



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
SECRETARÍA DE SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN
ESPECIALIDAD EN:
MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA

**“COMPARACIÓN DE DOS ESQUEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE
CREATINA EN LA GANANCIA DE FUERZA DE PACIENTES POST
OPERADOS DE RECONSTRUCCIÓN DE LIGAMENTO CRUZADO
ANTERIOR”**

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE MÉDICO
ESPECIALISTA EN:

MEDICINA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTIVA

PRESENTA:
M. C. ALDO JASON PATIÑO CASTILLO

PROFESOR TITULAR
M. E. JOSÉ CLEMENTE IBARRA PONCE DE LEÓN

PROFESOR ADJUNTO
M. E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ

ASESORES DE TESIS
M. E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ
M. EN C. ANDREA PEGUEROS PÉREZ



MÉXICO, D. F. MAYO DE 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DRA. MATILDE L. ENRÍQUEZ SANDOVAL

DIRECTORA DE ESEÑANZA

DRA. XOCHIQUETZAL HERNÁNDEZ LÓPEZ

SUBDIRECTORA DE POSTGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA

DR. LUIS GÓMEZ VELÁZQUEZ

JEFE DE ENSEÑANZA MÉDICA

M.E. JOSÉ CLEMENTE IBARRA PONCE DE LEÓN

PROFESOR TITULAR

M.E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ

PROFESOR ADJUNTO

M.E. JOSÉ GILBERTO FRANCO SÁNCHEZ

ASESOR CLÍNICO

M. EN C. ANDREA PEGUEROS PÉREZ

ASESOR METODOLÓGICO

A todos los que me han acompañado, me han apoyado y han contribuido en
mi desarrollo humano y profesional

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
1. ANTECEDENTES	3
1.1 Introducción	3
1.2 Marco Teórico	4
1.2.1 Ligamento Cruzado Anterior	4
1.2.2 Rehabilitación	5
1.2.3 Adaptaciones al entrenamiento contra resistencia	5
1.2.4 Valoración de la fuerza muscular	6
1.2.5 Creatina	6
A) Aspectos generales	6
B) Metabolismo	7
C) Efectos ergogénicos	7
D) Farmacología clínica	7
E) Efectos secundarios	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
4. OBJETIVOS	11
4.1 Objetivo General	11
4.2 Objetivos Particulares	11
5. Hipótesis	12
6. DESARROLLO EXPERIMENTAL	13
6.1 Diseño del estudio	13

6.2 Población y conformación de los grupos de estudio	13
6.3 Grupos de estudio	13
6.4 Metodología	14
6.4.1 Determinación del pico de torque de flexores y extensores de rodilla	14
6.4.2 Programa de reacondicionamiento físico	14
6.5 Análisis estadístico	14
7. RESULTADOS	15
7.1 Valoración Isocinética del Pico de Torque a 60°/s	15
7.2 Ganancia de Fuerza	16
8. DISCUSIÓN	18
9. CONCLUSIONES	20
ANEXO A CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO	21
ANEXO B ENTRENAMIENTO DE FUERZA	23
ANEXO C EJERCICIOS DE FLEXIBILIDAD	24
ANEXO D Cronograma y Registro de Actividades	25
REFERENCIAS	26

RESUMEN

En la actualidad las lesiones relacionadas a la actividad física y deportiva son una causa importante de solicitud de atención médica, varios estudios han demostrado que la extremidad principalmente afectada es la inferior, y de esta, la rodilla es una de las estructuras más frecuentemente lesionadas, siendo la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) la principal causa de incapacidad para la práctica deportiva ^(1, 2, 3).

La meta de cualquier protocolo de rehabilitación en una reconstrucción del LCA es devolver al paciente al nivel de actividad deseado de forma completa en el menor espacio de tiempo posible, principalmente mediante el entrenamiento de fuerza, evitando cualquier complicación ⁽⁴⁾.

La ingesta de creatina se ha utilizado en varios contextos, estudios recientes demuestran que la administración de creatina aunada a un programa de entrenamiento de fuerza, favorece la recuperación del volumen y la fuerza muscular después de períodos de inactividad, inmovilización o lesión ^(12, 13, 14, 15, 16).

Actualmente, el esquema de dosificación utilizado para la administración de creatina es el sugerido por los fabricantes. La evidencia más reciente parece indicar que no es necesaria una dosificación tan alta para obtener resultados favorables, lo que podría significar menor costo, mejor apego al tratamiento y posiblemente menor incidencia de efectos secundarios. Sin embargo, no se han estudiado diferentes esquemas de dosificación para la administración de creatina que proporcionen información suficiente para establecer la dosis que combinada con un programa de reacondicionamiento físico ayude a obtener los mejores resultados dentro del proceso de rehabilitación de los pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos regímenes de administración de monohidrato de creatina aunados a un programa de fortalecimiento mediante ejercicios isotónicos, en la ganancia de fuerza muscular de isquiotibiales y cuádriceps de pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

La muestra quedó conformada por 30 pacientes del género masculino, que fueron divididos en tres grupos de 10 pacientes cada uno, el grupo control únicamente realizó el programa de fortalecimiento muscular, el grupo experimental 1 (E1) recibió una dosis alta de creatina durante el período de fortalecimiento muscular y el grupo experimental 2 (E2) recibió una dosis baja durante el período de fortalecimiento.

Los resultados obtenidos muestran que no hubo diferencias significativas entre los grupos de estudio en la evaluación inicial y que después de la intervención se obtuvo una ganancia de fuerza significativa en la musculatura extensora de la extremidad involucrada para los grupos E1 y E2. Por otra parte sólo se observó ganancia significativa de fuerza en el grupo E2 para los músculos flexores de la extremidad involucrada.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la administración de creatina a dosis bajas durante las primeras 4 semanas de fortalecimiento muscular en pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior parece ser más efectiva que la dosis alta en la ganancia de fuerza de los músculos flexores y extensores de rodilla.

1. ANTECEDENTES

1.1 Introducción

En la actualidad las lesiones relacionadas a la actividad física y deportiva son una causa importante de solicitud de atención médica, esto se debe al elevado número de participantes en actividades recreativas y deportivas que no están preparados físicamente para tolerar las demandas de dichas actividades. Durante la actividad física y deportiva varios estudios han demostrado que la extremidad principalmente afectada es la inferior, y de esta, la rodilla es una de las estructuras más frecuentemente lesionadas, siendo la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) la principal causa de incapacidad para la práctica deportiva dada su función de estabilizador primario de la rodilla ^(1, 2, 3).

Cuando existe una lesión del LCA, los estabilizadores secundarios ayudan a compensar el funcionamiento de este ligamento. Al aumentar la fuerza de los músculos isquiotibiales, se reduce el desplazamiento anterior de la tibia ⁽¹⁾, sin embargo es frecuente que estos estabilizadores secundarios también se encuentren lesionados o carezcan de la fuerza necesaria y los mecanismos complementarios sean insuficientes para dar estabilidad a la rodilla favoreciéndose las lesiones en el cartílago articular y los meniscos ^(1,4).

El tratamiento conservador únicamente con rehabilitación ofrece pobres resultados, principalmente en aquellos pacientes que regresan a la actividad deportiva, por lo que el tratamiento de elección es la reconstrucción del LCA, cuyo objetivo es recuperar la fuerza, situación y función del ligamento intacto ⁽⁴⁾, aunque aún existe controversia sobre el tratamiento óptimo de este tipo de lesiones en las diferentes etapas de su evolución ⁽¹⁾.

