el trabajo de fisioterapia. Proporciona las cargas de entrenamiento, desde que el jugador vuelve al grupo hasta que el jugador alcanza el nivel de condición física del grupo o el que poseía anteriormente, para volver a competir, obteniendo un buen rendimiento individual. Esta fase debe intentar situar al jugador a nivel de posible competición inmediata. Sin embargo, para ello, debe existir una plena seguridad en la ejecución técnica e integración en la aplicación táctica, una confianza en su restauración total para la competición y una integración completa en el grupo de entrenamiento (Paredes Hernández, 2010)

Para concluir y dar un aporte definitivo acerca del tiempo estimado para la recuperación del LCA post quirúrgico y basado en el estudio de Paredes Hernández que “el tiempo total de la cuarta fase de recuperación (nivel 6) es de 6 semanas para el sujeto X, 7 semanas para el sujeto Z y 4 semanas para el sujeto Y” (2010, p. 587). Por su parte Velázquez Saornil et al, afirmaron que “las lesiones asociadas (daños meniscales, condrales, otros ligamentos o el tendón rotuliano) no tienen ninguna relación directa sobre el tiempo de recuperación de la cirugía de rotura completa de LCA” (2016, p. 48). Finalmente Ramos Álvarez dentro de su conclusión afirma que “la mayoría de los estudios sobre rehabilitación de las lesiones de LCA, permiten la carrera tras 2-3 meses de la cirugía, y practicar actividades deportivas a los 6 meses después de la intervención quirúrgica, por término medio” (2008, p. 82).

## 2.

El abordaje que se da a este tema y partiendo de la revisión literaria descrita anteriormente permite evocar un tipo de rehabilitación tras la ruptura del LCA implementando un tipo de entrenamiento (cardio HIIT) que permite conservar, mejorar y potenciar las capacidades físicas del deportista incluso desde etapas en las cuales posee inmovilización del miembro inferior en rehabilitación. Esto conlleva a que el tiempo estimado de lesión pueda reducirse significativamente y que por consiguiente se asegure que la readaptación deportiva sea segura y establezca parámetros óptimos de rendimiento físico individual y rendimiento funcional y/o colectivo dentro del grupo.

Actualmente no se cuenta con un protocolo de rehabilitación estandarizado (según la literatura revisada) que conjugue el entrenamiento físico con un programa específico de rehabilitación, pues específicamente, tras la ruptura del LCA el proceso de recuperación está dado únicamente en el miembro inferior y estructura lesionada del deportista, y no se tiene en cuenta que el tiempo de inmovilización, de incapacidad y de "para deportiva" lleva a un desacondicionamiento físico considerable y que prolongaría el tiempo de recuperación de la ruptura del LCA, incluso si éste ha tenido una evolución satisfactoria (pues el deportista tendría que reacondicionar las capacidades corporales: velocidad, fuerza, resistencia, flexibilidad; para poder volver al campo de juego).

De este modo planteamos la posibilidad de enmarcar un protocolo de rehabilitación del LCA que constituya un factor relevante para la recuperación de la estructura lesionada en términos de forma y funcionalidad, pero que al mismo tiempo se genere una adaptación fisiológica a actividades que generen demanda metabólica (aplicación de cardio HIIT) desde etapas tempranas de la recuperación, hasta etapas mucho más progresivas, donde dicho entrenamiento pueda ser potenciado y ejecutado a cabalidad en etapas mucho más progresivas (entre los 4-6 meses de la ruptura del LCA) y que continúen aplicándose dentro del proceso de readaptación deportiva y vuelta al campo del deportista.

## **CONTEXTO.**

Este artículo tiene la pretensión de poder aportar un hecho significativo dentro de la rehabilitación del ligamento cruzado anterior, y es la de que pueda incluirse el entrenamiento cardio HIIT dentro de dicho procedimiento. Esto genera la posibilidad de que la vuelta a la actividad deportiva del deportista se mantenga en términos de capacidad aeróbica-anaeróbica y todos sus componentes, y así mismo que permita la consolidación de un procedimiento de recuperación morfo-funcional efectivo para evitar las recidivas y por ende mejorar el rendimiento individual y colectivo del deportista y/o los deportistas y minimizar tiempo y gastos económicos a las entidades deportivas por el proceso de rehabilitación.

