

MEJORA DE LA CONDICIÓN FÍSICA AERÓBICA A PARTIR DEL TRONCO SUPERIOR EN LOS CASOS DE LIGAMENTOPLASTIA DE RODILLA

IMPROVING OF THE PHYSICAL AEROBIC CONDITION FROM THE TOP TRUNK IN CASES OF KNEE LIGAMENTOPLASTY

Autor:

García-Llorent, F.J.⁽¹⁾; Suárez-Ferrero, A.⁽²⁾.

Institución:

⁽¹⁾FREMAP Tres Cantos (España). pacyta@telefonica.net

⁽²⁾Universidad Europea Madrid (España).

Resumen:

Objetivo: este estudio pretende medir los efectos de un entrenamiento realizado a partir del tronco y extremidades superiores mediante la actividad del remo en los casos de ligamentoplastia de rodilla como suplemento de una recuperación convencional ambulatoria.

Protocolo: veinticuatro jugadores de baloncesto (edad: 24±3 años) fueron repartidos de manera aleatoria mediante sorteo en dos grupos de 12. Un primer grupo piloto que siguió una reeducación convencional y estandarizada durante cinco semanas sin entrenamiento específico al esfuerzo. El segundo grupo participó como suplemento en 15 sesiones de entrenamiento de resistencia mediante remo. Los sujetos entrenados en resistencia realizaron sesiones de 21 minutos, alternando tres minutos a frecuencias cardíacas (FC) correspondientes al 70% de su VO₂máx y tres minutos al 85%. La evaluación inicial (E1) del potencial cardiorrespiratorio máximo desarrollado por el remo

fue efectuada el primer día de la recuperación, que fue a los 6 días de media tras la intervención; y la evaluación final (E2) se realizó a los 35 días.

Resultados: tras cinco semanas de reeducación convencional, registramos en la E2 para el grupo piloto una disminución significativa ($p < 0,05$) de la capacidad máxima aeróbica (CMA), del máximo consumo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) y de la ventilación máxima (VE_{max}) del 11, 12 y 13%. En cambio, el grupo entrenado conserva, de media, unos valores máximos de FC y de VO_{2max} similares a los registrados en la E1 y aumenta un 14% la CMA y un 15% la VE_{max} . Además, los primeros y segundos umbrales ventilatorios se localizaron en intensidades de ejercicios más elevadas.

Conclusión: en el caso de jugadores de baloncesto operados de una ligamentoplastia de rodilla, la reeducación convencional no permite luchar contra los procesos de desacondicionamiento cardiorrespiratorio. La práctica del remo se presenta como suficiente para limitar los efectos de la hipoactividad funcional sobre el componente cardiorrespiratorio.

Palabras Clave:

Deportistas, Rehabilitación, Entreno al esfuerzo.

Abstract:

Objective: to examine cardiorespiratory fitness changes in subjects having undergone knee surgery and to assess the benefits of rowing aerobic training program during the rehabilitation period.

Method: two groups of 12 patients took part in this study. The control group profited from a five weeks conventional rehabilitation in day hospital without cardiorespiratory training. The second group profited in supplement from a rowing aerobic training program. The subjects were trained for 21 min, by alternating 3 min at 70% and 3 min at 85% of VO_{2peak} . They totaled 15 sessions spread over five weeks. The initial evaluation (T1) is carried out the first day of rehabilitation and the final evaluation (T2) at a distance within 35 days.

Results: after five weeks of conventional rehabilitation, we record a reduction of peak power output (W_{peak}), peak oxygen uptake ($VO_{2\text{peak}}$) and peak minute ventilation (VE_{peak}), respectively of 11, 12 and 13% for the control group. On the other hand, in T2, the training group has on average identical maximum values and some of them increased (W_{peak} : +14%; VE_{peak} : +15%). The first and second ventilatory thresholds appear with higher intensities of exercises.

Conclusion: after knee surgery, conventional rehabilitation does not limit cardiorespiratory deconditioning. Rowing appears to be an adapted method to stop the effects of hypoactivity.

Key Words:

Sportsmen, Rehabilitation, Aerobic exercises.

INTRODUCCIÓN

La actividad motriz residual queda limitada tras una ligamentoplastia de rodilla. Para este tipo de paciente es imposible en primera instancia realizar bicicleta, natación o carrera en cinta; ejercicios que solicitan de manera importante la gran función cardíaca y respiratoria (11). La restricción de la actividad física tiene un efecto negativo sobre los parámetros cardíacos, hemodinámicos y musculares (18, 20) conllevando una ineptitud ante el esfuerzo. Las consecuencias de una ligamentoplastia de rodilla suponen en el caso del deportista una disminución significativa del volumen diastólico y del volumen de eyección sistólica del 23 y 27% respectivamente, junto con una disminución registrada del consumo máximo de oxígeno del -7% (21). El reacondicionamiento cardiorrespiratorio tras la ligamentoplastia podría ser realizado a través del ejercicio del tronco y extremidades superiores (mediante remo) o a partir del miembro inferior sano (pedaleo unilateral). Existen artículos que corroboran lo anterior como el publicado por Chin et al. (5, 7) en el caso de amputados. En individuos sanos, los beneficios de un entrenamiento unilateral sobre el componente cardiorrespiratorio han sido demostrados en numerosos estudios (9, 12, 16). Aunque hay trabajos que concluyen que los efectos centrales y cardíacos de dicho tipo de entrenamiento son poco significativos con respecto a los beneficios periféricos (9, 28).