La rehabilitación es fundamental después del tratamiento quirúrgico, para eliminar el dolor, recuperar la movilidad y sobre todo la fuerza muscular ⁽⁴⁾, que como se mencionó anteriormente, juega un papel importante en la estabilidad de la rodilla, ya que hay estudios que sugieren que el LCA tiene una participación fundamental en la transmisión de estímulos propioceptivos ^(1, 5) y el ligamento reconstruido carece de estos receptores.

La meta de cualquier protocolo de rehabilitación en una reconstrucción del LCA es devolver al paciente al nivel de actividad deseado de forma completa en el menor espacio de tiempo posible, principalmente mediante el entrenamiento de fuerza, evitando cualquier complicación ⁽⁴⁾.

La ganancia de fuerza está fuertemente influenciada por el ejercicio contra resistencia, el cual induce cambios adaptativos en la función neuromuscular y la morfología muscular. Se sabe que la ingesta de proteína tiene mejores resultados que el entrenamiento sólo, en la ganancia de fuerza y el tamaño muscular. La ingesta de creatina amplifica la respuesta hipertrófica al entrenamiento de fuerza, aunque algunos individuos pueden no responder positivamente ⁽⁶⁾.

Los posibles efectos ergogénicos de la creatina han llevado a un incremento en su utilización, principalmente durante los períodos de entrenamiento de los atletas para mejorar la fuerza y el desempeño muscular ⁽⁷⁾ y aumentar también la masa muscular; estudios de laboratorio demuestran que mejora la capacidad de entrenamiento al incrementarse el desempeño en series cortas, no así en los trabajos prolongados, puesto que el sistema de los fosfágenos disminuye en su contribución al metabolismo energético mientras la duración del ejercicio se prolonga. Así

teóricamente, los sujetos pueden realizar más repeticiones, con más peso y recuperarse más rápidamente de sus sesiones de entrenamiento ^(8, 9, 10, 11).

La ingesta de creatina se ha utilizado en varios contextos, no sólo entre los atletas como ayuda ergogénica para mejorar la fuerza muscular, también se ha estudiado su potencial terapéutico para pacientes con alteraciones musculares por desuso o miopatías. La administración de creatina promueve el incremento en el área de las fibras musculares o la regeneración muscular después de la atrofia cuando se asocia al entrenamiento de fuerza ⁽¹²⁾.

Estudios recientes demuestran que la administración de creatina aunada a un programa de entrenamiento de fuerza, amplifica el incremento de células satélite, la expresión de factores miogénicos y la fusión mioblástica, favoreciendo la recuperación del volumen y la fuerza muscular después de períodos de inactividad, inmovilización o lesión ^(12, 13, 14, 15, 16).

En el Instituto Nacional de Rehabilitación (INR) se ha estudiado el efecto de la administración de creatina aunada a un programa de rehabilitación en pacientes con lesión de LCA, encontrando modificaciones antropométricas que son indicativas de un tratamiento adecuado en este tipo de pacientes ⁽¹⁷⁾, por lo que la administración de creatina durante el programa de fortalecimiento en pacientes post operados de LCA podría mejorar su desempeño durante las sesiones de entrenamiento y de esta manera hacer más efectiva su rehabilitación pudiendo incorporarse adecuadamente a sus actividades.

Sin embargo, aún cuando existen un sin número de estudios correspondientes a los efectos de la administración de creatina, no existe un acuerdo con respecto a la cantidad de creatina y el período de tiempo durante el cual debe administrarse, pues los resultados de dichos estudios reportan efectos positivos con distintos esquemas de dosificación ^(10, 18). Por este motivo es conveniente desarrollar estudios que ayuden a establecer la dosis y el tiempo de administración de creatina más efectivos durante la rehabilitación de pacientes post operados de ligamento cruzado anterior.

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Ligamento Cruzado Anterior

La articulación de la rodilla está compuesta por dos articulaciones: la articulación patelofemoral y la tibiofemoral. La articulación tibiofemoral es la articulación entre la parte proximal de la tibia y la distal del fémur. La articulación patelofemoral es la articulación entre la patela y la cara anterior de los cóndilos femorales.

La articulación tibiofemoral permanece estable gracias a la interacción de estabilizadores dinámicos y pasivos. La estabilidad dinámica está dada por la musculatura (cuádriceps, isquiotibiales) y la estabilidad pasiva está dada por las estructuras no contráctiles (ligamentos, meniscos).

El ligamento cruzado anterior actúa de manera conjunta con los músculos isquiotibiales evitando el desplazamiento anterior de la tibia, mientras que el ligamento cruzado posterior y el músculo cuádriceps evitan el desplazamiento posterior de la misma.

Las lesiones del ligamento anterior son comunes y aproximadamente 70% de estas lesiones ocurren en el deporte. Las reconstrucciones del LCA son el sexto procedimiento ortopédico más común en los Estados Unidos. Más de dos terceras partes de los pacientes con desgarros completos del LCA desarrollan inestabilidad y subsecuentemente, daño a los meniscos y las superficies articulares, lo cual afecta la funcionalidad de la rodilla y ocasiona disminución del nivel de actividad. De los pacientes con lesión del LCA, 31% de los pacientes refieren dificultad durante la marcha, 44% durante actividades de la vida diaria y al caminar y 77% reportan dificultad al realizar algún deporte como resultado directo de su lesión ⁽¹⁹⁾.

Entre 70% y 90% de las lesiones del LCA ocurren durante situaciones de no contacto, es decir sin contacto directo sobre la rodilla cuando la lesión ocurrió. La mayoría de estas lesiones ocurren en situaciones que involucran una o más de las siguientes maniobras:

- Pie con apoyo y rodilla en extensión completa ^(4, 19)
- Caída de salto en una pierna ⁽¹⁹⁾
- Desaceleración ⁽¹⁹⁾
- Cambio rápido de dirección ^(4, 19)

1.2.2 Rehabilitación

Un programa de rehabilitación para pacientes post operados de reconstrucción de LCA permite sanar al tejido y al mismo tiempo dará la pauta para el reacondicionamiento muscular. El programa está basado en factores cinemáticos, biomecánicos y kinesiológicos propios de la función del LCA. El programa se divide en fases, de las cuales, en la más temprana se pretende controlar las fuerzas traslacionales que actúan sobre el LCA mientras transcurre el tiempo necesario para permitir la revascularización del ligamento y la recuperación de los tejidos blandos. Durante este período, se realiza entrenamiento isométrico e isotónico del cuádriceps y los isquiotibiales en un rango limitado de movimiento. Así mismo, se hace hincapié en la movilización pasiva hasta alcanzar todo el arco de movilidad.

En las fases más avanzadas, el entrenamiento isotónico de fuerza continúa en el arco de movimiento completo y se trabaja también la coordinación y la resistencia muscular hasta alcanzar la estabilidad dinámica de la rodilla preparando al paciente para el retorno a la actividad sin restricciones ⁽²⁰⁾.

1.2.3 Adaptaciones al entrenamiento contra resistencia

Los músculos se atrofian, lo cual significa que reducen su tamaño y su fuerza, cuando se vuelven inactivos, como consecuencia de lesiones o de la falta de utilización.

Las acciones del entrenamiento contra resistencia están relacionadas con los tipos de acciones musculares. El entrenamiento contra resistencia puede usar acciones estáticas (denominadas acciones isométricas), acciones dinámicas, o ambas. Las acciones dinámicas incluyen el uso de pesos libres, resistencia variable, acciones isocinéticas y ejercicios pliométricos.

