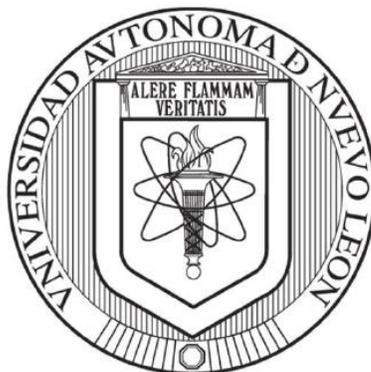


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR. JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y OCLUSIÓN VASCULAR:

ADAPTACIONES CRÓNICAS

Por

DR. JUAN ANTONIO RIVERA PÉREZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de

ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN

Febrero 2019

**ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y OCLUSIÓN VASCULAR:
ADAPTACIONES CRÓNICAS**

Aprobación de la Tesis



DR. MED. ÓSCAR SALAS FRAIRE

Director de Tesis

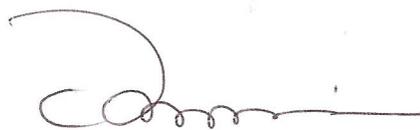
Jefe del Departamento de Medicina del Deporte y Rehabilitación



DRA. KARINA SALAS LONGORIA

Coordinadora de Enseñanza

Medicina del Deporte y Rehabilitación



DR. FELIPE ARTURO MORALES MARTÍNEZ

Subdirector de Estudios de Posgrado

PRÓLOGO

El entrenamiento de fuerza permite adaptaciones en el tamaño y la fuerza muscular. Para lograrlas, es necesario entrenar con intensidades moderadas a altas, generalmente mayores al 70% del IRM.³⁶ Es poco probable que pacientes que se encuentran en rehabilitación musculoesquelética, especialmente en las fases iniciales, y adultos mayores utilicen estas intensidades para buscar aumentar la masa y la fuerza muscular. Aquella población que no puede entrenar de esta manera, podría hacerlo a intensidades menores bajo oclusión vascular para obtener resultados similares.¹³ El entrenamiento isocinético es una herramienta segura que nos permite aplicar la mayor resistencia posible en cada grado del arco de movimiento.³⁷ La combinación del entrenamiento isocinético con oclusión vascular podría ser una opción de ejercicio terapéutico para ellos.

La investigación en este estudio clínico controlado, aleatorizado, busca generar evidencia de buen nivel acerca de protocolos de entrenamiento que se

combinan con oclusión vascular para establecer mejores recomendaciones acerca de las intervenciones terapéuticas que se pueden aplicar a poblaciones que no son capaces de seguir los modelos de progresión para la mejoría de las capacidades musculares.

De esta manera se pueden definir mejor los parámetros del entrenamiento para realizar una prescripción más adecuada del mismo. La velocidad de contracción parece ser la variable menos considerada al momento de la prescripción, por lo que es importante determinar si existe alguna diferencia en el entrenamiento a distintas velocidades bajo oclusión vascular.

Solamente se encontró un estudio descrito en atletas utilizando entrenamiento isocinético con oclusión vascular³⁷; sin embargo, éste sólo demostró aumento de la fuerza, pero no del área de sección transversal muscular. Además, no reportaron el ancho del torniquete utilizado.

Los autores discuten que no hubo cambios significativos en el área de sección transversal muscular debido a que la duración y la frecuencia del entrenamiento probablemente no hayan sido suficientes para producir esa adaptación.³⁷

AGRADECIMIENTOS

¡Gracias a **Dios**! Señor, Dios nuestro, tú eres digno de recibir la gloria, el honor y el poder, porque tú has creado todas las cosas, por tu voluntad existen y han sido creadas.

Gracias a Mamá y a Papá, que han dado todo desde el Cielo y en la Tierra para hacerme un buen hombre.

Gracias a Betty, que me tiene paciencia y que me ha ayudado en momentos difíciles.

Gracias a toda mi familia, que siempre ha estado a mi lado.

Gracias a mi Chachita, quien confía en todo lo que hago, me apoya en cada proyecto, y me impulsa a ser el mejor cada día.

Gracias a mi Tita y a mi Suegris, que me han dado un hogar fuera de casa y que siempre saben brindar un buen consejo.

Gracias a mis amigos, por su amistad.

Gracias a mis maestros, que me han enseñado el camino y se han vuelto mis amigos.

Gracias a la Universidad Autónoma de Nuevo León, que a través de la Facultad de Medicina y Hospital Universitario, ha sido mi casa educativa.

Gracias al Departamento de Medicina del Deporte y Rehabilitación y al Dr. med. Óscar Salas Fraire por el apoyo que me dieron para mi desarrollo profesional y por darme la oportunidad de participar en el desarrollo de la Medicina del Deporte en el país.

Gracias al Departamento de Ingeniería Biomédica y al Dr. Tomás Javier Martínez Cervantes Ph. D. por su colaboración en el diseño del torniquete neumático.

Gracias a la Dra. Carolina Peinado Espinosa, a Fernando Alcorta Núñez, a Néstor Ibarra Salazar, y a Sergio Domínguez Espinoza por su trabajo en la recolección de datos.

Gracias a la Subdirección de Investigación y a Carlos de la Cruz de la Cruz por su ayuda con el análisis estadístico.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

DEDICATORIA

Para la gloria de **Dios**.

Para Mamá y Papá.

Para mi familia.

Para mi Chachita. Te amo.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	iii
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vii
Tabla de contenido	viii
Lista de Figuras	xii
Lista de Tablas	xiv
RESUMEN	16
CAPÍTULO 1	17
Introducción	17
CAPÍTULO 2	19
Entrenamiento de Fuerza	19
2.1 Generalidades	19
2.2 Modelos de Progresión para el Entrenamiento de Fuerza	21

2.2.1 Prescripción del Entrenamiento de Fuerza	21
2.2.2 Adaptaciones anatómicas	22
2.2.3 Potencia Muscular.....	23
2.2.4 Resistencia Muscular.....	24
2.2.5 Poblaciones Específicas	24
2.3 Entrenamiento Isocinético.....	25
2.4 Oclusión Vascular	28
2.5 Entrenamiento con Oclusión Vascular	30
CAPÍTULO 3.....	35
Antecedentes	35
CAPÍTULO 4	43
MATERIAL Y MÉTODOS	43
4.1 Material	43
4.1.1 Descripción general del dispositivo	45
4.2 Diseño Metodológico	47
4.2.1 Objetivos	47
4.2.2 Hipótesis.....	48
4.2.3 Muestra	49
4.2.4 Diseño Experimental.....	50

4.2.5 Plan Estadístico	54
CAPÍTULO 5	56
RESULTADOS	56
CAPÍTULO 6	74
DISCUSIÓN	74
6.1 Población	75
6.2 Torniquete	76
6.3 Presión de Oclusión	77
6.4 Diseño Experimental	79
6.5 Tipo de Ejercicio	80
6.6 Intensidad de Entrenamiento	81
6.7 Volumen de Entrenamiento	82
CAPÍTULO 7	84
CONCLUSIONES	84
7.1 Perspectiva para el Futuro	85
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO	87
BIBLIOGRAFÍA	88
APÉNDICE A	96
Clave de Registro ante el Comité de Investigación	96

APÉNDICE B	97
Consentimiento Informado	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva de fuerza-velocidad.....	27
Figura 2. Diseño del torniquete neumático.....	46
Figura 3. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo LS por velocidad.	63
Figura 4. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo HS por velocidad.	64
Figura 5. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo LSBFR por velocidad.....	65
Figura 6. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo HSBFR por velocidad.....	66
Figura 7. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo CONTROL por velocidad.	67
Figura 8. Cambio en el área del CSA (cm²) total por grupo.....	69
Figura 9. Cambio en el área del CSA (cm²) del cuádriceps por grupo.	70

Figura 10. Cambio en el área del CSA (cm²) de los isquiotibiales por grupo.

.....71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los grupos de intervención.....	54
Tabla 2. Descripción de las características antropométricas de la muestra en la evaluación inicial por grupo.....	57
Tabla 3. Descripción de las características antropométricas de la muestra en la evaluación final.....	58
Tabla 4. Área de sección transversal (CSA) por grupos.....	59
Tabla 5. Cambio en el área de sección transversal muscular por grupos.....	59
Tabla 6. Pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los extensores de rodilla.	61
Tabla 7. Pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los flexores de rodilla.....	62
Tabla 8. Cambio en el pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los extensores de rodilla.....	72

Tabla 9. Cambio en el pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los flexores de rodilla.....	72
Tabla 10. Suma de Trabajo Total realizado durante las sesiones de entrenamiento por grupo de intervención.....	73

RESUMEN

Dr. Juan Antonio Rivera Pérez Fecha de Obtención del Grado
Febrero 2019

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Medicina y Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio
González”

Título del Estudio ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y OCLUSIÓN
VASCULAR: ADAPTACIONES CRÓNICAS.

Número de 69 Candidato para el grado de Especialidad en
páginas Medicina del Deporte y Rehabilitación

Área de Estudio Medicina del Deporte y Rehabilitación

Propósito y Método del Estudio: Se han descrito adaptaciones en masa muscular y fuerza utilizando entrenamiento con oclusión vascular a una intensidad menor a la recomendada en el entrenamiento convencional. El objetivo del estudio fue comparar la diferencia en fuerza y masa muscular del muslo tras un programa de entrenamiento isocinético concéntrico con oclusión vascular, con la finalidad de generar evidencia de buen nivel acerca de protocolos de entrenamiento que se combinan con oclusión vascular para establecer mejores recomendaciones acerca de las intervenciones terapéuticas que se pueden aplicar a poblaciones que no son capaces de seguir los modelos de progresión para la mejoría de las capacidades musculares.

Contribuciones y Conclusiones: Se encontró una diferencia significativa entre grupos en el cambio de CSA total del muslo y el CSA de cuádriceps e isquiotibiales. En fuerza muscular hubo diferencia significativa en los picos de torque normalizados al peso a 60°/s, 180°/s y 300°/s durante la extensión, y a 60°/s y 180°/s durante la flexión. Existe una correlación moderada entre el trabajo total realizado en el entrenamiento y el aumento del CSA tota. Al realizar una correlación del cambio de fuerza con el volumen de entrenamiento, ésta fue débil a moderada incrementándose para mayores velocidades de contracción.