Así, aunque los objetivos prioritarios en las primeras semanas de un programa de rehabilitación de una ligamentoplastia sean la recuperación trófica, la ganancia de movilidad articular y la analgesia (13, 15), los datos de la literatura sobre el desacondicionamiento al esfuerzo ponen en evidencia la importancia de sumar a la recuperación convencional ejercicios que soliciten la función cardíaca y respiratoria (14). Ahora bien, no conocemos ningún estudio que haya demostrado en el medio hospitalario el beneficio del ejercicio del tronco y extremidades superiores en la recuperación física de deportistas operados de ligamentoplastia de rodilla.

El objetivo de este estudio consiste en medir la importancia de prescribir un entrenamiento del tronco y miembros superiores a partir de un ejercicio de remo como suplemento a un protocolo de reeducación convencional para ligamentoplastia de rodilla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Población

Veinticuatro jugadores de baloncesto de nivel regional participaron en este estudio. Los datos antropométricos de los sujetos están representados en la Tabla 1. Los pacientes fueron remitidos a los diferentes servicios de fisioterapia y recuperación funcional a los 15 ± 2 días de la cirugía de reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Se realizaron cinco sesiones de recuperación por semana. Como media, pasaron 30 días desde el traumatismo lesional hasta el acto quirúrgico.

Los pacientes reclutados se presentaron como voluntarios y fueron informados del protocolo a seguir, firmando finalmente un consentimiento por escrito.

Tabla 1. Datos antropométricos y características clínicas de los pacientes

	Edad (años)	Talla (cm)	Peso (Kg)	IMC Índice masa corporal	Desde lesión/cirugía (días)
Grupo entrenado n=12	25 \pm 3	190 \pm 4	79 \pm 3	22 \pm 0,3	28 \pm 8
Grupo control n=12	23 \pm 3	184 \pm 4	77 \pm 4	22 \pm 0,3	34 \pm 10

Protocolo

Los sujetos fueron evaluados, tras aviso previo, al inicio y al final del estudio. La evaluación inicial (E1) fue efectuada el primer día de entreno (15 días de postoperatorio) y la final (E2) a los 35 días. Todas las evaluaciones se llevaron a cabo por la mañana y en condiciones similares. Inicialmente se realizó una prueba de esfuerzo máximo a partir del tronco y miembros superiores. Tras esta prueba, la muestra se dividió en dos grupos de 12 de manera aleatoria (sorteo). El grupo piloto se beneficiaría de una reeducación estandarizada sin reentreno cardiorrespiratorio específico, mientras que el grupo entrenado tuvo como suplemento un entrenamiento individualizado de resistencia utilizando una máquina de remo.

Se utilizaron unas máquinas de remo DKN Remo R - 400®. El miembro lesionado quedaba, evidentemente, libre en posición de reposo.

La primera fase del ejercicio se realizó contra una resistencia de 50 W, posteriormente ésta fue aumentando en 10 W por fase cada dos minutos. Los pacientes tenían la consigna de conseguir la fase más alta posible y fueron animados en todo el transcurso del test.

La prueba era considerada como máxima cuando dos de los tres criterios siguientes aparecían: VO_2 no aumentaba a pesar de aumentar la potencia, el coeficiente respiratorio era superior a 1,10 y la frecuencia de remo no se respetaba aunque fueran animados.

Los parámetros respiratorios (VO_2 , VE) fueron medidos continuamente mediante un ergospirómetro de circuito abierto de tipo CPX (D) (Medical Graphics, Saint-Paul, Minnesota, USA). El aparato era calibrado antes de cada evaluación según las recomendaciones del fabricante. Los umbrales respiratorios fueron determinados por los métodos gráficos de Wassermann (30) y Beaver (2). El primer umbral ventilatorio (UV1) se identificó mediante el

aumento de la curva VE/VO₂ sin aumento de la relación VE/VCO₂ (30). Las curvas fueron interpretadas por dos expertos no concertados. En cada prueba, se registró continuamente la frecuencia cardiaca (FC) (Polar® S610) y los parámetros cinemáticos de potencia (en Watios) recogidos.