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.**

Según la pregunta que nos planteamos inicialmente, consideramos que la prescripción del entrenamiento cardio HIIT es necesaria a la hora de llevar a cabo un proceso de rehabilitación del ligamento cruzado anterior, dado que los protocolos revisados sugieren de manera lógica mejorar la capacidad de resistencia aeróbica para luego enfocarnos en el aumento de la fuerza máxima previo a conseguir un óptimo rendimiento de la potencia y la velocidad.

El entrenamiento cardio HIIT funciona como un eslabón entre el entrenamiento aeróbico y anaeróbico, ya que éste, al tener un componente mixto interconecta las cargas de trabajo, permitiendo que el entrenamiento de una capacidad potencialice la otra, evitando recidivas en la lesión y demoras en la rehabilitación del LCA.

Las fibras lentas son entrenadas en la primera fase de la rehabilitación, en donde se busca mejorar los mecanismos metabólicos (oxidación de los macronutrientes en la mitocondria) para mejorar la resistencia aeróbica y la fuerza estructural, permitiendo estabilizar los diferentes segmentos corporales.

Luego de mejorar los mecanismos aeróbicos, el proceso de entrenamiento y rehabilitación va enfocado hacia la mejora de la fuerza muscular, entendiendo que ésta es dependiente de la hipertrofia muscular y de la coordinación intra e inter muscular. Sin embargo, y aunque la manifestación del movimiento es lento por el porcentaje de RM que se maneja, la actividad metabólica es anaeróbica por el tiempo que dura el esfuerzo. Es acá, donde consideramos oportuno aplicar el entrenamiento cardio HIIT, dado que éste por su naturaleza, activa tanto las fibras rápidas como lentas desde sus componentes metabólicos y estructurales. Las fibras se clasifican en lentas y rápidas, y las rápidas se clasifican a su vez en 3 subtipos IIA, IIB y IIX debido a la diferente forma de cabeza de miosina que tienen. La cabeza de miosina tipo IIB es la que tiene una velocidad de hidrólisis más rápida del ATP, la IIA una velocidad de hidrólisis más lenta y la IIX una velocidad de hidrólisis media. Cabe notar que la IIB la más rápida está en mamíferos y no en el ser humano, el ser humano tiene IIX y IIA. Esta velocidad de hidrólisis permite la velocidad de contracción por lo tanto " citar a chicharro" creemos que el entrenamiento cardio HIIT en su pausa está activando las fibras tipo I y en su máxima intensidad está activando las fibras tipo IIX y los sistemas anaerobios alactasidos a inferencia del entrenamiento de la fuerza máxima que en su manifestación del movimiento está activando los mismos mecanismos metabólicos anaerobios alactasidos pero las fibras IIA.

Lo expresado anteriormente explica y sustenta el entrenamiento cardio HIIT basado en deportes cuyo fundamento es la carrera y el sprint. Cabe anotar que para estos deportes también se puede desde las fases iniciales hacer un entrenamiento cardio HIIT en el medio acuático dado que allí se facilitan las respuestas centrales y periféricas (revisadas en la literatura) que posteriormente serán necesarias para el trabajo de campo en terrenos estables.

Igualmente se puede hacer un entrenamiento cardio HIIT en bicicleta una vez la fase de trabajo en cadenas cinéticas cerradas garanticen unos buenos niveles de fuerza y de coordinación inter e intramuscular.

En el marco teórico revisado encontramos que se pasa de un entrenamiento aeróbico a un entrenamiento de fuerza máxima, en donde las fibras musculares que participan en uno y en otro entrenamiento son diferentes, lo que quiere decir, que para el entrenamiento aeróbico las fibras lentas son necesarias como ya habíamos dicho para la estabilización de las articulaciones y las fibras rápidas entrenadas en la fuerza máxima, nos permite movilizar grandes cargas externas, es acá donde vemos que primero se hizo un entrenamiento de un tipo de fibras (I) y luego un entrenamiento de otro tipo de fibras (II).

Por las investigaciones realizadas hasta el momento no han esclarecido este fenómeno, no sabemos si las fibras lentas tuvieron transición a rápidas (Bermejo, 2006) o estamos hipertrofiando otro tipo de fibras que estaban silentes, para que el musculo tengan así una hibridez, tanto con el entrenamiento de las fibras lentas como de las rápidas (Bermejo, 2006). En cuestión a la transición de las fibras, Bermejo 2016 afirma que aunque al parecer debería darse con el entrenamiento transiciones de un tipo de fibras a otro, esto no ha sido comprobado sobre todo con los tipos de fibras tipo I. los estudios realizados más bien indican que los tipos de fibras I y II no se alteran significativamente con el entrenamiento y que la proporción de estas fibras es determinada genéticamente, estableciéndose desde muy pronto tras el nacimiento. Las transiciones que si se han demostrado son de los diferentes subtipos de fibras tipo II, demostrando cambios en los tipos de fibras tipo IIB a tipo IIA generando aumento en estas últimas; además de aumentar las fibras híbridas. Estos cambios es lo que podríamos considerar transformación de un tipo de fibras a otro.