El entrenamiento con oclusión vascular no produce un incremento mayor en fuerza muscular al que produce el entrenamiento sin oclusión vascular, y tampoco demostró ser mejor para el aumento de la masa muscular comparado con otros grupos de entrenamiento. El entrenamiento de fuerza isocinética aumenta significativamente la fuerza y la masa muscular tras un programa de 12 sesiones. El incremento observado en la fuerza es específico de la velocidad de contracción a la cual se realizó el entrenamiento. El aumento de masa muscular tiene una correlación moderada con el volumen de entrenamiento.

Firma del Asesor:

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La fuerza y el tamaño muscular son factores importantes para la salud y las capacidades físicas de las personas. En conjunto con otros factores, le permiten realizar las actividades de la vida diaria, mantener su independencia a través de los años, y participar en actividades físicas con fines recreativos o de competencia.

El entrenamiento de fuerza puede mejorar la aptitud muscular, mejorando la fuerza, la resistencia y el tamaño muscular. Este tipo de entrenamiento tiene beneficios para la salud relacionados con diversos trastornos musculoesqueléticos. Se ha demostrado su utilidad para la prevención y manejo de osteoporosis,

osteoartritis, lumbalgia, y artritis reumatoide,⁷ así como para la disminución del riesgo de caídas asociado a la sarcopenia.^{40,41} En poblaciones atléticas es útil para la prevención primaria de lesiones deportivas, así como para el manejo y la rehabilitación de las mismas.

La sarcopenia aumenta progresivamente con el envejecimiento de la población humana, y es un síndrome caracterizado por la pérdida de masa muscular y fuerza, lo cual se acompaña de pérdida de la capacidad funcional, provocando discapacidad, disminución en la calidad de vida, e inclusive la muerte.⁹

CAPÍTULO 2

ENTRENAMIENTO DE FUERZA

2.1 GENERALIDADES

El diseño de programas de entrenamiento de fuerza requiere de distintos modelos de periodización y progresión para poder estimular adaptaciones dirigidas a objetivos específicos durante el entrenamiento.³⁶

El *American College of Sports Medicine* (ACSM) ha desarrollado modelos de progresión para el entrenamiento de fuerza en adultos sanos. Extiende recomendaciones para el desarrollo de fuerza, hipertrofia, potencia muscular y resistencia muscular local tomando en consideración características de los sujetos tales como el nivel de entrenamiento (novato, intermedio y avanzado) y la edad (por ejemplo, adultos mayores).³⁶

La capacidad de generar fuerza muscular depende de factores anatómicos y neuromusculares. Los factores anatómicos son el área de sección transversa del músculo y la arquitectura del mismo. Sin embargo, son los factores neuromusculares determinantes para la expresión de la fuerza. Éstos son el número y tamaño de unidades motoras reclutadas, así como la tasa de reclutamiento.

2.2 MODELOS DE PROGRESIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

2.2.1 PRESCRIPCIÓN DEL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Las recomendaciones del ACSM para el desarrollo de la fuerza requieren de la prescripción de intensidades altas (60-70% del IRM para novatos e intermedios, y 80-100% del IRM para avanzados), utilizando principalmente ejercicios con pesos libres que involucren dos o más articulaciones en una cadena.³⁶

Con respecto a la frecuencia del entrenamiento, recomienda de 2 a 3 sesiones por semana para novatos, 3 a 4 para intermedios, y 4 a 5 para avanzados. La velocidad de contracción debe ser lenta a moderada en sujetos novatos e intermedios, mientras que en avanzados recomienda el uso de un amplio espectro de velocidades.³⁶

2.2.2 ADAPTACIONES ANATÓMICAS

Los mecanismos a través de los cuales se induce una respuesta de hipertrofia muscular con el entrenamiento de fuerza suceden a través de procesos mecánicos, metabólicos y hormonales.

Se deben optimizar los estímulos a través de tensión mecánica y de la acumulación de productos de desecho para desencadenar una cascada hormonal en donde intervienen la testosterona, la hormona del crecimiento, la insulina, el factor de crecimiento similar a la insulina tipo I y el cortisol, para que finalmente suceda la expresión de genes que aumentan la síntesis proteica de elementos contráctiles y de soporte. La prescripción del entrenamiento de fuerza deberá ser con intensidades moderadas a altas, mayores al 70% del 1 RM, para promover el aumento del tamaño muscular.³⁶

2.2.3 POTENCIA MUSCULAR

La capacidad de expresar la máxima potencia muscular es necesaria para la realización de actividades de la vida diaria, laborales, recreativas y deportivas. Se desarrolla una mayor potencia cuando el mismo trabajo es realizado en un menor tiempo, o cuando se desarrolla una mayor cantidad de trabajo en el mismo tiempo. Es el resultado de la generación de fuerza a una determinada velocidad.

La potencia muscular depende de la máxima tasa de desarrollo de la fuerza, de la producción de fuerza a una velocidad óptima, del ciclo de estiramiento-acortamiento muscular y de la capacidad coordinativa.

El entrenamiento tradicional de fuerza ha demostrado la importancia de la fuerza máxima para el aumento de la potencia muscular; sin embargo, resulta más importante la capacidad de producir fuerza velozmente contra cargas ligeras a moderadas para el desarrollo de esta capacidad. Deben indicarse cargas con intensidades inferiores al 60% del IRM³⁶, a diferencia del entrenamiento para el aumento de la masa muscular o del desarrollo de la fuerza.

2.2.4 RESISTENCIA MUSCULAR

La resistencia muscular local se define como la capacidad para realizar un número determinado de repeticiones para una carga seleccionada. Más allá de las adaptaciones generales que suceden con el entrenamiento de fuerza, y atendiendo al principio de especificidad, deben realizarse un número alto de repeticiones (típicamente con intensidades bajas a moderadas) o aumentar la densidad del entrenamiento para mejorar esta característica.³⁶

2.2.5 POBLACIONES ESPECÍFICAS

La indicación de utilizar intensidades moderadas y altas (70-85%) para provocar hipertrofia y aumento de la fuerza muscular podría no ser adecuada en ciertas poblaciones específicas: atletas en rehabilitación de alguna lesión músculo-esquelética, sujetos con enfermedades crónico-degenerativas y adultos mayores que padecen de sarcopenia. Por ello, a diferencia de las recomendaciones clásicas para mejorar las características musculares, recientemente se ha descrito la

utilización de bajas intensidades (20-30% del IRM) junto con oclusión vascular para lograr este tipo de adaptaciones. Se ha observado un incremento en masa muscular y fuerza,^{4,20,24,45,50} así como una mejoría en su capacidad de resistencia,¹⁴ a través de este método.

2.3 ENTRENAMIENTO ISOCINÉTICO

Todas las adaptaciones musculares son específicas al estímulo aplicado. Una de las variables a considerar es la velocidad del movimiento de contracción.

El entrenamiento isocinético ha demostrado ser efectivo para el aumento de fuerza y masa muscular. Al predeterminar la velocidad del movimiento en todo el arco, es posible aplicar la mayor cantidad de torque posible en cada grado del arco de movimiento en forma segura.³⁷

Cuando el volumen de entrenamiento es igual, aparentemente el uso de velocidades altas con entrenamiento isocinético parece ser más demandante metabólicamente que el uso de velocidades lentas.³⁶ También por su capacidad

para aumentar la resistencia muscular local, se prefieren las velocidades altas en el entrenamiento isocinético.³⁶ Otro aspecto importante del entrenamiento a velocidades altas es que se logra un aumento de fuerza en todo el espectro de velocidades, a diferencia del entrenamiento con velocidades lentas.

De acuerdo con la curva de fuerza-velocidad (Figura 1), el entrenamiento a velocidades mayores limitará en forma importante la intensidad que se utilizará al realizar una contracción concéntrica. La intensidad, en este caso expresada como un porcentaje de la máxima contracción isométrica voluntaria, será mayor en el entrenamiento a velocidades bajas para este tipo de contracciones.^{17,37}

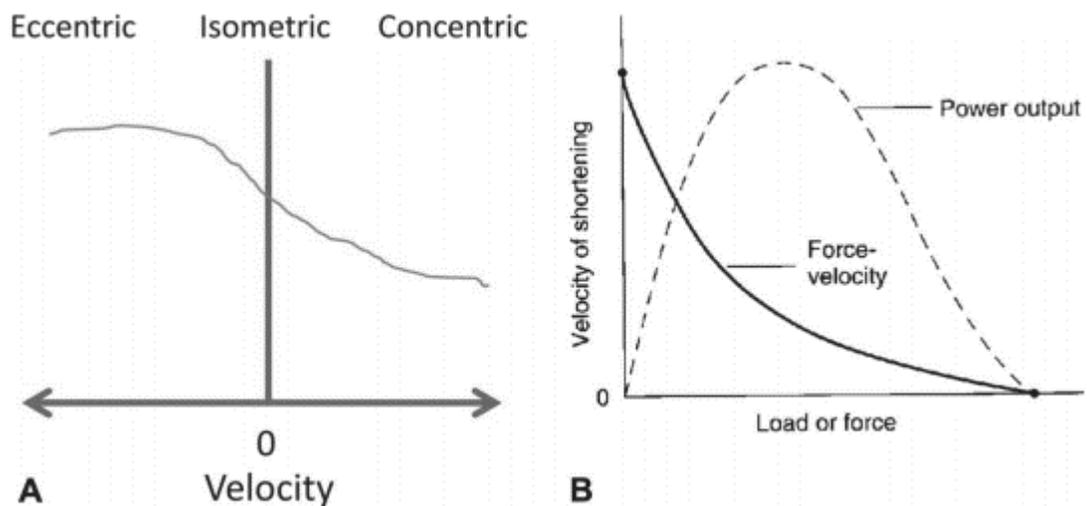


Figura 1. Curva de fuerza-velocidad.

(A) Al incrementar la velocidad concéntrica del movimiento a partir de una contracción isométrica (velocidad cero), la magnitud de la fuerza producida disminuye. Inversamente, conforme la velocidad excéntrica del movimiento aumenta, la magnitud de la fuerza producida aumenta. (B) Para la medición típica de potencia en una acción muscular concéntrica, cargas moderadas producen la mayor potencia.