El entrenamiento con remo fue individualizado y de forma intermitente. Consistió en varias series de ejercicios alternos con periodos de recuperación activa. Con el fin de adaptar el protocolo a las exigencias de la reeducación, los sujetos fueron entrenados durante 21 minutos, alternando 3 minutos con una FC correspondiente al 70% de su VO_{2max} y 3 minutos al 85%. Se realizaron 15 sesiones repartidas en cinco semanas (3 sesiones semanales). En cada entrenamiento se verificó si la intensidad del ejercicio propuesto era la adecuada mediante un control de la FC con un cardifrecuenciómetro. En el transcurso de las sesiones, la resistencia fue regularmente reajustada tan pronto como los sujetos bajaban de diez pulsaciones su FC durante la última fase del ejercicio.

El grupo de reeducación convencional trabajó cinco días a la semana a razón de cinco horas al día. Fuese cual fuese la técnica quirúrgica utilizada, el protocolo de rehabilitación era estándar. Los pacientes portaban bastones de apoyo y ortesis de inmovilización para los desplazamientos durante una quincena de días. Se utilizó el artromotor sólo los cinco primeros días. Se realizó movilización de patela y articular general. Se estimuló cuádriceps para conseguir lo antes posible la extensión completa de rodilla. Se solicitaron contracciones simultáneas de los músculos cuádriceps e isquiotibiales, primero de forma estática y posteriormente en cadena cinética cerrada (17, 31). Se practicaron estiramientos de isquiotibiales y trabajo propioceptivo en descarga. Por último, utilizaron la termoterapia y el drenaje linfático para favorecer la regresión del edema de las partes blandas, del derrame intra-articular y de la estasis venosa (3, 4).

Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos se realizaron con el sistema SPSS 15.0. Los valores máximos se compararon antes y después de la reeducación con la ayuda del test de Student para muestras similares. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con dos variables (tiempo/reeducación) en mediciones repetitivas para apreciar la evolución de los diferentes parámetros de E2 (FC, VO₂). El umbral de significación se fijó en $p < 0,05$.

RESULTADOS

No encontramos diferencia significativa entre los dos grupos para el conjunto de nuestros parámetros en E1. Sí observamos diferencia significativa entre los dos grupos en E2 ($p < 0,05$). En la E2, los valores de CMA, de VO_{2max}, de VE_{max}, y de UV₂ son significativamente inferiores para el grupo piloto comparados con los del grupo entrenado (Tabla 2).

Los pacientes entrenados aumentaron en la E2 su potencia máxima un 14%. Los umbrales ventilatorios aparecieron en unos niveles de potencias infra-máximas superiores (Tabla 2). Para los sujetos del grupo control, los valores de potencia máxima eran significativamente inferiores y el UV₂ aparecía como media en unos niveles de potencia más bajos (93 ± 9 en E1 vs 85 ± 8 W en E2; $p < 0,05$).

En cuanto a los valores de FC_{max}, no encontramos diferencia significativa entre los dos tests para los dos grupos (Tabla 2). Se exponen en las figuras 1 y 3 las evoluciones medias de las FC registradas en el transcurso de las pruebas de esfuerzo, antes (E1) y después (E2) de la reeducación. La potencia es expresada en porcentaje de la CMA inicial obtenida en E1. En la E2 los valores medios de FC obtenidos por el grupo control son significativamente más elevados que en la E1 (Fig. 2), al contrario que para el grupo entrenado, que son inferiores (Fig. 1).

Para una misma potencia, los VO₂ medios de los sujetos entrenados fueron significativamente inferiores tras el período de entrenamiento (Fig.3). Los valores de VO_{2max} fueron estadísticamente invariables mientras que el VE_{max} tuvo un aumento del 15% (Tabla 2). En cuanto al grupo control (Fig. 4), los resultados fueron inversos. Con la excepción de la primera fase del ejercicio, las VO₂ medias obtenidas en cada fase de potencia fueron superiores en E2 comparativamente con E1. Además en E2 los VO_{2max} y VE_{max} fueron significativamente inferiores ($p < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Valores medios obtenidos en las pruebas de esfuerzo antes (E1) y después del entreno (E2).

	CMA (W)	VO _{2max} (ml/min/kg)	VE _{max} (l/min)	FC _{max} (latidos/ min)	UV1 (W)	UV2 (W)
Grupo entrenado	132±9	27±4	83±17	188±9	63±7	86±9
E1						
Grupo control	133±11	28±4	86±21	184±7	69±5	93±9
Grupo entrenado	152±9*	29±5	92±20*	191±8	73±8*	97±8*
E2						
Grupo control	125±10**	26±4**	76±16**	185±5	71±5	85±8**

CMA: capacidad máxima aeróbica; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno; VE_{max}: ventilación máxima; FC_{max}: frecuencia cardíaca máxima; UV1: primer umbral respiratorio; UV2: segundo umbral respiratorio; *: valores significativamente diferentes ($p < 0,05$) de los obtenidos en E1 para un mismo grupo; **: valores significativamente diferentes ($p < 0,05$) con los del grupo entrenado en E2.