Las adaptaciones nerviosas acompañan siempre a las ganancias en fuerza que resultan del entrenamiento contra resistencia, pero la hipertrofia puede estar o no presente. Uno de los mecanismos nerviosos que conduce a ganancias en fuerza es la movilización de más unidades motoras para actuar sincronizadamente.

La hipertrofia muscular temporal es la sensación de hinchazón que se tiene inmediatamente después de la realización de una sesión de ejercicios. Es la consecuencia del edema y es de corta duración. La hipertrofia muscular crónica se produce como consecuencia del entrenamiento repetido contra resistencia y es el reflejo de verdaderos cambios estructurales en los músculos.

Aunque la mayoría de las hipertrofias musculares probablemente son el resultado de un incremento del tamaño de fibras musculares individuales (hipertrofia de fibras), algunas pruebas sugieren que pueden intervenir también un incremento del número de fibras musculares (hiperplasia) y la interconversión de las mismas de acuerdo al tipo de entrenamiento realizado.

Las características de las fibras musculares ST (slow twitch, lentas) y FT (fast twitch, rápidas) parecen quedar determinadas en una fase temprana de la vida, durante los primeros años. Los genes que heredamos de nuestros padres determinan que neuronas motoras inervan nuestras fibras musculares individuales. Después de haberse establecido la inervación, nuestras fibras musculares se diferencian (se especializan) según el tipo de neurona que las estimula. No obstante, hay pruebas recientes que sugieren que el entrenamiento puede causar desplazamiento de los tipos de fibras musculares causando cambios en el porcentaje de las mismas ⁽²¹⁾.

1.2.4 Valoración de la fuerza muscular

La valoración isocinética de la articulación de la rodilla provee datos cuantitativos del pico de torque para la musculatura agonista y antagonista durante la contracción. Este tipo de valoración se ha utilizado como una herramienta para la determinación de la predisposición a lesiones al evaluar el índice isquiotibiales:cuadriceps (I:C). Cuando una rodilla se encuentra lesionada, el índice I:C se puede utilizar como una herramienta para determinar las metas de la rehabilitación y el reacondicionamiento físico. En los pacientes con reconstrucción del ligamento cruzado anterior, los isquiotibiales pueden ayudar con la estabilización articular actuando como sinergistas del ligamento reconstruido ^(1, 4, 5, 20, 21).

1.2.5 Creatina

A) Aspectos generales

La creatina (ácido alfa-metil guanidino-acético) se encuentra ampliamente distribuida en el cuerpo humano, pero el 95% de esta se encuentra en el músculo esquelético y el restante 5% en cerebro, hígado, riñones y testículos. La creatina es obtenida a través de la dieta (aproximadamente 1 g/día en una dieta omnívora) y sintetizada en hígado, riñones y páncreas (1 g/día). La ingesta diaria y la producción endógena de creatina coinciden con la degradación espontánea de la fosfocreatina y la creatina en creatinina. Una vez formada, la creatinina entra en la circulación por difusión y es eliminada del cuerpo a través de la filtración glomerular. La administración de creatina ha mostrado reducir la producción endógena en humanos, pero esta se recupera por completo al terminar el período de administración.

B) Metabolismo

La creatina se deriva de glicina y arginina por la formación de guanidinoacetato y ornitina en una reacción catalizada por la arginina:glicina amidino-transferasa (AGAT). El paso limitante en la síntesis de creatina es la formación de guanidinoacetato por la AGAT. Otros factores que han mostrado regular la síntesis de creatina son la hormona tiroidea, la hormona del crecimiento, la testosterona, la ornitina y las deficiencias dietéticas ⁽²²⁾.

En el cuerpo, hay poca creatina en el lugar donde se produce, y por lo tanto debe ser transportada de las áreas de síntesis a las áreas de almacenamiento y utilización. Típicamente, los órganos que contienen los niveles más altos de AGAT tienen los niveles más bajos de creatina cinasa, la enzima responsable de la fosforilación de creatina en fosfocreatina. Debido a esto, la creatina debe entrar al torrente sanguíneo para alcanzar los tejidos en los que será utilizada. Una vez en la sangre, la creatina es transportada dentro de los tejidos contra el gradiente de concentración utilizando un transportador sodio y cloro dependiente (CreaT) ⁽²²⁾.

El entrenamiento de fuerza ha mostrado tener efectos que favorecen la captación muscular de creatina, probablemente por aumento del flujo sanguíneo, pero también podría deberse a un aumento en la translocación del transportador de creatina (CreaT) en la membrana muscular. Mecanismo similar al observado en la translocación del receptor GLUT-4. Así mismo, se ha observado que la ingesta de carbohidratos disminuye el área bajo la curva de la concentración plasmática de creatina, lo cual se atribuye a un efecto estimulador de la insulina en la captación muscular de creatina ⁽²²⁾.

Las concentraciones de trifosfato de adenosina (ATP) mantienen los procesos fisiológicos y protegen a los tejidos del daño inducido por hipoxia. La creatina está involucrada en la producción de ATP a través del sistema energético de la fosfocreatina (PCr), y es por esto que puede servir como un amortiguador energético y de pH pues la reacción que regula la formación de ATP es reversible ($ADP + PCr \leftrightarrow ATP + Creatina$) ⁽²²⁾.

C) Efectos ergogénicos

Esta propiedad de la creatina para funcionar como amortiguador energético y de pH es uno de los mecanismos por los cuales podría mejorar el desempeño deportivo, evitando la depleción de PCr para el metabolismo anaeróbico láctico, desplazando la aparición del metabolismo anaeróbico láctico y por lo tanto retrasando la aparición de fatiga ⁽²²⁾.

Otro efecto observado durante la administración de creatina, es el aumento de la masa muscular y la ganancia de fuerza ^(7, 10, 11), probablemente debido a una combinación de tres factores; aumento de la síntesis de proteínas, disminución del catabolismo de las mismas y aumento en la actividad mitótica de las células musculares ^(12, 14, 15, 16, 22).

D) Farmacología clínica

Hasta la fecha, la mayoría de los estudios con respecto a la administración de creatina, se han enfocado en caracterizar sus efectos dejando a un lado el aspecto farmacocinético. Dentro de los datos farmacocinéticos calculados se ha observado un tiempo para la concentración plasmática máxima de casi 2 horas a dosis desde 1 hasta 10 gramos, una concentración máxima de aproximadamente 100 mg/l y una vida media que va de los 20 a los 70 minutos, con un volumen de distribución similar al del agua corporal total.

La absorción de la creatina administrada oralmente está determinada por propiedades fisicoquímicas propias así como por el flujo sanguíneo gastrointestinal. Como la creatina es estructuralmente similar a los aminoácidos básicos, puede entrar a la circulación a través de los transportadores de aminoácidos, transportadores de péptidos o transportadores específicos. Una vez en la circulación, la creatina puede ser removida del torrente sanguíneo por dos vías, mediante el filtrado glomerular y mediante la captación celular (principalmente muscular); pero debe tomarse en cuenta que esta última es saturable y depende de la concentración intramuscular total de creatina ⁽²²⁾.