2.4 OCLUSIÓN VASCULAR

El entrenamiento con oclusión vascular fue descrito inicialmente en Japón entre 1970 y 1980, y posteriormente se registraría la patente del mismo en 1994 bajo el nombre de entrenamiento Kaatsu.³⁸

La oclusión vascular se logra por medio de la aplicación de distintos mecanismos de oclusión en las extremidades. En forma clásica se utiliza un torniquete neumático aplicado a la región más proximal de las extremidades,^{1,8,19,26,28,33,45,48,50} aunque ya desde 1991 se describía el entrenamiento bajo condiciones isquémicas al introducir la extremidad en una cámara de presión.^{11,30,42} Posteriormente, debido a la poca accesibilidad de estos dispositivos para el público en general, ha aparecido el término de *entrenamiento práctico con restricción al flujo vascular*,²² donde se utilizan dispositivos elásticos para impedir el flujo del retorno venoso durante el ejercicio.

El tipo de mecanismo para impedir el flujo de retorno venoso en las extremidades ha sido comparado en algunos estudios. Generalmente se comparan los dispositivos diseñados particularmente para este objetivo (Kaatsu Master) que

utilizan torniquetes elásticos estrechos (5cm de ancho), contra torniquetes de nylon que son utilizados con fines cardiovasculares y que suelen ser de mayor anchura (hasta 13.5 cm). Torniquetes del mismo ancho, pero de diferente material, lograrán el mismo porcentaje de oclusión arterial con la misma presión de oclusión.¹⁹ Con respecto a torniquetes que difieren en el ancho, pero que son del mismo material, se requiere una presión de oclusión inversamente proporcional al ancho del torniquete para lograr el mismo porcentaje de oclusión arterial.¹⁸

La presión de oclusión utilizada en los estudios es variable, desde 70mmHg hasta 270mmHg,¹³ y probablemente ello contribuya a la variabilidad en los resultados. Existe una relación entre la presión arterial sistólica y la circunferencia del muslo⁶ que determina la presión de oclusión a utilizar para las extremidades. En ella, el factor más determinante será la circunferencia del muslo, ya que es la compresibilidad de los tejidos blandos, lo que determinará qué presión de oclusión será necesaria para lograr el mismo porcentaje de oclusión al flujo arterial en dos sujetos distintos. La presión de oclusión obtenida a partir de esa relación estará dentro del rango de cifras que se han utilizado de manera segura, y permite individualizar el procedimiento de oclusión a las variables antropométricas y fisiológicas de cada sujeto de investigación. Los factores más importantes a considerar para determinar la presión de oclusión son el ancho del torniquete, la circunferencia de la extremidad²¹ y la presión arterial sistólica⁶. Otro factor a considerar es la presión inicial de oclusión, es decir, la presión de oclusión aplicada

por un torniquete neumático cuando este aún no ha sido insuflado. Se sugiere una presión inicial de oclusión mayor a los 40mmHg para obtener una mejor respuesta al estímulo del entrenamiento.¹⁵

2.5 ENTRENAMIENTO CON OCLUSIÓN VASCULAR

Los mecanismos a través de los cuales se logran las adaptaciones fisiológicas tras un protocolo de entrenamiento utilizando intensidades bajas bajo oclusión vascular son los siguientes: a) reclutamiento adicional de fibras musculares rápidas inducido por fatiga, b) estrés metabólico, que desencadenará una respuesta sistémica anabólica, demostrado por una mayor hidrólisis de ATP, una mayor depleción de fosfágenos de alta energía, una mayor producción de lactato y un pH disminuido, c) deformación del aparato contráctil por el mecanismo de compresión externa, d) adaptaciones metabólicas en los sistemas energéticos, principalmente en el sistema glucolítico rápido, e) producción de especies reactivas de oxígeno, f) hiperemia reactiva al remover el torniquete, y g) activación de células madre miogénicas.³⁵

Se han descrito dos factores primarios para la inducción de hipertrofia muscular con entrenamiento de fuerza: la tensión mecánica y el estrés metabólico. Este último ha sido el factor que ha cobrado mayor importancia en el entrenamiento bajo oclusión vascular.³⁴ Ellos actúan, de manera sinérgica, a través de distintos mecanismos secundarios: el reclutamiento adicional de fibras rápidas, aumento del volumen intracelular, aumento de las especies reactivas de oxígeno, aumento en la producción de proteínas de choque térmico, y una producción elevada de hormonas anabólicas a nivel local y sistémico.³⁴ El resultado final es un aumento en la síntesis proteica muscular a través de la inducción de algunas vías de señalización intracelular (mTOR); por medio de la inhibición de algunas otras que desencadenan los mecanismos que favorecen el desgaste y la atrofia muscular (FOXO); y mediante la inhibición de algunas vías que inhiben la síntesis de proteína muscular (miostatina).³⁴ La activación y proliferación de células satelitales también parece ser un mecanismo involucrado en la hipertrofia inducida por el entrenamiento con oclusión vascular a pesar de que la tensión mecánica y el daño muscular no es tan relevante como en el entrenamiento a intensidades mayores o con ejercicios excéntricos.³⁴

El entrenamiento con oclusión vascular ha sido utilizado en poblaciones diversas con resultados variables: mujeres^{3,45}, atletas³⁹, adultos mayores^{3,46} y sujetos en rehabilitación musculoesquelética^{5,13,31,44}. La variabilidad de los resultados podría estar determinada por varios factores, de los cuales ya se han comentado el

ancho del torniquete y la presión de oclusión. Otro factor importante es el tipo de entrenamiento utilizado durante los protocolos en asociación con la oclusión vascular.

Se han descrito variados protocolos de entrenamiento.³⁹ Algunos se realizan con ejercicios aeróbicos como caminata en banda o ciclismo, y protocolos con ejercicios de fuerza. De estos últimos, con respecto a la intensidad, la mayoría utilizan intensidades bajas (20-30% IRM). Pocos utilizan intensidades moderadas (70%). Se utilizan tanto ejercicios de cadena abierta como de cadena cerrada. Algunos utilizan un número predeterminado de repeticiones (10-30), o hasta la falla concéntrica, con descansos que van desde los 30 hasta los 60 segundos. Prácticamente la mayoría utiliza ejercicios isotónicos. La duración de los protocolos varía desde 1 semana hasta 7 semanas, excepto por los que solamente hicieron estudios transversales de los efectos agudos de este tipo de entrenamiento. La frecuencia de entrenamiento es de 2, 3 o 4 veces por semana, y también se describió un estudio que utilizó doble sesión diaria. Algunos protocolos buscan prevenir la atrofia por desuso con sólo aplicar oclusión vascular sin ejercicio combinado.⁴⁴

Solamente Sakuraba³⁷ describe un protocolo de entrenamiento isocinético, a velocidades lentas (90°/seg) y rápidas (300°/s). Reportó un mayor aumento de fuerza para todas las velocidades en el grupo que utilizó restricción vascular con el

entrenamiento a velocidades altas, pero no demostró aumento en el área de sección transversal del músculo. Tampoco reportó el ancho del torniquete utilizado.

La seguridad al utilizar dispositivos que restringen el flujo vascular para entrenamiento es importante, y ha sido motivo de revisión. Las adaptaciones agudas y crónicas que suceden a nivel cardiovascular parecen ser similares tras la realización de ejercicio con oclusión vascular y ejercicio regular.²¹ La preocupación por la aparición de eventos tromboembólicos ha sido motivo de algunos estudios, y se ha visto que su incidencia es menor en la población que realiza entrenamiento bajo oclusión vascular que en la población general. Además, luego de realizar mediciones de marcadores de los mecanismos de coagulación, se ha visto que estos no aumentan después del entrenamiento con Kaatsu.²¹ Sólo se ha notado un incremento en el activador tisular del plasminógeno, el cual favorece la fibrinólisis. También se ha descrito un aumento en el complejo trombina-antitrombina III; sin embargo, este complejo aumenta también tras la realización de ejercicio regular fatigante y tras la administración de una infusión de adrenalina.

Una encuesta realizada en Japón,²⁹ a centros e instructores certificados en la aplicación de Kaatsu, reportó que ha sido utilizado ampliamente en distintas poblaciones (jóvenes, adultos mayores y atletas...) para distintos objetivos: mejorar las capacidades físicas; contrarrestar la sarcopenia asociada al envejecimiento y al

desuso por inmovilización o postración, y en la rehabilitación de sujetos que padecen de enfermedades ortopédicas, así como con enfermedades crónicas y degenerativas, como obesidad, hipertensión arterial, diabetes mellitus, enfermedad cardiovascular, enfermedad cerebrovascular, nefropatías, enfermedades neuromusculares, y enfermedades respiratorias. En ellos se han aplicado distintas modalidades de Kaatsu: solo, o en combinación con ejercicios de estiramiento, de fuerza o aeróbicos (marcha y ciclismo). Reportó que, tras 300,000 sesiones de entrenamiento, la incidencia de eventos adversos asociados a la utilización de Kaatsu: hemorragias subcutáneas (13.1%), parestesias (1.297%), trombosis venosa (0.055%), tromboembolismo pulmonar (0.008%), rabdomiolisis (0.008%), deterioro de cardiopatía isquémica (0.016%). Rara vez sucedieron episodios de hipoglicemia, síncope, epistaxis, y palpitaciones²⁹. Existe un reporte de caso de un hombre de 45 años, con retinopatía diabética, que padeció 2 episodios de oclusión de la vena central de la retina, ambos el día posterior a haber realizado una sesión de entrenamiento con oclusión vascular.³²

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

Abe *et al.* (2005) investigaron las adaptaciones agudas tras un protocolo de 8 días de entrenamiento con oclusión vascular. 15 hombres, atletas de pista y campo, fueron divididos en dos grupos: el grupo experimental realizó 2 sesiones diarias de 3 series de 15 repeticiones, con 30 segundos de descanso, con el 20% del IRM en sentadillas y flexión de rodilla bajo oclusión vascular (utilizando un torniquete neumático de 5 cm de ancho con una presión de oclusión de 160-240 mmHg), además de continuar con sus sesiones habituales de velocidad y salto; el grupo control solamente continuó realizando las sesiones habituales de velocidad y salto. Se observaron aumento en la fuerza (9.6%), aumento en la masa muscular (4.5%) y mejoría en la fase inicial de aceleración en el sprint de 30 metros en el

grupo que entrenó con oclusión vascular. No se observaron cambios entre ambos grupos en las pruebas de desempeño en salto.²