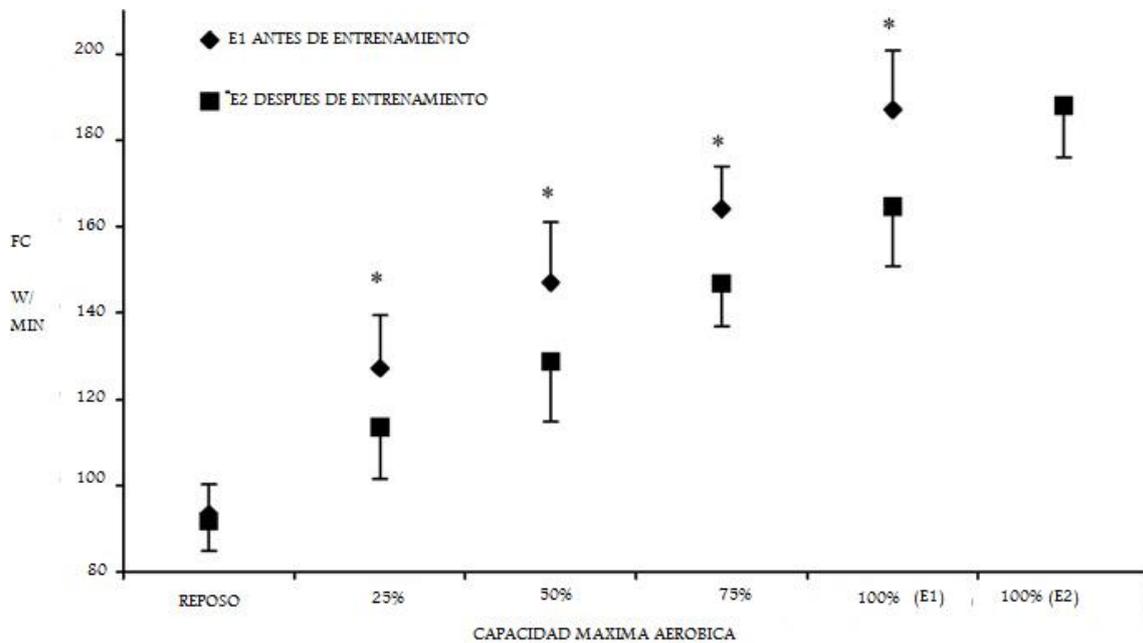


Fig. 1. Evolución media de la FC del grupo entrenado (n=12). Valores expresados en porcentaje de la CMA obtenida en E1. * $p < 0,05$.

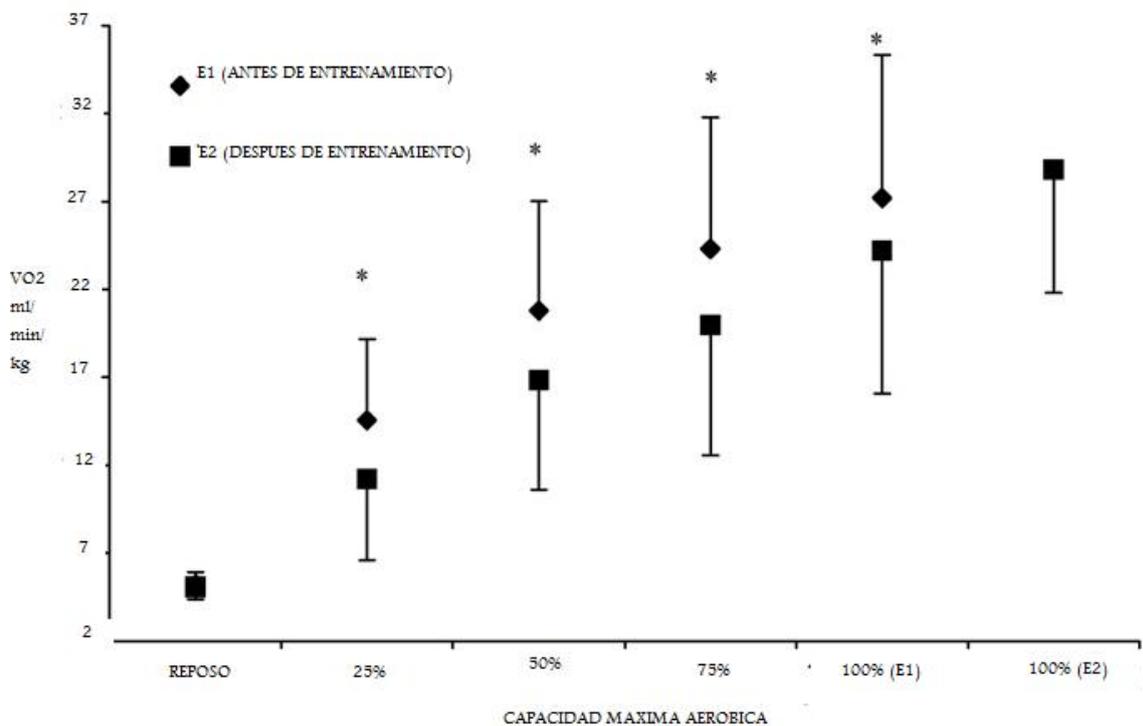


Fig. 2. Evolución media de la VO2 del grupo entrenado (n=12). Valores expresados en % de la CMA obtenida en E1. * $p < 0,05$.