Existen diferentes esquemas de dosificación para la administración de creatina, sin embargo el más utilizado consiste en una fase de carga (20 g/día, 4x5 g) que dura entre 4 y 6 días, y una fase de mantenimiento (5 g/día) de duración variable (semanas a meses) ^(8, 9, 18, 22); aunque hay estudios que sugieren que dosis de 3 g/día por 28 días son suficientes para observar incrementos significativos en la concentración intramuscular de creatina ⁽¹⁸⁾, lo que podría indicar que tendrá efectos favorables en la ganancia de fuerza muscular.

E) Efectos secundarios

Por último, cabe mencionar que durante la administración de creatina pueden presentarse algunos efectos secundarios que consisten en malestar gastrointestinal, ganancia de peso, elevación en la creatinina sérica y calambres musculares, sin embargo muchos de estos efectos sólo han sido reportados anecdóticamente y poco se han comentado en la literatura científica ⁽²²⁾.

2. JUSTIFICACIÓN

Numerosos estudios han analizado el posible efecto ergogénico de la administración de creatina durante los programas de entrenamiento, ya sea para mejorar el desempeño deportivo o ayudar en la rehabilitación de diversas patologías.

No se ha establecido a través de estudios farmacocinéticos y farmacodinámicos una dosis para la administración de creatina que sea efectiva y segura para obtener los resultados que promueve; como consecuencia de ello, no existe un régimen de dosificación que extrapolado al ámbito clínico sea efectivo, en este caso en pacientes que se encuentren en proceso de rehabilitación por reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Actualmente, el esquema de dosificación utilizado para la administración de creatina es el sugerido por los fabricantes. La evidencia más reciente parece indicar que no es necesaria una dosificación tan alta para obtener resultados favorables, lo que podría significar menor costo, mejor apego al tratamiento y posiblemente menor incidencia de efectos secundarios.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los pacientes post operados de reconstrucción del ligamento cruzado anterior deben ser sometidos a un programa de rehabilitación y reacondicionamiento físico para poder reintegrarse a las actividades que realizaban previamente a la lesión. La administración de creatina ha demostrado tener efectos benéficos en el desarrollo de fuerza cuando se suma al entrenamiento contra resistencia.

Sin embargo, no se han estudiado diferentes esquemas de dosificación para la administración de creatina que proporcionen información suficiente para establecer la dosis que combinada con un programa de reacondicionamiento físico ayude a obtener los mejores resultados dentro del proceso de rehabilitación para este tipo de pacientes.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de dos regímenes de administración de monohidrato de creatina aunados a un programa de fortalecimiento mediante ejercicios isotónicos, en la ganancia de fuerza muscular de isquiotibiales y cuádriceps de pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

4.2 Objetivos Particulares

Medir la fuerza (expresada como pico de torque) mediante valoración isocinética en los músculos flexores y extensores de la rodilla, antes y después de un programa de reacondicionamiento físico aunado a uno de los dos regímenes de administración de monohidrato de creatina y en el grupo control.

Comparar los valores de pico de torque alcanzado para los músculos flexores y extensores de la rodilla entre los grupos, antes y después de la intervención para determinar la efectividad de la administración de monohidrato de creatina.

5. HIPÓTESIS

La administración de monohidrato de creatina a dosis bajas (3 g/día por 28 días) es igualmente efectiva que la dosis comúnmente utilizada (20 g/día por 5 días, 5 g/día por 23 días) para la ganancia de fuerza durante el reacondicionamiento físico de pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1 Diseño del estudio

Estudio de tipo prospectivo, longitudinal, comparativo, experimental, clínico controlado; con una duración de 4 semanas.

6.2 Población y conformación de los grupos de estudio

La muestra quedo conformada por 30 pacientes del género masculino, que fueron divididos en tres grupos de 10 pacientes cada uno, y quienes cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: conclusión de su programa de rehabilitación por reconstrucción de ligamento cruzado anterior, edad de 18 a 30 años, con antecedente de ser físicamente activos (3 veces por semana, más de 20 minutos por sesión, 6 meses previos a la lesión).

No fueron elegibles para participar en el estudio pacientes que presentaron diagnóstico de obesidad (IMC >29.9), diabetes, hipertensión arterial y/o daño renal, así como los pacientes que refirieran ser vegetarianos o tuvieran alguna discapacidad que les impidiera realizar el programa de ejercicios.

Los pacientes que no cumplieron con el 90% de asistencia a las sesiones de reacondicionamiento físico fueron eliminados del estudio.

A cada paciente se le explicaron los objetivos del estudio y las intervenciones a realizar. Se consideró la aceptación del paciente a participar en el estudio, cuando éste hubiese firmado y entregado la carta de consentimiento informado (Anexo A). Posteriormente, se realizó la asignación a grupo de forma aleatoria mediante el software en línea random.org.

6.3 Grupos de estudio

Grupo control: realizaron únicamente lo indicado en el protocolo de reacondicionamiento físico.

Grupo Experimental 1: pacientes que además de realizar las sesiones de reacondicionamiento físico, recibieron monohidrato de creatina (EAS Phosphagen®, Lab. Abbot) por vía oral (5 g 4 veces al día los primeros 5 días y 5 g una vez al día 30 minutos antes de la sesión de entrenamiento los siguientes 23 días) diluido en 200 ml de jugo de manzana.

Grupo Experimental 2: pacientes que además de realizar las sesiones de reacondicionamiento físico, recibieron monohidrato de creatina (EAS Phosphagen®, Lab. Abbot) por vía oral (3 g una vez al día 30 minutos antes de la sesión de entrenamiento durante 28 días) diluido en 200 ml de jugo de manzana.

6.4 Metodología

6.4.1 Determinación del pico de torque de flexores y extensores de rodilla

Se realizó valoración isocinética en dinamómetro electrónico marca Cybex NORM con protocolo DAP101 con/con para la determinación del pico de torque en 3 series de 5 repeticiones a 30, 60 y 90 grados por segundo cada una, con períodos de recuperación entre series de 30 segundos y de 3 minutos entre extremidades. El rango de movilidad para la valoración isocinética fue de 0 a 90 grados para la flexión y de 90 a 0 grados para la extensión.

6.4.2 Programa de reacondicionamiento físico

Se indicó protocolo de reacondicionamiento físico 5 días a la semana, de los cuales 2 días fueron para entrenamiento aeróbico (martes y jueves) y 3 días para entrenamiento de fuerza (lunes, miércoles y viernes). El entrenamiento aeróbico se realizó durante 20 minutos en cicloergómetro con una frecuencia cardiaca de entrenamiento del 60 al 70% de la frecuencia cardiaca máxima teórica. El entrenamiento de fuerza consistió en 7 ejercicios para miembros pélvicos, con 3 series de 9 a 12 repeticiones máximas cada una (60% de 1RM) (23), alternando extremidades; el período de recuperación entre series fue de 1 minuto y entre ejercicios de 3 minutos. Los ejercicios fueron flexión, extensión, abducción y aducción de cadera; extensión, flexión y press de pierna (Anexo B).

Todos los participantes realizaron una rutina de 5 minutos en cicloergómetro al 50% de su frecuencia cardiaca máxima teórica más 5 minutos con ejercicios de flexibilidad (Anexo C) previo a la sesión de entrenamiento y ejercicios de flexibilidad al final de la sesión.

Para que los pacientes efectuaran el ejercicio aeróbico a la intensidad prescrita, utilizaron un monitor de frecuencia cardiaca marca Polar.

Posterior a un período de 4 semanas (28 días) se realizó nuevamente la valoración isocinética para la determinación del pico de torque alcanzado después de la intervención y se procedió al análisis de resultados.