Cabe anotar que estas fibras rápidas de la fuerza máxima en su metabolismo e isoforma son rápidas, porque el movimiento va hacer lento debido a la carga externa (tipo IIX). Posteriormente dentro del trabajo de cardio Hiit en las pausas se siguen activando las fibras lentas y en los estímulos intensos o intervalos, se activan las fibras rápidas tipo IIB, porque ya la manifestación del movimiento era más rápido con respecto a la de la fuerza máxima, en este orden de idea no sabemos tampoco si hay una transición de las IIA a las IIB entonces podemos pensar lo mismo que no hubo una transición pero si se entrenó otro tipo de fibras para esfuerzos más veloces.

En este orden de ideas podemos decir, que aunque no sepamos si las fibras cambian o no o si se estimulan las fibras que estaban silentes según el estímulo, podemos decir que todo el proceso de recuperación nos va a garantizar que el deportista una vez sea dado de alta y asuma las relaciones reales de su competencia y entrenamiento, va a poder responder ante los diferentes estímulos generados por su actividad deportiva, estímulos tanto o de esfuerzo tanto de características aeróbicas lentas de fibras lentas y esfuerzos tanto de fuerza máxima con movimientos lentos u esfuerzos de potencia y velocidad con movimientos rápidos, ya que el entrenamiento fue íntegro y completo para poder estimular todo tipo de fibras, teniendo en cuenta, que no nos importa porque no es el objetivo de nuestro estudio si ellas tuvieron una transición de unas a otras o si se activaron unas que estaban silentes, lo que nos interesa es generar un entrenamiento de todos los tipos de fibras, tanto las fibras tipo I que son lentas como las fibras tipo IIA que son las más lentas de las rápidas y las IIB que son las rápidas como tal.

## **CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES**

Los entrenamientos y procesos de rehabilitación prescriben el entrenamiento de la potencia y la velocidad luego de alcanzar niveles óptimos en la fuerza máxima, por lo tanto, sugerimos que el

entrenamiento cardio HIIT puede ir paralelo al entrenamiento de la velocidad, y que ésta sirva de soporte para mejorar cada vez más el componente de intensidad de este tipo de trabajo. Es en esta fase donde logramos alcanzar desde lo fisiológico un comportamiento adecuado a las altas exigencias requeridas por el entrenamiento y la competencia.

El entrenamiento cardio HIIT puede ser implementado dentro de un proceso de rehabilitación de LCA desde la fase más temprana hasta la vuelta a campo del deportista, asegurando una óptima readaptación deportiva de éste a su respectivo deporte y a las diferentes modalidades técnico-tácticas que presenta su ejecución. De este modo recomendamos este artículo de estudio de caso investigativo para los procesos de rehabilitación de LCA en deportistas.

### **Propuesta De Aplicación de cardio HIIT en la rehabilitación del LCA.**

A continuación presentaremos una propuesta de rehabilitación de LCA a grandes rasgos utilizando el cardio Hiit (basado en los cambios fisiológicos que produce en el organismo). Cabe anotar que tan sólo es una opción terapéutica combinada con un sistema de entrenamiento (que tiene en cuenta cada una de las fases de la recuperación del LCA) para garantizar una readaptación efectiva dentro de la vuelta a campo en el deporte. Los tiempos de recuperación de la lesión están basados en el estudio de Jorge Chahla et al 2015.