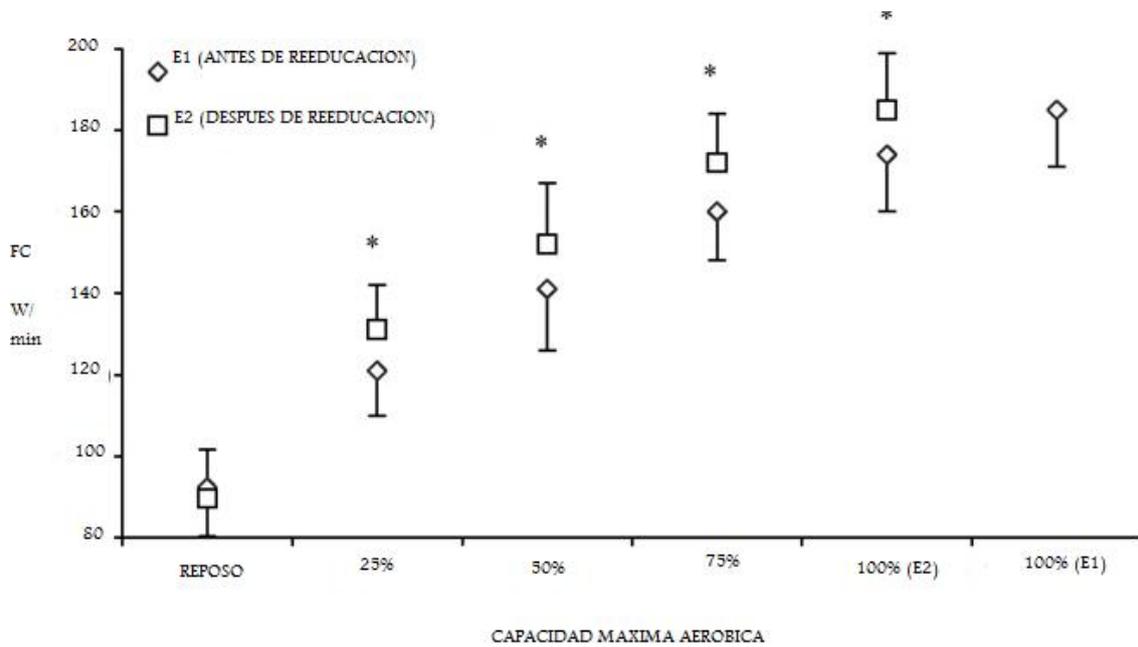


Fig. 3. Evolución media de la FC del grupo control (n=12). Valores expresados en % de la CMA obtenida en E1. * $p < 0,05$.