6.5 Análisis estadístico

Se realizó la estadística descriptiva de las variables de estudio.

Se utilizó la prueba de ANOVA para la comparación de las variables edad, peso y talla entre los grupos de estudio.

Se utilizó la prueba de ANOVA de dos factores para la comparación entre los grupos de estudio, considerando como factores al tiempo de duración del estudio (t) y el tratamiento (Tx).

Se obtuvieron los gráficos variable/respuesta para los tres grupos de estudio.

7. RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los valores promedio y desviación estándar para las variables edad, peso y talla en la evaluación previa a la intervención; no encontrando diferencias significativas entre los grupos, lo que indica que los grupos formados eran homogéneos.

Tabla 1. Valores promedio \pmDE de las variables edad, peso y talla previo a la intervención.				
	C	E1	E2	p
Edad	26 \pm 4.03	25.4 \pm 3.06	26.2 \pm 3.33	0.868
Talla	1.70 \pm 0.08	1.72 \pm 0.05	1.72 \pm 0.03	0.518
Peso	73 \pm 10.75	76.26 \pm 4.56	77.6 \pm 4.91	0.367
Valores promedio \pm DE.				
*Evaluación mediante ANOVA, valor significativo cuando $p < 0.05$.				
Grupos: control (C), Experimental 1 (dosis alta, E1), Experimental 2 (dosis baja, E2).				

7.1 Valoración Isocinética del Pico de Torque (Nm) a 60°/s de los músculos flexores y extensores de rodilla

Para la valoración de la musculatura flexora no se encontró diferencia significativa entre los esquemas de dosificación con creatina y el grupo control, tanto en la extremidad involucrada como en la no involucrada (Tabla 2). Por otra parte, hubo una ganancia significativa del pico de torque posterior a 28 días únicamente en la extremidad involucrada ($p=0.009$). No hubo interacción entre factores (tratamiento*tiempo, Tx*t) en ninguno de los casos.

Tabla 2. Pico de torque (Nm) a 60°/s de los músculos flexores en régimen concéntrico					
Flexores		C	E1	E2	P
Inv	Pre	74.9 \pm 17.93	70.8 \pm 9.25	68.4 \pm 11.93	Tx: 0.543
	Post	82.5 \pm 18.96	81.5 \pm 8.08	79.3 \pm 13.02	t: 0.009**
					Tx*t: 0.914
No Inv	Pre	100.9 \pm 11.91	104.7 \pm 10.93	97.3 \pm 16.38	Tx: 0.187
	Post	105.4 \pm 12.49	112.3 \pm 11.71	103.8 \pm 17.78	t: 0.087
					Tx*t: 0.937
Valores promedio \pmDE.					
**Evaluación mediante ANOVA de 2 factores, valor significativo cuando $p < 0.05$.					
Extremidad involucrada (inv), no involucrada (no inv), valor inicial (pre), valor final (post).					
Tratamiento (Tx), tiempo (t), tratamiento por tiempo (Tx*t).					
Grupo control (C), dosis alta (E1), dosis baja (E2).					

Para la valoración de la musculatura extensora no se encontró diferencia significativa entre los esquemas de dosificación con creatina y el grupo control, tanto en la extremidad involucrada como en la no involucrada (Tabla 3). Por otra parte, hubo una ganancia significativa del pico de torque posterior a 28 días únicamente en la extremidad involucrada ($p=0.034$). No hubo interacción entre factores (tratamiento*tiempo, Tx*t) en ninguno de los casos.

Tabla 3. Pico de torque (Nm) a 60°/s de los músculos extensores en régimen concéntrico					
Extensores		C	E1	E2	P
Inv	Pre	119.7 ±30.31	114 ±20.96	118.5 ±20.35	Tx: 0.873
	Post	131.5 ±34.87	130.6 ±23.93	134.2 ±23.14	t: 0.034**
					Tx*t: 0.953
No Inv	Pre	176.2 ±35.98	170.8 ±11.83	165.8 ±10.95	Tx: 0.494
	Post	182.1 ±33.76	181.4 ±12.62	175.5 ±16.1	t: 0.143
					Tx*t: 0.942
Valores promedio ±DE.					
**Evaluación mediante ANOVA de 2 factores, valor significativo cuando $p<0.05$.					
Extremidad involucrada (inv), no involucrada (no inv), valor inicial (pre), valor final (post).					
Grupo control (C), dosis alta (E1), dosis baja (E2).					

7.2 Ganancia de Fuerza

La ganancia de fuerza se expresó como la ganancia en el porcentaje del pico de torque de la extremidad involucrada con respecto a la extremidad no involucrada en la evaluación inicial, que se consideró como el 100%.

Para los músculos flexores, el valor promedio en la extremidad involucrada y no involucrada fue de 7.63 ±0.61 y 4.68 ±2.08, 10.20 ±1.90 y 7.39 ±1.45, 11.32 ±0.85 y 6.74 ±1.42 por ciento para el grupo control, experimental 1 (dosis alta) y experimental 2 (dosis baja), respectivamente.

Para los músculos extensores, el valor promedio en la extremidad involucrada y no involucrada fue de 6.94 ±1.56 y 3.86 ±1.54, 9.79 ±0.92 y 6.30 ±1.40, 9.42 ±0.82 y 5.74 ±1.47 por ciento para el grupo control, experimental 1 y experimental 2, respectivamente.

Los valores arriba descritos, muestran una ganancia de fuerza significativa en la musculatura extensora de la extremidad involucrada para los grupos E1 y E2 (Figura 1). Por otra parte sólo se observó ganancia significativa de fuerza en el grupo E2 para los músculos flexores de la extremidad involucrada (Figura 2).

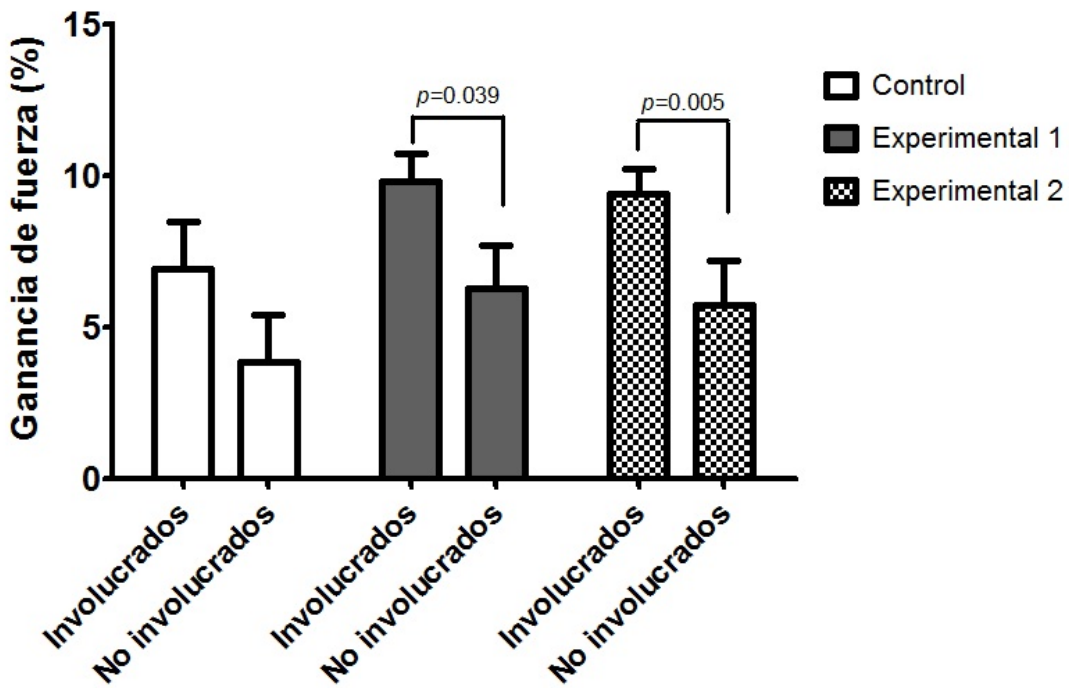


Figura 1. Ganancia de fuerza de los músculos extensores. Expresada como porcentaje del pico de torque con respecto a la evaluación inicial.