<b>Fase de recuperación.</b>	<b>Tipo de entrenamiento.</b>	<b>Observaciones.</b>	<b>EJEMPLO.</b>
2-6 semanas. Recuperación de rango de movilidad	Aplicación de cardio Hiit a través de entrenamiento con cicloergómetro para miembro superior.	Al aplicar este entrenamiento en las primeras semanas del post-quirúrgico, garantizamos que a nivel fisiológico se mantengas unos niveles óptimos de entrenamiento que conserven y permitan un mejoramiento continuo del metabolismo cardiovascular principalmente.	 <p><b>Figura 1.</b> Ejercicio en Cicloergómetro. <b>Figure 1.</b> Exercise on a Cycle ergometer.</p>

			<p>Recuperado de:</p> <p><a href="https://www.google.com.co/search?q=cicloergometro+de+brazos&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjIv8fkorTeAhWC6lMKHSe8DAQQ_AUIDigB&amp;biw">https://www.google.com.co/search?q=cicloergometro+de+brazos&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjIv8fkorTeAhWC6lMKHSe8DAQQ_AUIDigB&amp;biw</a></p>
<p>Bicicleta. Cuarto mes.</p>	<p>Aplicación de cardio Hiit por medio de ejercicios en bicicleta estática (para garantizar una aplicación constante y uniforme de fuerza en la rodilla).</p>	<p>La aplicación de cardio Hiit en esta fase de rehabilitación del LCA estará enfocada en mejorar de manera mucho más funcional la capacidad cardiovascular. Aquí la intensidad no tendrá un pico tan alto y los intervalos descanso activo variarán entre uno y otro (un tiempo de descanso corto, por un tiempo de descanso alto).</p>	 <p><b>Figura 1.</b> Ejercicio en Bicicleta Estática.</p> <p><b>Figure 1.</b> Exercise on a Static Bicycle.</p> <p>Recuperado de:</p> <p><a href="https://www.google.com.co/search?q=ejercicio+en+bicicleta+est%C3%A1tica&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlgcTupbTeAhXQuVkKHfxBBQkQ_AUIDigB&amp;biw=1517&amp;bih=730#imgcr=up7T5AGemWXwgM:">https://www.google.com.co/search?q=ejercicio+en+bicicleta+est%C3%A1tica&amp;source=lnms&amp;tbm=isch&amp;sa=X&amp;ved=0ahUKEwjlgcTupbTeAhXQuVkKHfxBBQkQ_AUIDigB&amp;biw=1517&amp;bih=730#imgcr=up7T5AGemWXwgM:</a></p>
<p>Cuarto mes.</p>	<p>Aplicación de cardio Hiit</p>	<p>La aplicación de cardio Hiit en esta</p>	

<p>Trote en superficies blandas</p>	<p>enfocado en el entrenamiento de algunas capacidades físicas fundamentales para la vuelta a campo (velocidad, resistencia).</p>	<p>etapa estará enfocado en el restablecimiento de capacidades físicas específicas del deporte, donde los picos de intensidad serán más altos (teniendo en cuenta que en la anterior etapa se realizó un cardio Hiit de adaptación) y podrán implementarse unos intervalos de descanso activos más cortos. Todo lo anterior implementado mediante circuitos diferentes de entrenamiento.</p>	 <p><b>Figura 1.</b> Trote y Sprint con Obstáculos.</p> <p><b>Figure 1.</b> Trot and Sprint with Obstacles.</p> <p>Recuperado de:</p> <p><a href="https://www.google.com.co/search?biw=1517&amp;bih=730&amp;tbm=isch&amp;sa=1&amp;ei=RojbW4b4Dqr45gL_n4bADA&amp;q=trote+del+futbolista&amp;oq=trote+del+futbolista&amp;gs_l=img.3...10203.14982.0.15467.20.20.0.0.0.179.2574.0j16.16.0...0...1c.1.64.img..4.8.1297...0j35i39k1j0i67k1j0i30k1j0i8i30k1j0i24k1.0._Zh6jCBrey8#imgrc=_LI4wLj_zuOzbM:">https://www.google.com.co/search?biw=1517&amp;bih=730&amp;tbm=isch&amp;sa=1&amp;ei=RojbW4b4Dqr45gL_n4bADA&amp;q=trote+del+futbolista&amp;oq=trote+del+futbolista&amp;gs_l=img.3...10203.14982.0.15467.20.20.0.0.0.179.2574.0j16.16.0...0...1c.1.64.img..4.8.1297...0j35i39k1j0i67k1j0i30k1j0i8i30k1j0i24k1.0._Zh6jCBrey8#imgrc=_LI4wLj_zuOzbM:</a></p>
<p>Sexto mes</p>	<p>Aplicación de cardio Hiit</p>	<p>La aplicación de cardio Hiit en esta</p>	