Luebbers *et al.* (2014) dividieron 62 jugadores hombres de fútbol americano colegial en 4 grupos: uno continuó con las sesiones habituales a intensidades altas. Dos grupos hicieron las mismas sesiones pero con trabajo suplementario al final de la sesión. El trabajo suplementario consistió en 4 series de 30, 20, 20 y 20 repeticiones de sentadillas y prensa de pecho con el 20% del IRM con 45 segundos de descanso, realizando 4 sesiones por semana. Uno de estos dos grupos realizó el trabajo suplementario con oclusión vascular. El cuarto grupo ejecutó una sesión de entrenamiento modificada, con menor volumen total, seguida del trabajo suplementario con oclusión vascular. Utilizaron una forma práctica de oclusión vascular: vendas elásticas para rodilla, de 7.6 cm de ancho. Estas fueron colocadas durante toda la sesión hasta el final, sin retirarse durante el período de descanso. Se demostró un aumento significativo en la fuerza de sentadilla en el grupo que entrenó a intensidades altas y que realizó trabajo suplementario bajo oclusión vascular.²³

Manimmanakorn *et al.* (2013) realizaron un estudio clínico controlado y aleatorizado, donde 30 atletas mujeres realizaron 3 sesiones semanales de ejercicios isotónicos de extensión y flexión de rodilla, durante 5 semanas, bajo tres

condiciones distintas: un grupo los realizó con un torniquete neumático de 5 cm de ancho (Kaatsu Master) colocado en la región proximal de ambos muslos, con una presión de oclusión de 160-230 mmHg la cual se mantuvo durante la totalidad de la sesión de entrenamiento; otro grupo se le administró gas hipóxico normobárico para bajar la saturación arterial de oxígeno al 80%; y un grupo control al cual se le colocó también los torniquetes neumáticos, solo que sin ser inflados (5mm Hg). Todos los grupos realizaron 3 series de repeticiones hasta la falla, tanto de extensión y flexión de rodilla en un arco de 90°. Los descansos entre series fueron de 30 segundos, y los descansos entre ambos ejercicios fueron de 2 minutos. Tanto el grupo que entrenó con oclusión vascular, como el que entrenó en un ambiente hipóxico lograron mejorar su fuerza y sus resistencia muscular local. El grupo con oclusión vascular también demostró mayores adaptaciones neuromusculares, al tener mayor actividad electromiográfica que los otros dos grupos.^{25,26}

Sakuraba e Ishikawa³⁷, utilizando 21 atleta universitarios de pista y campo, describe un protocolo de entrenamiento de extensión y flexión de rodilla isocinéticas, a velocidades lentas (90°/seg) y rápidas (300°/s). Reportó un mayor aumento de fuerza para todas las velocidades en el grupo que utilizó restricción vascular con el entrenamiento a velocidades altas, pero no demostró aumento en el área de sección transversal del músculo. Tampoco reportó el ancho del torniquete utilizado.

Takarada *et al.* (2002), demostraron un incremento en la fuerza, masa y resistencia muscular local en jugadores elite de rugby tras realizar ejercicio con oclusión vascular. La muestra fue de 17 jugadores, divididos en tres grupos: con oclusión vascular, sin oclusión y grupo control. La oclusión vascular se aplicó mediante un torniquete elástico especialmente diseñado para este objetivo. El torniquete mide 33mm de ancho por 800mm de largo, y en su interior contiene un globo neumático de 25mm de ancho por 100mm de largo, el cual se conecta a un manómetro. La presión media de oclusión fue de 196mmHg, y se mantuvo durante toda la sesión del entrenamiento. Utilizaron 2 sesiones de entrenamiento, durante 8 semanas, donde los sujetos, previo calentamiento de 10 minutos en cicloergómetro y estiramientos, realizarían extensiones isotónicas de rodilla con el 50% del 1RM. El grupo con oclusión vascular realizaría las series a falla, mientras que el grupo sin oclusión debería igualar el número de repeticiones. El número medio de repeticiones utilizadas fue 16.⁴³

Yamanaka *et al.* (2012) restringieron el flujo vascular en forma práctica, produciendo oclusión con bandas elásticas con velcro de 5 cm de ancho y 55cm de largo para las extremidades superiores, y de 5cm de ancho por 90cm de largo para las extremidades inferiores. Dividieron 32 atletas de fútbol americano colegial en un grupo con oclusión vascular y un grupo control sin oclusión vascular. Ambos

realizaron prensa de pecho y sentadillas con el 20% del IRM para cada ejercicio. El programa consistía en 4 series de 30, 20, 20 y 20 repeticiones cada una, con 45 segundos de descanso entre ellas. Entrenaron 3 sesiones por semana durante 4 semanas, y observaron un aumento significativo en el IRM de la prensa de pecho y la sentadilla, así como un aumento en la circunferencia del pecho.⁴⁹

Cook *et al.* (2013) investigaron los efectos del entrenamiento con oclusión vascular utilizando una intensidad moderada (70% del IRM). La oclusión vascular se logró a través de la aplicación intermitente de un torniquete neumático de 10.5 cm de ancho, con una presión de oclusión de 180 mmHg. El torniquete fue colocado en forma bilateral en la región proximal del muslo mientras realizaban 5 series de 5 repeticiones de sentadillas, prensa de pecho y dominadas. Se observaron incrementos significativos en la fuerza máxima de las sentadillas y la prensa de pecho, así como mejoría en el desempeño en la carrera de 40 m, así como en la prueba de salto vertical con contramovimiento.⁸

Takarada *et al.* (2000) investigaron los efectos que tiene la oclusión vascular en el tamaño de la musculatura del muslo de pacientes que fueron sometidos a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Demostraron una atenuación de la atrofia muscular por desuso tras la aplicación de oclusión vascular con una presión de 238 mmHg durante dos sesiones diarias desde el tercer día postoperatorio hasta

el catorceavo día. Las sesiones consistían en la aplicación de oclusión vascular con un torniquete de 9cm de ancho por 5 repeticiones de 5 minutos cada una, con 3 minutos de reperusión entre ellas, sin ejercicio combinado.⁴⁴

Ohta *et al.* (2003) estudiaron los efectos del entrenamiento con intensidad baja y oclusión vascular en sujetos postoperados de reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Dividieron 44 sujetos en 2 grupos que realizaron el mismo programa de ejercicios para las extremidades inferiores durante 6 días a la semana por 16 semanas. La presión de oclusión aplicada fue de 180 mmHg. Demostraron un incremento significativo en la fuerza al comparar el torque de los extensores y flexores de rodilla antes y después del programa de entrenamiento.³¹

Abe *et al.* (2010) investigaron los efectos del entrenamiento de caminata con oclusión vascular en adultos mayores. 19 sujetos, hombres y mujeres, de 60 a 78 años fueron asignados a un grupo que realizaría 20 minutos de caminata en banda, a 67 m/min, 5 días por semana, durante 6 semanas, y a un grupo control que no realizaría ejercicio. La oclusión se aplicó por medio de bandas Kaatsu, con una presión de 160-200 mmHg. Se observaron incrementos en la fuerza y el tamaño muscular del grupo que realizó la caminata con oclusión vascular.³

Karabulut *et al.* (2013) estudiaron la respuesta hormonal e inflamatoria, así como los marcadores de daño muscular en adultos mayores. 36 adultos mayores sanos, con una edad media de 56.6 años completaron 6 semanas de entrenamiento de alta intensidad, entrenamiento de baja intensidad con restricción vascular o sin ejercicio como grupo control. Ambos grupos realizaron 3 ejercicios de tren superior a una intensidad del 80% del IRM, mientras que los ejercicios de tren inferior fueron realizados a distintas intensidades: 80% del IRM para el grupo de alta intensidad, y 20% con restricción vascular para el grupo de baja intensidad con restricción vascular. Las presiones de oclusión fueron de 60-240mmHg, aplicadas con un torniquete e 5cm de ancho. No encontraron cambios significativos en creatincinasa (CK) sérica e Il-6 medidos antes y después del entrenamiento, por lo que sugieren se trata de un protocolo seguro para adultos mayores.¹⁶

Fernandes-Bryk *et al.* (2016), realizaron un estudio clínico controlado aleatorizado donde 34 mujeres con una edad media de 61 años fueron asignadas a dos grupos: uno convencional y uno con oclusión vascular. El grupo convencional realizó un programa de fortalecimiento y de estiramiento del cuádriceps, utilizando una intensidad moderada (70% del IRM). El grupo con oclusión vascular realizó el mismo programa con una intensidad leve (30% del IRM). La oclusión se logró con la aplicación de un torniquete neumático en el tercio proximal del muslo, con una presión de 200 mmHg. El programa de ejercicios se realizó durante 6 semanas, con una frecuencia de 3 sesiones por semana. Ambos grupos reportaron mejoría en

su capacidad funcional y menor dolor. También se observó un incremento en la fuerza del cuádriceps. Las diferencias entre ambos grupos no fueron significativas para esos resultados, sin embargo, el grupo que entrenó a una menor intensidad, con oclusión vascular, reportó menos dolor durante las sesiones de entrenamiento.⁵

CAPÍTULO 4

MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 MATERIAL

1. Dinamómetro System 4 Pro de Biodex.
2. Analizador de composición corporal InBody 720
3. Plicómetro Slimguide.
4. Cinta métrica Lufkin W606PM.
5. Torniquete neumático.

Los mecanismos de compresión externa utilizados en los estudios con anterioridad no sólo tienen características distintas entre sí¹⁸, sino que la naturaleza de los mismos es distinta^{22,23,43,49}. Se han utilizado torniquetes neumáticos⁴³ y mecánicos^{22,23,49} de distintos tamaños y materiales. Los primeros suelen tener un coste elevado, mientras que los segundos, a pesar de tener una aplicación más práctica, no nos permiten monitorear la presión de oclusión.