Valores promedio \pm error estándar, diferencia significativa $p < 0.05$ determinada mediante t de Student para muestras pareadas.

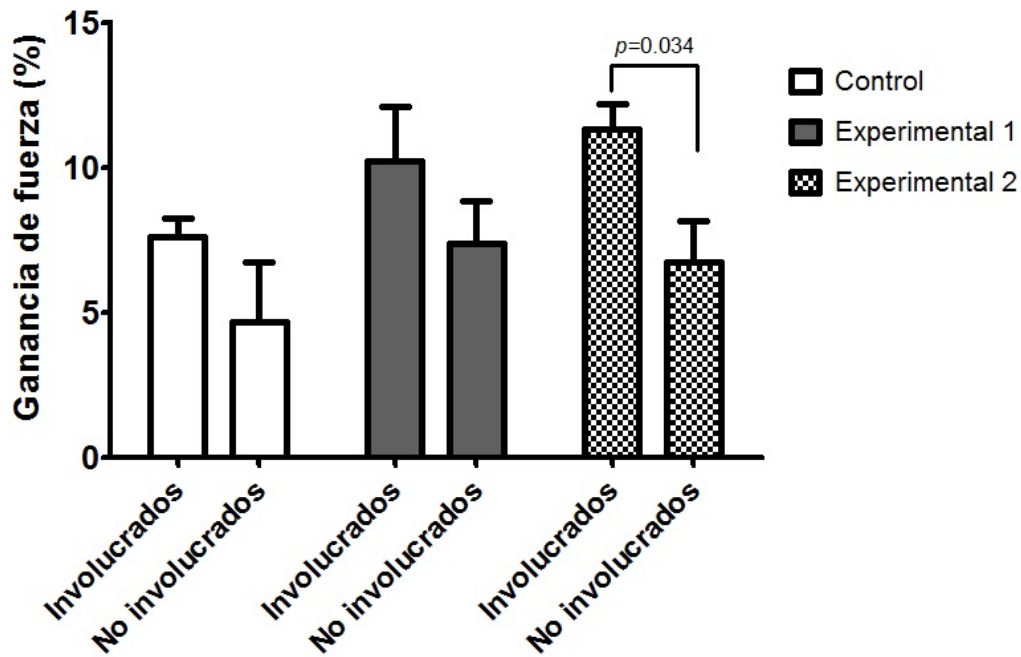


Figura 2. Ganancia de fuerza de los músculos flexores. Expresada como porcentaje del pico de torque con respecto a la evaluación inicial.

Valores promedio \pm error estándar, diferencia significativa $p < 0.05$ determinada mediante t de Student para muestras pareadas.

8. DISCUSIÓN

Diversos estudios han mostrado los efectos benéficos de la administración de creatina para mejorar la fuerza, el desempeño muscular y aumentar la masa muscular ⁽⁷⁾, favoreciendo la realización de más repeticiones, con más peso y obteniendo una recuperación más rápida de las sesiones de entrenamiento ^(8, 9, 10, 11).

Cuando a la administración de creatina, se suma un programa de entrenamiento de fuerza, se amplifica el incremento de células satélite, la expresión de factores miogénicos y la fusión mioblástica, favoreciéndose la recuperación del volumen y la fuerza muscular después de períodos de inactividad, inmovilización o lesión ^(12, 13, 14, 15, 16).

La mayor parte de la investigación con respecto a los efectos de la administración de creatina, se ha centrado en sujetos sanos, con relativamente pocas intervenciones en sujetos con patologías articulares o musculares, como lo muestran algunas revisiones ^(9, 10). Por esto el interés en estudiar el posible efecto terapéutico de la administración de creatina en sujetos post operados de lesión de ligamento cruzado anterior, ya que es una de las lesiones más frecuentes derivadas de la práctica deportiva ^(1, 2, 3, 4, 19).

En el presente estudio se evaluó la fuerza muscular mediante valoración isocinética determinando el pico de torque a una velocidad de 60°/s, por ser una velocidad angular comúnmente utilizada con dicho propósito ^(17, 24, 25), además de ofrecer la ventaja de contar con un software que muestra valores objetivos y cambios finos en las variaciones del desarrollo de la fuerza muscular.

Los resultados obtenidos en este estudio con las dosis evaluadas de creatina, muestran que no existe diferencia significativa en la ganancia de fuerza de pacientes post operados de ligamento cruzado anterior después de 28 días de tratamiento con la dosis alta o baja de creatina durante el programa de fortalecimiento. Este resultado concuerda con el publicado por Tyler y colaboradores en 2004 ⁽²⁴⁾, quienes reportan que no existen diferencias significativas en la ganancia de fuerza de pacientes post operados de ligamento cruzado anterior después de 6 y 12 semanas de administración de creatina, aunque únicamente mencionan los resultados en la extremidad involucrada. Por otro lado, Selsby y colaboradores en 2004 ⁽²⁵⁾, reportan diferencias significativas en el desarrollo de fuerza después de 10 días de administración de 2.5 gramos de creatina en pacientes sanos; así mismo, el estudio de Rubio en 2002 ⁽¹⁷⁾, demostró diferencias significativas en el incremento del área muscular del muslo después de 12 semanas de administración de creatina (5 gramos, 3 veces por semana) durante un programa de fortalecimiento (con ejercicios similares a los utilizados en el presente estudio) en pacientes con lesión de ligamento cruzado anterior, lo cual puede contribuir al desarrollo de fuerza muscular. Si bien, el presente estudio tuvo una duración menor al de Tyler y al de Rubio, y podría considerarse insuficiente el tiempo para observar ganancias significativas de fuerza muscular, los resultados muestran una diferencia significativa en la ganancia de fuerza muscular tanto de los músculos flexores como extensores de la extremidad involucrada, lo que sugiere que la prescripción del ejercicio en el presente estudio tuvo la intensidad requerida para alcanzar el umbral de estrés necesario para la obtención de adaptaciones musculares en la extremidad involucrada, sin afectar de manera significativa la extremidad no involucrada.

En los estudios antes mencionados, no se reportan las ganancias de fuerza muscular en la extremidad no involucrada después del período de fortalecimiento y administración del complemento, el presente estudio mostró que existe diferencia significativa en la ganancia de fuerza muscular de la extremidad involucrada con respecto a la no involucrada en ambos grupos experimentales mientras que en el grupo control no hubo tal, (figuras 1 y 2), lo cual podría indicar un posible efecto favorable de la administración de creatina en la extremidad afectada a través del incremento de factores miogénicos que favorecen el correcto funcionamiento muscular previamente alterado por el estrés resultante de la lesión y el evento quirúrgico ^(12, 13, 14, 15). También es importante mencionar que el grupo muscular que ganó más fuerza fue el de los flexores en comparación con los extensores, lo cual podría indicar un beneficio extra para el paciente ya que este grupo muscular es el encargado de la estabilidad dinámica de la rodilla en cuanto al desplazamiento anterior de la tibia se refiere, proporcionando mayor protección al ligamento reconstruido ⁽¹⁹⁾.