<p>Regreso a la actividad Deportiva según evolución.</p>	<p>combinada con situaciones reales de juego del deporte para garantizar una readaptación óptima y efectiva</p>	<p>etapa será implementada con intensidades altas y específicas de los ciclos de juego del deporte, y los intervalos de descanso activo serán más cortos y precisos (dependientes de los modos de juego del deporte) y contribuyendo a ese mejoramiento continuo y adaptación metabólica a este tipo de entrenamiento después del post-quirúrgico del LCA.</p>	 <p><b>Figura 1.</b> Readaptación Deportiva. <b>Figure 1.</b> Sports Re-Adaptation.</p> <p>Recuperado de</p> <p><a href="https://www.google.com.co/search?biw=1517&amp;bih=730&amp;tbm=isch&amp;sa=1&amp;ei=V4jbW6X1BuTV5gLdsYUY&amp;q=velocidad+en+el+futbol&amp;oq=velocidad+en+el+futbol&amp;gs_l=img.3...0j0i5i30k115j0i24k113.483737.488731.0.489191.22.20.0.1.1.0.331.3282.0j9j6j1.16.0..0...1c.1.64.img..5.17.3282...0i67k1.0.t c1G0bigj0#imgrc=Ckm0theX91tfMM :">https://www.google.com.co/search?biw=1517&amp;bih=730&amp;tbm=isch&amp;sa=1&amp;ei=V4jbW6X1BuTV5gLdsYUY&amp;q=velocidad+en+el+futbol&amp;oq=velocidad+en+el+futbol&amp;gs_l=img.3...0j0i5i30k115j0i24k113.483737.488731.0.489191.22.20.0.1.1.0.331.3282.0j9j6j1.16.0..0...1c.1.64.img..5.17.3282...0i67k1.0.t c1G0bigj0#imgrc=Ckm0theX91tfMM :</a></p>
--	---	--	--

**Tabla 1.** Aplicabilidad del Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad en la Rehabilitación Deportiva del Ligamento Cruzado Anterior.

**Table 1.** Applicability of High Intensity Interval Training in Sports Rehabilitation of the Anterior Cruciate Ligament

**REFERENCIAS.**

1. Amundsen BH, R. O.-R. (2008). El ejercicio aeróbico de alta intensidad mejora la función diastólica en la enfermedad arterial coronaria. *Scand. Cardiovasc. J*, 42: 110-7.
2. Bermejo, M. M. (2006). Tipos de fibras musculares. . En C. A. J. López, *Fisiología del ejercicio*. 3<sup>o</sup> Edición. (págs. 91-97). Madrid: Panamericana.
3. Burgomaster, K. S. (2005). Seis sesiones de entrenamiento de intervalo de sprint aumentan el potencial de oxidación muscular y la capacidad de resistencia del ciclo. *J. Appl. Physiol*, 98: 1895-1990.
4. Cox ML, B. J. (1986). Alteraciones inducidas por el entrenamiento de la morfología cardíaca. *J. Appl. Physiol*, 61: 926-31.
5. Gibala, J. P. (2010). Un modelo práctico de entrenamiento de intervalo de alta intensidad y bajo volumen induce la biogénesis mitocondrial en el músculo esquelético humano: mecanismos potenciales. *The journal of physiology*.
6. Gibala, M. J. (2006). Intervalo de velocidad corta a corto plazo versus entrenamiento tradicional de resistencia: adaptaciones iniciales similares en el músculo esquelético humano y el rendimiento en el ejercicio. *J. Physiol*, (Pt 3): 901-911.
7. Gibala, M. J., & McGee, S. L. (abril de 2008). Adaptaciones metabólicas para el entrenamiento a intervalos de alta intensidad a corto plazo: ¿un poco de dolor por mucho aumento? *Reseñas de Ciencias del Ejercicio y el Deporte*, Volumen 36 - Número 2 - p 58-63.
8. Helgerud J, H. K. (2007). Los intervalos de alta intensidad aeróbica mejoran el VO<sub>2</sub>max más que el entrenamiento moderado. *Medicina. Sci. Deportes Exerc*, 39: 665-71.
9. Kemi OJ, C. M. (2008). Retículo sarcoplásmico miocárdico La función de Ca<sup>2+</sup> + ATPasa aumenta mediante el entrenamiento de intervalo aeróbico. *EUR. J. Cardiovasc. Prev Rehabil*, 15: 145-8.
10. Kemi OJ, H. P. (2004). La aptitud aeróbica se asocia con la capacidad contráctil de los cardiomiocitos y la función endotelial en el entrenamiento y el desentrenamiento. *Circulación*, 109: 2897-904.
11. Kemi OJ, H. P. (2005). Intensidad de ejercicio moderada versus alta: efectos diferenciales sobre la aptitud aeróbica, la contractilidad cardiomiocítica y la función endotelial. *Cardiovasc. Res*, 67: 161-72.
12. Keteyian SJ, B. C. (2008). La capacidad aeróbica máxima predice el pronóstico en pacientes con enfermedad coronaria. *A.m. Heart J*, 156: 292-300.
13. Laursen, P. (2010). Entrenamiento para un ejercicio intenso: ¿entrenamiento de alta intensidad o alto volumen? *Scand J Med Sci Sports*, 2: 1-10.
14. Laursen, P. y. (2002). La base científica para el entrenamiento intervalado de alta intensidad: optimizar los programas de entrenamiento y maximizar el rendimiento en atletas de resistencia altamente entrenados. *Deportes Med*, 32: 53-73.
15. Peter Herber, L. D. (2017). HIIT produce aumentos en la potencia muscular y testosterona libre en atletas masculinos maestros. *Conexiones Endocrinas*, 6 (7): 430-436.
16. Sheykhlovand, M., Khalili, E., Agha-Alinejad, H., & Gharaat, M. (2016). Adaptaciones hormonales y fisiológicas para el entrenamiento de intervalo de alta intensidad en atletas de polo profesional de canoa masculina. *Revista Strength & Conditioning*, Volumen 30 - Número 3 - p 859-866.
17. Slordahl SA, M. V. (2004). Desplazamiento del plano auriculoventricular en mujeres no entrenadas y entrenadas. *Medicina. Sci. Deportes Exerc*, 36: 1871-5.