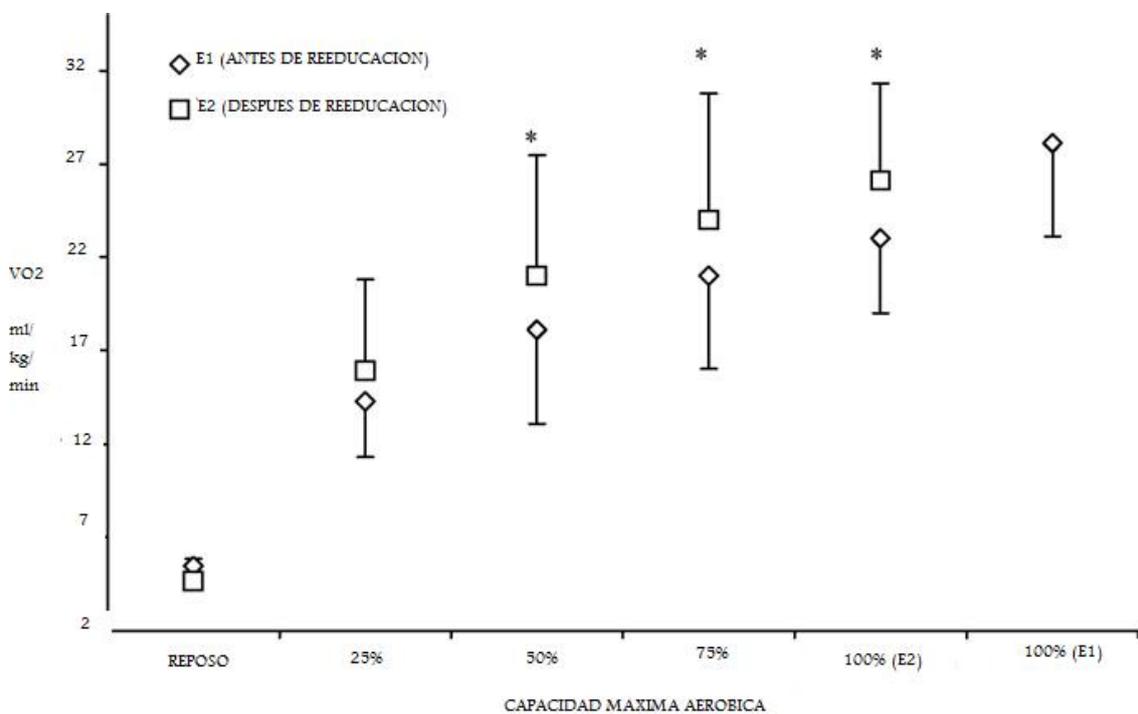


Fig. 4. Evolución media del VO2 del grupo control (n=12). Valores expresados en porcentaje de la CMA obtenida en E1. * $p < 0,05$.

DISCUSIÓN

Tras cinco semanas de reeducación sin entrenamiento específico, registramos un descenso de la CMA y del VO_{2max} del 11 y 12% respectivamente (Tabla 2). Se intentó luchar con las cinco semanas de reeducación contra los procesos de desadaptación al esfuerzo (21, 23) secundarios a la interrupción de la actividad deportiva (de una duración media de $3,1 \pm 0,2$ meses tras el traumatismo) seguidos del período de convalecencia postquirúrgica.

Nuestros resultados son difícilmente comparables con algunos de la literatura, ya que ningún estudio ha tratado, en condiciones reales, las repercusiones de una hospitalización sobre las funciones cardiovasculares. La mayoría de los protocolos experimentales están basados sobre el decúbito estricto durante un largo período (10 á 30 días) y sin ningún acto quirúrgico, por lo que es evidente que estos estudios no han tenido en cuenta las condiciones particulares de los deportistas que han sufrido ligamentoplastia de rodilla. Parece que el reentrenamiento progresivo a la marcha, la dinamización muscular y las diferentes técnicas utilizadas durante estas cinco semanas de reeducación tuvieron poco efecto sobre los procesos de reacondicionamiento físico de los sujetos, provocando un aumento del proceso de descompensación respiratoria. La disminución de la capacidad aeróbica podría explicarse por una desadaptación cardíaca (19). El factor determinante del desacondicionamiento cardíaco es probablemente debido a la disminución de la volemia misma explicada por la disminución de la concentración de catecolaminas, hormonas antidiuréticas y proteínas plasmáticas (24). Este descenso de la volemia podría conllevar una perturbación del retorno venoso asociado a un aumento de la viscosidad de la sangre y de las resistencias periféricas totales (1). Estos elementos tienen como consecuencia un relleno cardíaco menor y una disminución de las capacidades de pre-carga cardíaca.

Aunque la deambulacion con muletas ocasiona un consumo energético muy superior a la marcha normal, como ha demostrado Vézirian (29), este García-Llorent, F.J.; Suárez Ferrero, A. (2012). Mejora de la condición física aeróbica a partir del tronco superior en los casos de ligamentoplastia de rodilla. *Trances*, 4(3):247-266.

desplazamiento no constituye un ejercicio compensatorio. La actividad locomotriz residual empeora las aptitudes funcionales cardiorrespiratorias. Hickson (14) sugirió que para conservar los logros de un entrenamiento la intensidad de los ejercicios debe situarse en los umbrales del 70% del VO_{2max} con un mínimo de tres sesiones por semana. Habida cuenta de nuestros resultados y en función de nuestra muestra, creemos indispensable prescribir ejercicios de resistencia a una intensidad superior al 70% de VO_{2max} durante el período de reeducación postoperatoria.

Con el ejercicio infra-máximo y más allá del 25% de la CMA, observamos en la E2 una bradicardia media de 20 ± 6 latidos por minuto (Fig. 1). Los valores de VO_2 son igualmente inferiores tras el entrenamiento en la E2 (Fig. 2) y significativamente inferiores. Los dos umbrales ventilatorios se localizaron en intensidades superiores manifestando una mejora de la condición aeróbica (Tabla 2).