El presente estudio mostró que 4 semanas de entrenamiento de fuerza son suficientes para la ganancia de fuerza en la extremidad involucrada, siendo esta ganancia significativa para flexores y extensores cuando se conjunta con la administración de creatina a dosis baja.

Debido a la duración del estudio, la ganancia de fuerza muscular obtenida bajo las condiciones del presente, no permite determinar si efectivamente la administración de creatina a dosis bajas en pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior permitirá acortar el tiempo que tardará el paciente en recuperar su nivel de actividad. El equilibrio en la fuerza muscular es un factor importante para la prevención de lesiones en estos pacientes ^(1, 4, 5, 19), el hecho de que los pacientes que recibieron la dosis baja de creatina tuvieran una mayor ganancia de fuerza en la extremidad involucrada tanto para flexores como para extensores, podría significar recuperar de forma pronta el equilibrio en la fuerza muscular entre extremidades para posteriormente buscar la potenciación conjunta de ambas extremidades.

Estos resultados podrían traducirse en un acortamiento del tiempo que el paciente invierte en su recuperación y reintegración a su actividad física y deportiva de forma segura.

Estos resultados muestran la importancia de continuar la investigación con respecto a la administración de creatina, modificando la intensidad del entrenamiento en la extremidad involucrada y no involucrada y prolongando el tiempo de administración de la dosis baja durante el período de reacondicionamiento físico de los paciente post operados de ligamento cruzado anterior y así poder determinar mejor los efectos de la misma.

9. CONCLUSIONES

El entrenamiento de fuerza por un período de 28 días es suficiente para provocar cambios significativos en la ganancia de fuerza muscular de la extremidad involucrada, cuando se realiza 3 veces por semana, 3 series de cada ejercicio, con un carácter del esfuerzo de 9 a 12 repeticiones máximas, en pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

La extremidad no involucrada requiere de un estímulo mayor (intensidad y/o volumen) que la extremidad involucrada para obtener cambios significativos en la ganancia de fuerza muscular.

La administración de creatina a dosis bajas durante las primeras 4 semanas de fortalecimiento muscular parece ser más efectiva que la dosis alta en la ganancia de fuerza de los músculos flexores y extensores de rodilla.

Anexo A

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

México, D. F.

Fecha:

Por medio de la presente declaro que acepto participar en el protocolo de investigación titulado: **COMPARACIÓN DE DOS REGÍMENES DE ADMINISTRACIÓN DE MONOHIDRATO DE CREATINA EN LA GANANCIA DE FUERZA DE PACIENTES POST OPERADOS DE RECONSTRUCCIÓN DE LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR.**

Entiendo que el objetivo general es evaluar el efecto de dos regímenes de administración de monohidrato de creatina aunados a un programa de reacondicionamiento físico, en la ganancia de fuerza muscular de pacientes post operados de reconstrucción de ligamento cruzado anterior.

Estoy enterado que existen tres grupos de estudio y que en uno de ellos, no se administrará monohidrato de creatina; así mismo, entiendo que seré asignado a uno de los tres grupos de forma aleatoria.

Se me ha explicado que mi participación consistirá en:

1. Acudir a evaluación para conocer mi estado de salud.
2. Acudir a valoración para la determinación de la fuerza en los músculos flexores y extensores de la rodilla (evaluación isocinética), antes del período de reacondicionamiento físico.
3. Realizar una rutina de reacondicionamiento físico que consta de dos días de ejercicio aeróbico en cicloergómetro (bicicleta fija) y 3 días de ejercicio isotónico (en aparatos de gimnasio) en días alternos durante 4 semanas.
4. Ingerir monohidrato de creatina durante 4 semanas, en uno de los dos regímenes de administración que plantea el protocolo de investigación, de haber sido asignado en alguno de estos grupos.
5. Acudir a valoración para la determinación de la fuerza en los músculos flexores y extensores de la rodilla (evaluación isocinética) al terminar el período de 4 semanas de reacondicionamiento físico.

Declaro que se me ha informado ampliamente sobre los posibles beneficios y riesgos derivados de mi participación en el estudio. Que cualquier programa de reacondicionamiento físico tiene riesgo de ocasionar lesiones musculares u osteoarticulares, pero este riesgo es mínimo y controlado si realizo las indicaciones de forma adecuada durante todas mis sesiones de entrenamiento, el cual será supervisado por un médico.

También se me ha informado, que de ingerir monohidrato de creatina, podría presentar cualquiera de las siguientes molestias: malestar gastrointestinal (dolor tipo cólico,

náuseas, distensión abdominal), ganancia de peso, alteraciones en las pruebas de función renal y/o calambres musculares; y que estas molestias suelen ser transitorias y no representan un riesgo mayor para mi salud.

El Investigador Responsable se ha comprometido a darme información oportuna sobre cualquier procedimiento alternativo adecuado o información actualizada, que pudiera ser ventajoso para mi tratamiento aunque esto pudiera cambiar mi parecer con respecto a mi permanencia en el estudio; también se ha comprometido a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que le plantee acerca de los procedimientos que se llevarán a cabo y que estén relacionados con la investigación o mi tratamiento.

El Investigador Responsable me ha dado a conocer que no se me identificará en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y que mi información personal será manejada con estricta confidencialidad.

Entiendo que mi participación en el estudio es voluntaria, sin remuneración y que conservo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento si así lo deseo, sin que ello afecte la atención médica que recibo en el Instituto.

Por último, estoy enterado que debo cubrir el costo de una consulta de especialidad, una valoración isocinética y 20 sesiones de reacondicionamiento físico de acuerdo al nivel socioeconómico que me ha sido asignado, y de ser el caso, el costo de la administración de creatina será cubierto por el Investigador Responsable.

Nombre y Firma del Paciente

Nombre y Firma del Investigador Responsable

Testigo 1

Testigo 2

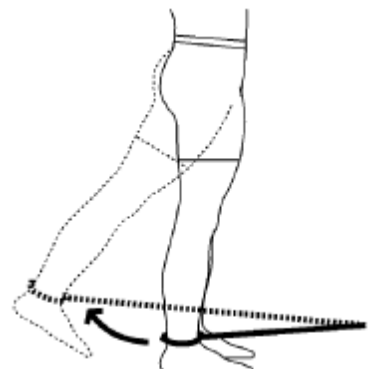
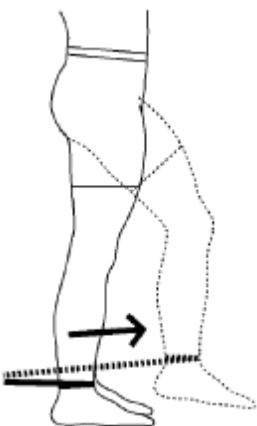
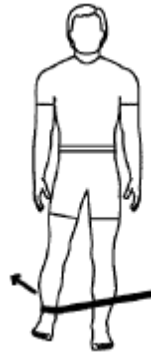
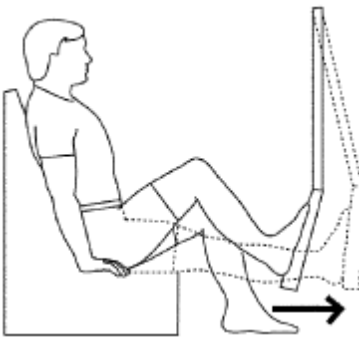
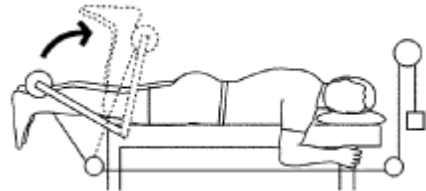
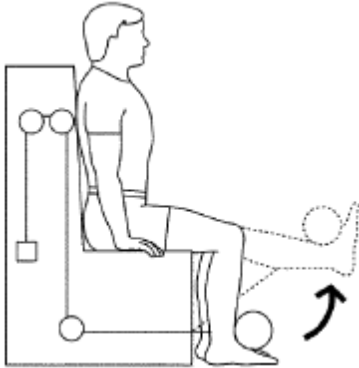
Testigo 3

Anexo B

Entrenamiento de Fuerza

Realizar 3 series, con 9 a 12 repeticiones máximas de cada ejercicio.