Debido a la gran variedad de mecanismos de compresión externa utilizados para lograr oclusión vascular al ser colocados en las extremidades, a su poca accesibilidad, así como al coste elevado de algunas de ellas, se decidió realizar la producción de un torniquete neumático manual de 7.5 x 69 cm, el cual fue elaborado por los departamentos de Medicina del Deporte y Rehabilitación y el departamento de Ingeniería Biomédica de la Facultad de Medicina y Hospital Universitario de la Universidad Autónoma de Nuevo León, tomando en cuenta algunas especificaciones de los dispositivos usados con anterioridad. Esto nos permitió aplicar la compresión externa necesaria y medir la presión de oclusión aplicada.

4.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO

Torniquete neumático de 7.5 x 69 cm para ser colocado en la región proximal del muslo. Consta de una cobertura de tela de nylon hipoalergénica que en su interior contiene un globo inflable hecho en caucho neumático vulcanizado, el cual está conectado a una bomba manual tipo pera y a un manómetro.

Se usó caucho neumático, el cual le brinda la resistencia necesaria para resistir altas presiones y el método de sellado fue vulcanizado en caliente lo cual disminuye los riesgos de abrirse en las uniones del mismo.

Tiene una válvula check de tipo Schrader la cual permite mantener altas presiones sin pérdida de aire y una rápida conexión manual para cambiar el ajuste de presión. También es posible una conexión continua en caso de ser necesario.

La funda está hecha de tela de nylon hipoalergénica, y cuenta con velcro para el ajuste a distintos diámetros de extremidades.

Como bomba de aire se utilizó una bomba manual tipo pera, la cual está conectada a la misma manguera con un manómetro con escala en mm Hg.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

(A) Manómetro, bomba manual tipo pera y válvula check de tipo Schrader; (B) funda de nylon; (C) y (D) globo de caucho neumático; y (E) torniquete neumático.

Figura 2. Diseño del torniquete neumático.

4.2 DISEÑO METODOLÓGICO

Se realizó un ensayo clínico controlado y aleatorizado. El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de Medicina del Deporte y Rehabilitación, del Hospital Universitario de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y fue sometido para su evaluación al Comité de Ética y Comité de Investigación de la Facultad de Medicina de la UANL y Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, siendo registrado con la clave MDI7-00006.

Los participantes otorgaron su consentimiento informado previo a ser incluidos en el estudio. Los datos personales y sensibles de los participantes fueron manejados con confidencialidad en el expediente clínico.

4.2.1 OBJETIVOS

El objetivo general fue determinar los efectos del entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular, a través del desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- a) Comparar las adaptaciones crónicas al entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular con las que se producen en el entrenamiento de fuerza isocinética sin oclusión vascular.
- b) Determinar qué cambio hay en el pico de torque y en el área de sección transversal tras un programa de entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular, y sin oclusión vascular.
- c) Comparar el cambio en el pico de torque y en el área de sección transversal tras un programa de entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular, y sin oclusión vascular, a distintas velocidades.

4.2.2 HIPÓTESIS

4.2.2.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

El entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular produce un incremento mayor en el pico de torque y en el área de sección transversal que el entrenamiento de fuerza isocinética sin oclusión vascular.

4.2.2.2 HIPÓTESIS NULA

El entrenamiento de fuerza isocinética con oclusión vascular no produce un incremento mayor en el pico de torque y en el área de sección transversal que el entrenamiento de fuerza isocinética sin oclusión vascular.

4.2.3 MUESTRA

El universo para este estudio fueron hombres sanos, de 18 a 35 años. La unidad de medición que se utilizó fueron las piernas de cada sujeto de investigación. Se utilizó una fórmula de estimación de media en dos poblaciones, con una confianza del 95% y una potencia de 80%. Se utilizó un valor de $K= 8.2$ con una desviación estándar de 40 unidades en ambas poblaciones y una diferencia

de medias de 50 unidades. Se requirieron 7 sujetos por cada uno de los subgrupos (LS, HS, LSBFR, HSBFR, CONTROL). La muestra total requerida fue de 35 sujetos de investigación, los cuales fueron reclutados en la consulta de Medicina del Deporte y Rehabilitación. Se incluyeron solamente hombres sanos, de 18 a 35 años; y fueron excluidos: mujeres, aquellos que estuvieron fuera del rango de edad, todo aquel que tuviera alguna patología diagnosticada que comprometiera el sistema cardiovascular y los mecanismos de hemostasia, o diabetes mellitus, así como aquellos que tuvieran alguna lesión en los miembros inferiores del sistema musculoesquelético. Fueron eliminados los que abandonen el estudio.

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos que participaron en la investigación.

4.2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un estudio experimental puro, con un diseño preprueba-posprueba y grupo control. Previa historia clínica, 28 sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de 4 grupos de intervención: 1) entrenamiento a 60°/s sin oclusión vascular (LS), 2) entrenamiento a 240°/s sin oclusión vascular (HS), 3) entrenamiento a 60°/s con oclusión vascular (LSBFR), y 4) entrenamiento a 240°/s

con oclusión vascular (HSBFR). Se incluyeron además 7 participantes en un grupo control (CONTROL), el cual no realizó sesión de entrenamiento alguna, y solamente se les realizó la evaluación inicial y final, separadas entre sí por 4 semanas.

Se determinó antropométricamente el CSA^{10,12} de ambos muslos con las siguientes fórmulas:

$$CSA \text{ total (cm}^2\text{)} = (4.68 \times \text{Circunferencia}) - (2.09 \times \text{skfA}) - 80.99$$

$$CSA \text{ cuádriceps (cm}^2\text{)} = (2.52 \times \text{Circunferencia}) - (1.25 \times \text{skfA}) - 45.13$$

$$CSA \text{ isquiotibiales (cm}^2\text{)} = (1.08 \times \text{Circunferencia}) - (0.64 \times \text{skfA}) - 22.69$$

Donde: CSA= Área de sección transversal, Circunferencia= Circunferencia del muslo, y skfA= Pliegue anterior del muslo.

La circunferencia del muslo, y el pliegue anterior del muslo se midieron de acuerdo a los estándares para mediciones antropométricas de la *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (ISAK).²⁷

La presión de oclusión se determinó mediante la siguiente fórmula⁶:

$$\text{Presión de oclusión} = 0.5(\text{Presión arterial sistólica}) + 2(\text{Circunferencia del muslo}) + 5$$

Se evaluaron los sujetos de investigación 72 horas previas a la intervención experimental. En esta evaluación preprueba, se realizó un análisis de la composición corporal (InBody720), se determinó el área de sección transversal del muslo, y se realizó una valoración isocinética preprueba con el dinamómetro System 4 Pro de Biodex, a 60°/s, 180°/s y 300°/s, concéntrica para la flexión y extensión de ambas rodillas.

El grupo LS, entrenó 12 sesiones (3 veces por semana), en el dinamómetro System 4 Pro de Biodex con un protocolo CON/CON de rodillas a 60°/s, sin oclusión vascular. Tres series de 5 repeticiones, con esfuerzo máximo, con intervalos de descanso de 180 segundos.

El grupo HS, entrenó 12 sesiones (3 veces por semana), en el dinamómetro System 4 Pro de Biodex con un protocolo CON/CON de rodillas a 240°/s, sin oclusión vascular. Tres series de 15 repeticiones, con esfuerzo máximo, con intervalos de descanso de 60 segundos.

El grupo LSBFR, entrenó 12 sesiones (3 veces por semana), en el dinamómetro System 4 Pro de Biodex con un protocolo CON/CON de rodillas a

60°/s, con oclusión vascular, por debajo del pliegue glúteo con un torniquete neumático. Tres series de 5 repeticiones, con esfuerzo máximo, con intervalos de descanso de 180 segundos. La presión de oclusión se disminuyó a 40mmHg durante los periodos de descanso, y se volvió a colocar para la siguiente serie en el valor determinado. Al finalizar, se retiró la oclusión inmediatamente.

El grupo HSBFR, entrenó 12 sesiones (3 veces por semana), en el dinamómetro System 4 Pro de Biodex con un protocolo CON/CON de rodillas a 240°/s, con oclusión vascular, por debajo del pliegue glúteo con un torniquete neumático. Tres series de 15 repeticiones, con esfuerzo máximo, con intervalos de descanso de 60 segundos. La presión de oclusión se disminuyó a 40mmHg durante los periodos de descanso, y se volvió a colocar para la siguiente serie en el valor determinado. Al finalizar, se retiró la oclusión inmediatamente.

Al finalizar las 12 sesiones de entrenamiento, se realizó una evaluación posprueba a las 72 horas de concluido el programa de ejercicios. En esta ocasión, nuevamente se realizó un análisis de la composición corporal (InBody720), se determinó el área de sección transversal del muslo, y se realizó una valoración isocinética posprueba con el dinamómetro System 4 Pro de Biodex, a 60°/s, 180°/s y 300°/s, concéntrica para la flexión y extensión de ambas rodillas.

Tabla 1. Características de los grupos de intervención.

	Grupos				
	Velocidad angular (°/s)	Oclusión (mmHg)	Series	Repeticiones	Descanso
LS	60	0	3	5	180
HS	240	0	3	15	60
LSBFR	60	<i>Individualizada</i>	3	5	180
HSBFR	240	<i>Individualizada</i>	3	15	60
CONTROL	-	-	-	-	-

4.2.5 PLAN ESTADÍSTICO

Se utilizaron las piernas de cada sujeto en forma individual como unidad de medida (n=80). Se realizó estadística descriptiva, calculando frecuencias y porcentajes para las variables categóricas, y medidas de tendencia central y dispersión para las variables numéricas. Posteriormente se realizó prueba de Kolmogorov-Smirnov para evaluar la distribución en las variables cuantitativas. Además se realizó un análisis de comparación de medias por medio de pruebas de ANOVA de un factor para evaluar el cambio en el CSA y en el pico de torque entre grupos y un análisis post hoc con corrección de Bonferroni para encontrar las

diferencias significativas en el análisis global. Se realizó además una prueba de correlación de Pearson entre el trabajo realizado en el entrenamiento y los cambios en la masa muscular y en la fuerza. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado estadísticamente significativo. Se utilizó SPSS Statistics versión 20 (IBM, Armonk, NY, USA) para el análisis estadístico.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Se reclutaron 40 sujetos con edad media de 25.68 ± 4.16 años, masa corporal de 81.80 ± 15.20 kg, talla de 1.75 ± 0.07 m, IMC de 26.47 ± 3.90 , porcentaje de masa grasa de 21.09 ± 7.95 % y masa magra de 63.79 ± 9.01 kg (Tablas 2 y 3). Fueron asignados de la siguiente manera: LS (n=9), HS (n=8), LSBFR (n=7), HSBFR (n=8), CONTROL (n=8) y 5 fueron eliminados (n=5).