Con el ejercicio máximo, la CMA es superior hasta un 14% y la VE_{max} aumentó un 15% (Tabla 2). No se registró ninguna diferencia para la VO_{2max} (E1: 27 ± 4 vs E2: 29 ± 5 ml/min por kilogramo). Sin embargo, algunos autores han observado aumentos del 14 al 26% tras un entrenamiento de resistencia con el miembro inferior sano en bicicleta (9, 27). La programación de nuestro entrenamiento podría explicar tales diferencias. Los protocolos utilizados por estos autores tuvieron una duración de trabajo superior al nuestro (mínimo de 30 minutos) con intensidades superiores al 75% del VO_{2max} y durante períodos comprendidos entre seis y ocho semanas (9, 16, 25). La fase de entrenamiento, dentro de un contexto de reeducación, es más corta ya que depende de la estancia del paciente y de su estado de salud. Al ser asumida la recuperación de manera multidisciplinar, las sesiones de trabajo son necesariamente adaptadas y compuestas de duraciones y de intensidades menos importantes. Nuestro protocolo experimental no está en concordancia con los trabajos citados y podría explicar nuestros valores invariables de VO_{2max} . Estos datos invariables de VO_{2max} podrían también explicarse por el **García-Llorent, F.J.; Suárez Ferrero, A. (2012). Mejora de la condición física aeróbica a partir del tronco superior en los casos de ligamentoplastia de rodilla. *Trances*, 4(3):247-266.**

hecho de que la masa muscular solicitada durante la evaluación fue baja, así es posible que sea el paso a acidosis (cansancio muscular local) a nivel de las cadenas musculares solicitadas lo que hubiera forzado a la parada del esfuerzo antes de que la sollicitación cardiovascular fuese óptima. El ejercicio con remo podría entrenar adaptaciones específicas que serían más de orden periférico (8, 27). En realidad, con pequeñas masas musculares puestas en juego, el aumento de la capacidad aeróbica no sería debido a las adaptaciones centrales (cardíaca) sino sobre todo a una mejora de la vascularización de los tejidos entrenados (27). Para confirmar que las adaptaciones son de orden periférico, Thomas et al. (27) mostraron que tras un entrenamiento de resistencia con la pierna sana, el aporte sanguíneo de la pierna no entrenada era idéntico a cualquier intensidad de ejercicio. Por lo tanto, las adaptaciones inducidas por un entrenamiento de pedaleo unilateral serían esencialmente de orden muscular y los beneficios de este entrenamiento sobre el lado contralateral serían difícilmente concebibles. La mejora de la fuerza cardíaca (aumento del volumen de eyección sistólica) está ligada a la importancia de la carga ejercida sobre el corazón durante el entrenamiento (16). Los efectos circulatorios son más importantes cuando los ejercicios solicitan una gran masa muscular. Aunque con el remo solicitamos mayor masa muscular que con el pedaleo unilateral, parece seguir siendo insuficiente para influir en las adaptaciones sobre las funciones cardíacas, no obstante sí parece ser un medio eficaz para limitar el desacondicionamiento al esfuerzo. Además este entrenamiento podría conllevar una mejora de la disfunción endotelial teniendo como consecuencia una mejor adaptación de la vasodilatación endotelio-dependiente y una mejor respuesta periférica arterial a las condiciones de esfuerzo (10). Este tipo de ejercicio podría también provocar un aumento de la variabilidad sinusal, testimoniando el reequilibrado del sistema neurovegetativo en provecho de la cadena parasimpática (24). Estas diferentes adaptaciones no pueden conllevar efectos positivos en cuanto a la reanudación de la actividad física.

Aunque nuestros resultados evidencian una mejora significativa, esta debe ser tomada con prudencia. Este aumento en el rendimiento no es debido García-Llorent, F.J.; Suárez Ferrero, A. (2012). Mejora de la condición física aeróbica a partir del tronco superior en los casos de ligamentoplastia de rodilla. *Trances*, 4(3):247-266.

solamente a una mejora metabólica sino también a la eficacia gestual; los pacientes en el transcurso del período de entrenamiento se instauran en un proceso económico (eliminación de movimientos compensatorios) y esta estrategia podría explicar el aumento de la CMA (+14%). Una de las limitaciones de este estudio es la ausencia de evaluación a largo plazo con el fin de obtener más precisión sobre los efectos de este reentrenamiento. Sería recomendable e interesante una nueva evaluación próxima al retorno deportivo.

No obstante, este trabajo ofrece nuevas perspectivas para algunas patologías como las reumatológicas y neurológicas. En definitiva, cualquier paciente con imposibilidad en miembros inferiores podría mejorar su capacidad cardiorrespiratoria y respuesta al esfuerzo con un ejercicio como el remo.