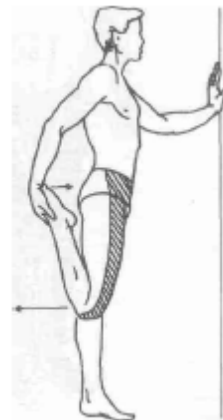
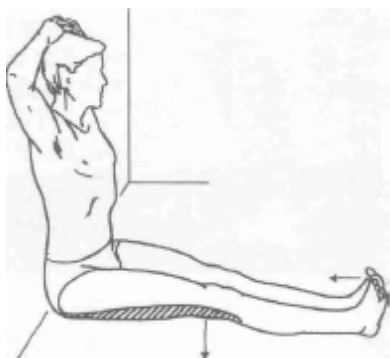
Recuperación: entre series 1 minuto, entre ejercicios 3 minutos.



Anexo C

Ejercicios de Flexibilidad

Realizar cada ejercicio una vez durante 30 segundos, con 10 segundos de recuperación entre cada uno.



Anexo D

Cronograma y Registro de Actividades

Fecha: _____

Nombre: _____

Diagnóstico: _____

N	Edad	Talla (m)	Peso (kg)		IMC	
			Pre	Post	Pre	Post

Pico de Torque (Nm) Flexores					
Pre			Post		
30°/seg	60°/seg	90°/seg	30°/seg	60°/seg	90°/seg

Pico de Torque (Nm) Extensores					
Pre			Post		
30°/seg	60°/seg	90°/seg	30°/seg	60°/seg	90°/seg

L	M	M	J	V	S	D
1/28	2/28	3/28	4/28	5/28	6/28	7/28
8/28	9/28	10/28	11/28	12/28	13/28	14/28
15/28	16/28	17/28	18/28	19/28	20/28	21/28
22/28	23/28	24/28	25/28	26/28	27/28	28/28

Observaciones: _____

REFERENCIAS:

1. Frank, C. B.; Jackson, D. W.: Current concepts review: The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1997; 79:1556-76.
2. Viribay, F. L.; Alvarez, B. C.; Pérez, N. V.: Las lesiones deportivas atendidas en el área de urgencias. *Emergencias.* 2005; 17:243-250.
3. Boyce, S. H.; Quigley, M. A.: Review of sports injuries presenting to an accident and emergency department. *Emerg Med J.* 2004; 21:704-706.
4. McMahon, P.: Diagnóstico y tratamiento en medicina del deporte. McGraw-Hill/Interamericana de España. 2007; 1ª ed.:53-83.
5. Dyhre-Poulsen, P.; Krogsgaard, M.: Muscular reflexes elicited by electrical stimulation of the anterior cruciate ligament in humans. *J Appl Physiol.* 2000; 89:2191-2195.
6. Aagaard, P.: Making muscles "stronger": Exercise, nutrition, drugs. *J Musculoskel Neuron Interact.* 2004; 4(2):165-174.
7. Rawson, E.; Volek, J.: Effects of creatine supplementation and resistance training on muscle strength and weightlifting performance. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(4):822-831.
8. Kerksick, C.; Harvey, T.; Stout, J.; et al.: International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008; 5:17.
9. Williams, M.; Branch, J. D.: Creatine supplementation and exercise performance: an update. *Journal of the American College of Nutrition.* 1998; 17(3):216-234.
10. Paddon-Jones, D.; Borsheim, E.; Wolfe, R.: Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J Nutr.* 2004; 134:2888S-2894S.
11. Herda, T.; Beck, T.; Ryan, E.; et al.: Effects of creatine monohydrate and polyethylene glycosylated creatine supplementation on muscular strength, endurance, and power output. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(3):818-826.
12. Deldicque, L.; Atherton, P.; Patel, R.; et al.: Effects of resistance exercise with and without creatine supplementation on gene expression and cell signaling in human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 2008; 104:371-378.
13. Johnston, A.; Burke, D.; MacNeil, L.; et al.: Effect of creatine supplementation during cast-induced immobilization on the preservation of muscle mass, strength, and endurance. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(1):116-120.
14. Olsen, S.; Aagaard, P.; Kadi, F.; et al.: Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle induced by strength training. *J Physiol.* 2006; 573(2):525-534.

15. O'Connor, R.; Steeds, C.; Wiseman, R.; Pavlath, G.: Phosphocreatine as an energy source for actin cytoskeletal rearrangements during myoblast fusion. *J Physiol*. 2008; 586(12):2841-2853.
16. Hespel, P.; Op't Eijnde, B.; Van Leemputte, M.; et al.: Oral creatine supplementation facilitates the rehabilitation of disuse atrophy and alters the expression of muscle myogenic factors in humans. *J Physiol*. 2001; 536(2):625-633.
17. Rubio, R.: Tesis de Posgrado: Modificaciones antropométricas posteriores a la administración de creatina aunado con un programa de rehabilitación en pacientes con lesión del ligamento cruzado anterior. INR. UNAM. 2002.
18. Wyss, M.; Kaddurah-Daouk, R.: Creatine and Creatinine metabolism. *Physiol Rev*. 2000; 80:1107-1213
19. Hughes, G.; Watkins, J.: A risk-factor model for anterior cruciate ligament injury. *Sports Med*. 2006; 36(5):411-428.
20. Podesta, L.; Sherman, M.; Bonamo, J.; Reiter, I.: Rationale and protocol for postoperative anterior cruciate ligament rehabilitation. *Clin Orthop Relat Res*. 1990; 257:262-273.
21. Wilmore, J.; Costill, D.: Fisiología del esfuerzo y del deporte. Editorial Paidotribo. 2004;5ª ed:82-110.
22. Persky, A.; Brazeau, G.: Clinical pharmacology of the dietary supplement creatine monohydrate. *Pharmacol Rev*. 2001; 53:161-176.
23. Platonov, V.; Bulatova, M.: La preparación física: Deporte & Entrenamiento. Editorial Paidotribo. 2007; 4ª ed:33-75.
24. Tyler, T.; Nicholas, S.; et al.: The effect of creatine supplementation on strength recovery after cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial. *Am J Sports Med*. 2004; 32(2):383-8.
25. Selsby, J.; DiSilvestro, R.; et al.: Mg⁺² creatine chelate and a low dose creatine supplementation regimen improve exercise performance. *J Strength Cond Res*. 2004; 18(2):311-315.