El 70% (n=28) realizaba con regularidad ejercicios de fuerza en el gimnasio. Del total de los participantes reclutados, el 45% (n=18) tenía un nivel de

entrenamiento correspondiente a novato; el 15% (n=6), intermedio; y el 40% (n=16), avanzado.

Tabla 2. Descripción de las características antropométricas de la muestra en la evaluación inicial por grupo.

	LS		HS		LSBFR		HSBFR		CONTROL	
	n=9	22.5%	n=8	20 %	n=7	17.5%	n=8	20%	n=8	20%
Edad (años)	26.1 ± 4.1		26.1 ± 5.4		25.4 ± 4.7		25.0 ± 4.0		25.6 ± 3.2	
Talla (cm)	174.1 ± 8.5		173.8 ± 4.7		174.7 ± 6.5		177.2 ± 9.8		177.1 ± 7.4	
Peso (kg)	78.20 ± 12.88		84.3 ± 11.89		78.82 ± 12.43		80.90 ± 17.94		86.85 ± 20.96	
IMC	25.7 ± 3.3		27.8 ± 3.8		25.7 ± 3.1		25.4 ± 2.7		27.5 ± 5.89	
Porcentaje de masa grasa (%)	17.71 ± 7.45		26.96 ± 4.55		17.72 ± 3.93		18.06 ± 5.95		24.98 ± 11.25	
Masa magra	63.72 ± 6.98		61.30 ± 7.45		64.80 ± 10.40		65.98 ± 13.49		63.27 ± 7.26	

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*); cm: centímetros; kg: kilogramos; IMC: Índice de masa corporal.

Tabla 3. Descripción de las características antropométricas de la muestra en la evaluación final.

	LS	HS	LSBFR	HSBFR	CONTROL
Talla (cm)	176.2 ± 8.4	174.5 ± 4.5	174.7 ± 6.5	177.5 ± 10.6	176.0 ± 7.2
Peso (kg)	81.32 ± 13.69	87.0 ± 8.65	79.37 ± 12.41	81.41 ± 19.61	88.80 ± 21.61
IMC	26.13 ± 3.7	28.57 ± 2.99	25.92 ± 3.18	25.45 ± 3.03	28.49 ± 5.9
Porcentaje de masa grasa (%)	18.20 ± 7.05	25.54 ± 3.83	17.17 ± 3.67	17.20 ± 6.64	25.12 ± 9.67
Masa magra	65.89 ± 7.54	64.61 ± 5.35	65.68 ± 10.48	67.20 ± 15.85	64.97 ± 10.38

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*); cm: centímetros; kg: kilogramos; IMC: Índice de masa corporal.

La presión de oclusión mediana para el grupo LSBFR fue de 170 (IQR 158.00-178.5) mm Hg, y para el grupo HSBFR fue de 168 (IQR 162.5-176.5) mm Hg.

Tabla 4. Área de sección transversal (CSA) por grupos.

	CSA Total (cm2)		CSA cuádriceps (cm2)		CSA isquiotibiales (cm2)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
LS	148.32 ± 16.53	156.26 ± 18.71	77.01 ± 8.97	81.30 ± 10.1	28.54 ± 3.93	30.39 ± 4.41
HS	142.66 ± 15.36	153.93 ± 15.64	73.12 ± 8.55	79.42 ± 8.49	26.16 ± 3.92	29.05 ± 3.72
LSBFR	148.40 ± 23.31	154.05 ± 20.79	76.94 ± 12.67	80.06 ± 11.22	28.42 ± 5.54	29.81 ± 4.84
HSBFR	151.05 ± 15.63	156.22 ± 18.09	78.46 ± 8.32	81.27 ± 9.51	29.14 ± 3.52	30.36 ± 3.92
CONTROL	152.95 ± 20.90	149.09 ± 25.33	78.42 ± 11.15	76.64 ± 13.77	28.69 ± 4.80	27.71 ± 6.10

CSA: Área de sección transversal (*cross sectional area*); LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

Tabla 5. Cambio en el área de sección transversal muscular por grupos.

	CSA Total (cm2)		
	CSA total	CSA cuádriceps	CSA isquiotibiales
LS	4.39 ± 4.48	2.41 ± 2.42	1.07 ± 1.05
HS	8.48 ± 7.15	4.74 ± 3.95	2.17 ± 1.78
LSBFR	5.65 ± 6.75	3.11 ± 3.82	1.39 ± 1.79
HSBFR	5.70 ± 3.68	3.14 ± 1.99	1.41 ± 0.87
CONTROL	-3.57 ± 9.89	-2.03 ± 5.47	-0.96 ± 2.47

CSA: Área de sección transversal (*cross sectional area*); LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

Se encontró una diferencia entre grupos ($p < 0.001$) en el cambio de CSA total del muslo y el CSA de cuádriceps y de isquiotibiales (Figuras 8 – 10). Al realizar el análisis post hoc, observamos que esta diferencia solamente sucede con el grupo control, y no entre los grupos de entrenamiento (Tablas 4 y 5).

Tabla 6. Pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los extensores de rodilla.

	60°/s		180°/s		300°/s	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
LS	249.76 ± 44.65	309.04 ± 50.15	184.40 ± 28.68	205.80 ± 33.06	139.39 ± 16.54	141.68 ± 22.90
HS	251.28 ± 36.03	240.35 ± 22.01	171.07 ± 26.45	182.51 ± 16.96	117.16 ± 19.53	132.55 ± 14.60
LSBFR	293.52 ± 43.69	327.18 ± 56.83	201.53 ± 25.44	211.95 ± 27.61	143.94 ± 19.10	147.23 ± 18.95
HSBFR	286.90 ± 42.85	300.52 ± 50.01	195.93 ± 25.80	210.13 ± 30.31	139.16 ± 20.61	151.58 ± 20.61
CONTROL	262.56 ± 57.47	266.59 ± 38.33	198.27 ± 40.84	189.81 ± 34.08	133.98 ± 25.64	125.54 ± 25.57

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

En fuerza muscular se encontró una diferencia entre grupos ($p < 0.05$) en los picos de torque normalizados al peso (Figuras 3 – 7) a 60°/s, 180°/s y 300°/s durante la extensión (Tablas 6 y 8), y a 60°/s y 180°/s durante la flexión (Tablas 7 y 9).

Tabla 7. Pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los flexores de rodilla.

	60°/s		180°/s		300°/s	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
LS	134.19 ± 23.05	169.35 ± 26.59	98.69 ± 18.46	122.68 ± 20.41	74.65 ± 14.36	90.84 ± 14.26
HS	123.59 ± 23.67	140.75 ± 24.71	90.01 ± 19.28	107.56 ± 17.40	70.13 ± 17.76	86.59 ± 13.52
LSBFR	148.75 ± 23.35	152.69 ± 32.61	103.96 ± 18.97	116.87 ± 25.49	79.42 ± 16.42	92.38 ± 19.71
HSBFR	136.21 ± 21.43	161.83 ± 27.72	94.71 ± 18.06	118.95 ± 18.55	72.40 ± 14.83	91.61 ± 22.51
CONTROL	129.99 ± 31.64	134.40 ± 24.01	101.96 ± 22.74	98.83 ± 19.00	71.91 ± 17.34	72.03 ± 16.74

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

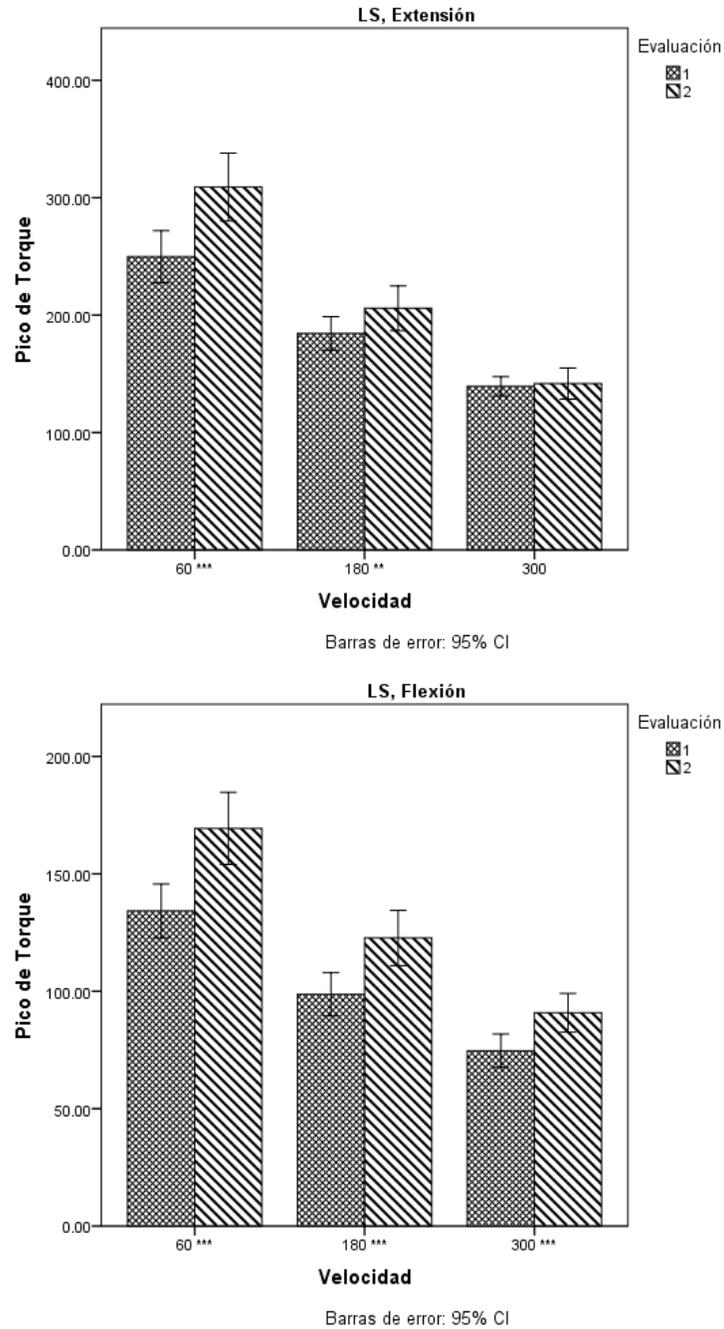


Figura 3. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo LS por velocidad.