CONCLUSIÓN

En el caso de jugadores de baloncesto operados de ligamentoplastia de rodilla, una reeducación ambulatoria de cinco semanas tendría poco efecto sobre los procesos de reacondicionamiento de los sujetos. Aunque los objetivos prioritarios de los protocolos de tratamiento estén centrados sobre la recuperación trófica, muscular, articular y analgésica, nuestros resultados muestran la importancia de sumar ejercicios que soliciten la función cardíaca y respiratoria. Parece pues, que la práctica del remo es interesante para aumentar la condición aeróbica de los deportistas con lesiones en miembros inferiores que conlleven período de descarga.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bassey EJ et al. Effects of surgical operation and bed rest on cardiovascular responses to exercise in hospital patients. *Cardiovasc Res* 1973;7:588–92.
2. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60:2020–7.
3. Castro AM. Fisioterapia en la enfermedad vascular periférica. *Fisioterapia* 2009; 31 (2):43.
4. Ramos ME y cols. Eficacia de la Fisioterapia en la insuficiencia venosa crónica en evolución. *Fisioterapia* 2009; 31 (2): 55-59.
5. Chin T et al. The efficacy of the one-leg cycling test for determining the anaerobic threshold (AT) of lower limb amputees. *Prosthet Orthot Int* 1997;21:141–6.
6. Chin T et al. Effect of endurance training program based on anaerobic threshold (AT) for lower limb amputees. *J Rehab Res Dev* 2001;38:7–11.
7. Chin T et al. Physical fitness of lower limb amputees. *Am J Phys Med Rehab* 2002; 81:321–5.
8. Clausen JP. Effect of physical training on cardiovascular adjustments to exercise in man. *Physiol Rev* 1977;57:779–815.
9. Davies CT, Sargeant AJ. Effects of training on the physiological responses to one-and two-leg work. *J Appl Physiol* 1975;38:377–85.
10. Didier JP. *La plasticité de la fonction motrice*. Springer; 2004.

11. Fisher D, Tewes D, Boyd J, Smith J, Quick D. Home based rehabilitation for anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop* 1998;347:194–9.
12. Futoshi O, Stam RP, Tazawa HO, Toussaint HM, Hollander AP. Oxygen uptake in one legged and two legged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1737–42.
13. Emerson RJ: El ligamento cruzado anterior y las lesiones de rodilla en el baloncesto. *Clínicas de Medicina Deportiva* 1993, vol. 2, 313–325.
14. Hickson RC, Foster C, Pollock ML, Galassi TM, Rich S. Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol* 1985;58:492–9.
15. Fithian DC, Daniel DM, Faugsten JP, Stone ML: Rehabilitación después de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior. En: *Cirugía de la rodilla. Conceptos actuales y controversias*. Autor: Sanchis Alfonso V. Cap. 4, págs. 55-69. Edit. Médica Panamericana. 1995.
16. Klausen K, Secher NH, Clausen JP, Hartling O, Trap-Jensen J. Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. *J Appl Physiol* 1982;52:976–83.
17. Lurz GE, Palmiter RA, Chaos EYS. Comparison of tibio femoral joint forces during open kinetic chain and closed kinetic chain exercises. *J Bone J Surg* 1993;75:732–9.
18. Mujika I. Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: Short-term insufficient training stimulus. *Sports Med* 2000;30:79–87.

19. Mujika I, Padilla S. Cardiorespiratory and metabolic characteristic of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:413–21.
20. Mujika I, Padilla S. Muscular characteristics of detraining in humans. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1297–303.
21. Olivier N, Legrand R, Rogez J, Berthoin B, Weissland T. Etude préliminaire de la désadaptation cardio-respiratoire après une ligamentoplastie de genou chez le sportif. *Ann Read Med Phys* 2006;49:589–94.
22. Olivier N, Legrand R, Rogez J, Berthoin S, Prieur F, Weissland T. One-leg cycling versus arm cranking: which one is the most appropriate for physical reconditioning after knee surgery? *Arch Phys Med* 2008;89:508–12.
23. Olivier N, Legrand R, Rogez J, Bethoin S, Weissland T. Effects of knee surgery on cardiac function in soccer players. *Am J Phys Med Rehab* 2007;86:45–9.
24. Pivarnik JM, Senay LC. Effects of exercise detraining and deacclimation to the heat on plasma volume dynamics. *Eur J Appl Physiol* 1986;55:222–8.
25. Ray CA. Sympathetic adaptations to one legged training. *J Appl Physiol* 1999;86:1583–7.
26. Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essen B, et al. The nature of the training response; peripheral and central adaptations of onelegged exercise. *Acta Physiol Scand* 1976;96:289–305.
27. Thomas SG, Cunningham DA, Pyley MJ, Boughner DR, Cook RA. Central and peripheral adaptations of the gas transport system to one-leg training. *Can J Physiol Pharmacol* 1981;59:1146–54.

28. Thomas C, Howley T. Effect of one and two leg training on arm and two-leg maximum aerobic power. *Eur J Appl Physiol* 1993;66:285–8.

29. Vezirian T, Voisin P, Leleu B, Vanvelcenaher J, Dupont L, Dupont B, et al. Détermination d'une épreuve de béquillage unipodal en vue du calcul de l'indice du coût physiologique (I.C.P.) 2003. VIIe J.N.K.S. PARIS.

30. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:36–45.

31. Yack HJ, Collins CE, Whieldon TJ. Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 1993;21:49.