18. Tjonna AE, L. S. (2008). Entrenamiento de intervalo aeróbico versus ejercicio continuo moderado como tratamiento para el síndrome metabólico: un estudio piloto. *Circulación*, 118: 346-54.
19. Wisløff, U. I., Ellingsen, Ø. I., & Kemi, O. J. (julio de 2009). Entrenamiento de intervalo de alta intensidad para maximizar los beneficios cardíacos del entrenamiento físico. *Reseñas de Ciencias del Ejercicio y el Deporte*, Volumen 37 - Número 3 - p 139-146.
20. Fader, F. (2013). Entrenamiento de Intervalos de Alta Intensidad (HIIT) en Corredores: Consideraciones Generales. *PubliCE Standard*.
21. Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., Hawley, J. A. (2012). Adaptaciones Fisiológicas al Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad y Bajo Volumen en la Salud y la Enfermedad. *PubliCE Premium*.
22. Álvarez Fernández, Iker (2013) El entrenamiento interválico de alta intensidad para el rendimiento deportivo.
23. al, V. S. (2016). Influencia de lesiones asociadas en la intervención de un protocolo de fuerza y propiocepción en cirugía de ligamento cruzado anterior. *EJPOD*.
24. Chahla, J., & Gómez Rodríguez, L. (2015). Uso de Aloinjerto vs. Autoinjerto en la reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior. *ResearchGate*.
25. Dr. Alan D. Cooper, D. M. (1996). Ligamento Cruzado Anterior. *Artroscopia*.
26. Forriol, F., & Maestro, A. V. (2008). El Ligamento cruzado anterior: morfología y función. *Trauma (fundación MAPFRE)*.
27. Muñoz Leyva, D., & Delgado Martínez, A. (2016). Efectividad de la terapia física en pacientes intervenidos de reconstrucción de ligamento cruzado anterior. *Revisión sistemática*.
28. Paredes Hernández, V., & Martos Varela, S. y. (2011). Propuesta de readaptación para la rotura del ligamento cruzado anterior en fútbol. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*.
29. Ramos Álvarez, J., F.J., L.-S., Segovia Martínez, J., Martínez Melen, H., & Legido. (2008). Rehabilitación del paciente con lesión del ligamento cruzado anterior de la rodilla (LCA). *Revisión. Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*.
30. Ramos Marinho, A., & Okubo, R. (2017). Influencia de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior sobre la calidad de vida, nivel de confianza y retorno al deporte: un seguimiento de 15 años. *ResearchGate*.
31. Truque, S. e. (2014). Cadena cinética abierta en la lesión de ligamento cruzado anterior: una revisión sistemática. *CES Movimiento y Salud*.
32. Bermejo, M. M. (2006). Tipos de fibras musculares. En C. J. López, *Fisiología del ejercicio*. 3º Edición. (págs. 91-97). Madrid: Panamericana.