(LS: Velocidad baja (*low speed*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

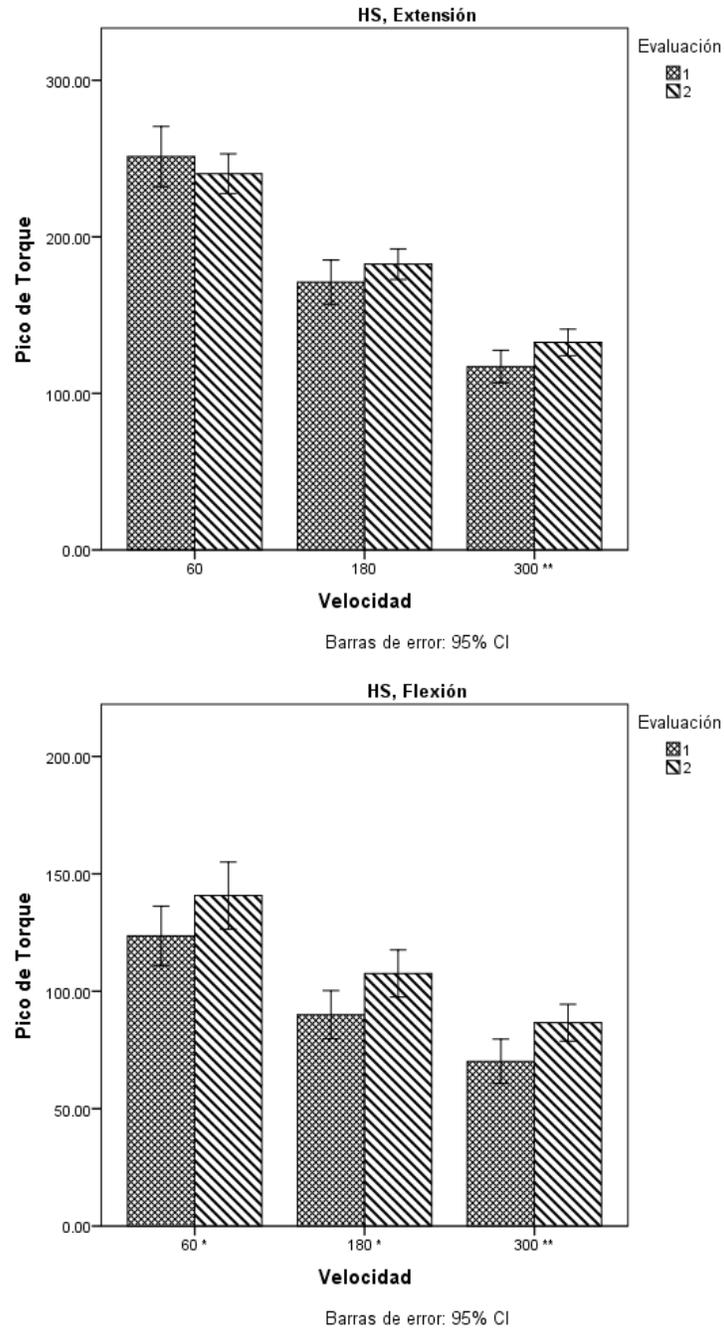


Figura 4. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo HS por velocidad.

(HS: Velocidad alta (*high speed*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

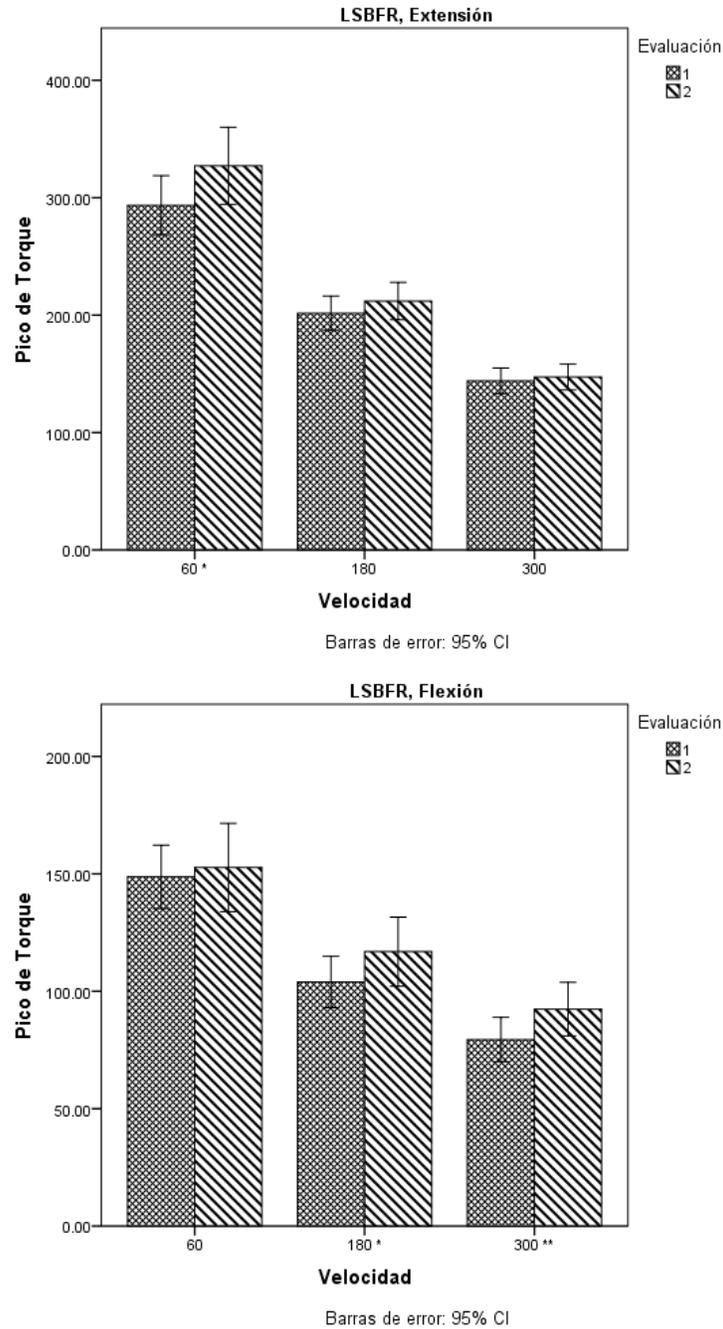


Figura 5. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo LSBFR por velocidad.

(LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

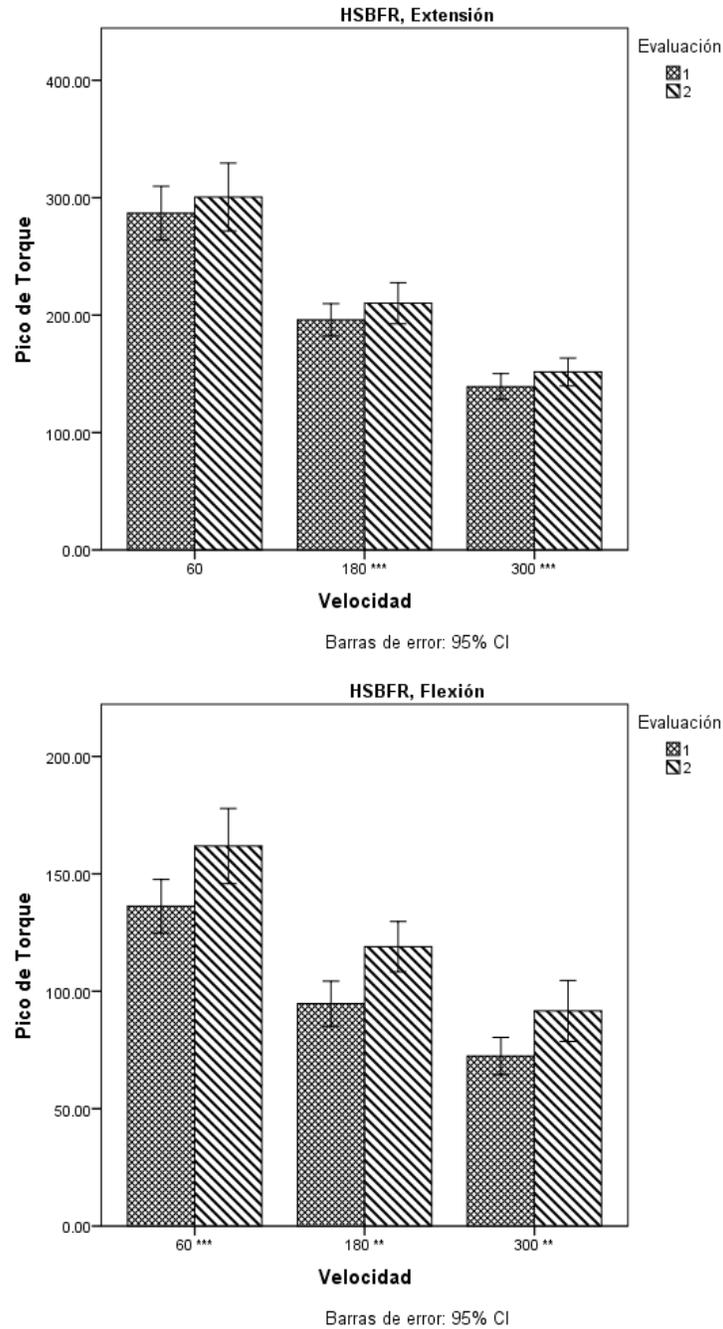


Figura 6. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo HSBFR por velocidad.

(HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

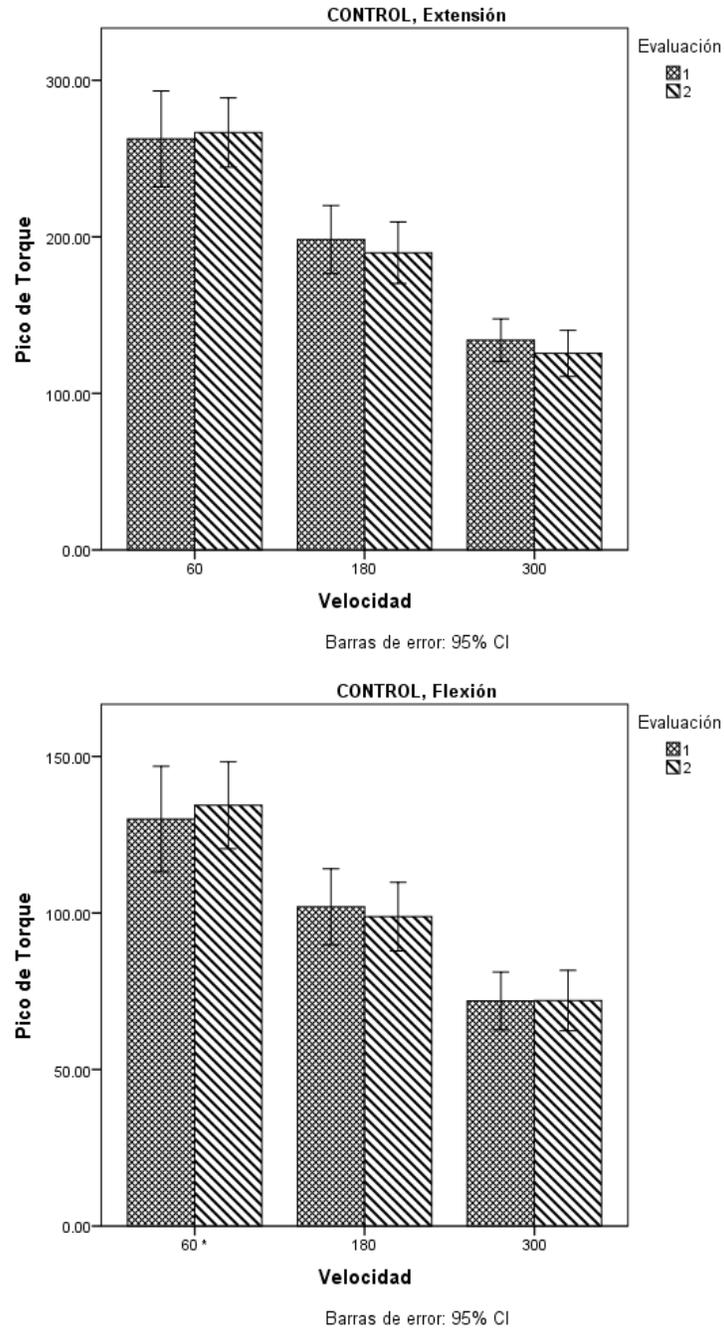


Figura 7. Pico de Torque normalizado al peso corporal (Nm) inicial y final en el grupo CONTROL por velocidad.

(*:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

Al realizar el análisis post hoc, estos cambios fueron específicos de la velocidad de entrenamiento, observando únicamente diferencia en el pico de torque medido a 60°/s durante la flexión entre LS y CONTROL; en el pico de torque medido a 180°/s durante la extensión entre LS y CONTROL, y durante la flexión entre CONTROL y los grupos LS y HSBFR; así como entre CONTROL y los grupos HS y HSBFR cuando el pico de torque fue medido a 300°/s durante la extensión. Entre grupos de entrenamiento, hubo diferencia entre LS y HS y entre LSBFR y HS en el pico de torque medido a 60°/s durante la extensión, y entre LS y LSBFR ($p < 0.001$) durante la flexión. HSBFR no mostró diferencia con los grupos de entrenamiento en todas las velocidades de medición.

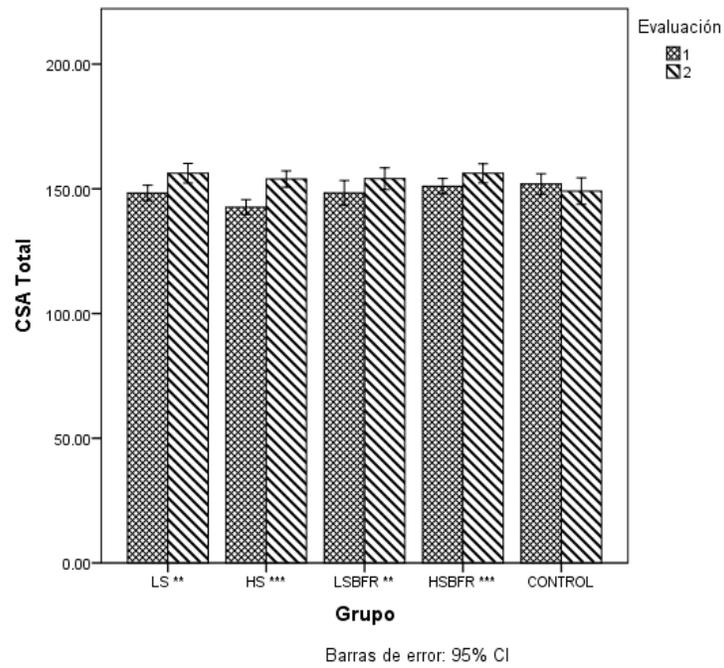


Figura 8. Cambio en el área del CSA (cm²) total por grupo.

(CSA: área de sección transversal (*cross sectional area*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

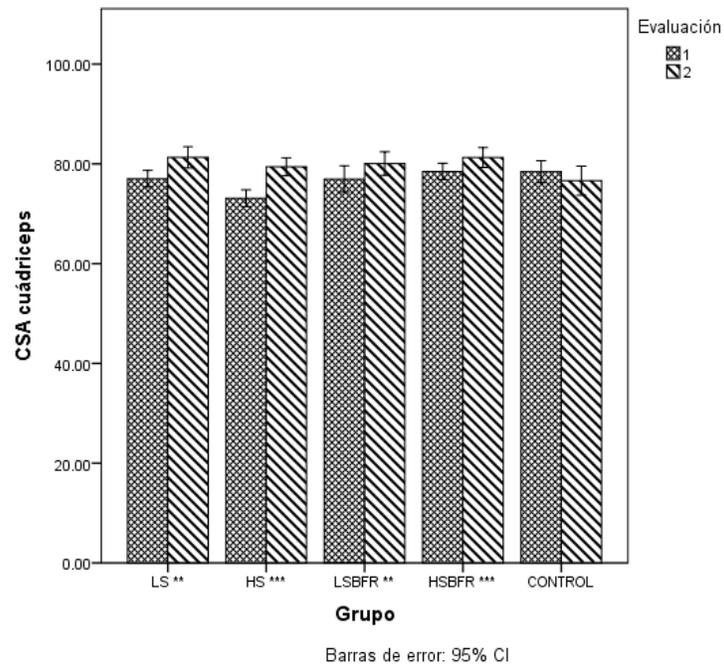


Figura 9. Cambio en el área del CSA (cm²) del cuádriceps por grupo.

(CSA: área de sección transversal (*cross sectional area*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

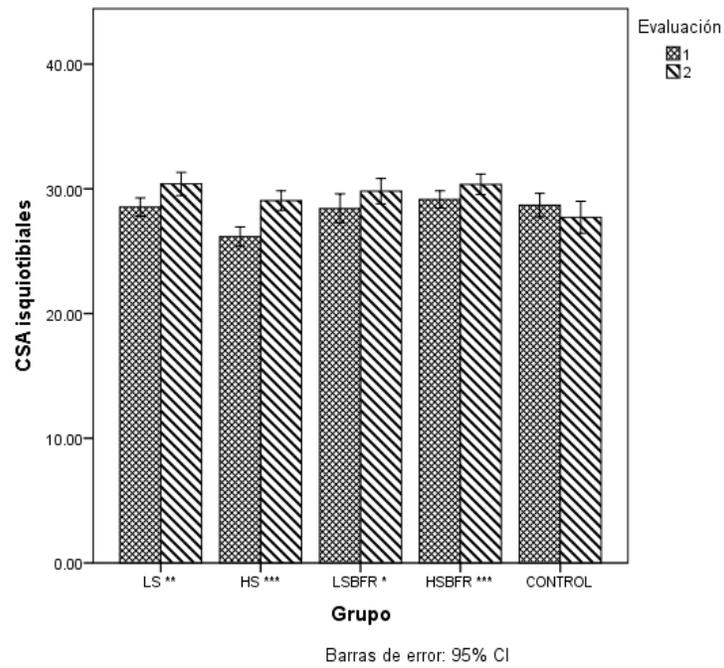


Figura 10. Cambio en el área del CSA (cm²) de los isquiotibiales por grupo.

(CSA: área de sección transversal (*cross sectional area*); *:p<0.05; **:p<0.01; ***:p<0.01)

Tabla 8. Cambio en el pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los extensores de rodilla.

	60°/s	180°/s	300°/s
LS	49.26 ± 38.17	19.04 ± 23.58	14.32 ± 17.03
HS	-12.75 ± 39.79	8.44 ± 22.87	14.32 ± 17.03
LSBFR	33.65 ± 48.72	10.42 ± 19.86	3.29 ± 15.29
HSBFR	11.19 ± 23.42	15.97 ± 13.06	13.13 ± 8.18
CONTROL	11.88 ± 35.17	-2.48 ± 16.06	-2.69 ± 11.93

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

Tabla 9. Cambio en el pico de torque normalizado al peso corporal (Nm) de los flexores de rodilla.

	60°/s	180°/s	300°/s
LS	33.76 ± 19.64	23.46 ± 12.68	13.77 ± 10.25
HS	16.76 ± 23.70	17.05 ± 21.50	15.43 ± 18.08
LSBFR	3.94 ± 19.02	12.91 ± 19.29	12.95 ± 14.43
HSBFR	21.03 ± 16.53	21.89 ± 21.83	16.77 ± 19.96
CONTROL	9.63 ± 12.50	0.55 ± 14.03	3.84 ± 7.47

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

Existe una correlación moderada entre el trabajo total (Tabla 10) realizado al extender ($r=0.477$) y flexionar ($r=0.461$) la rodilla durante las sesiones de entrenamiento y el aumento del CSA total ($p<0.001$). Al realizar una correlación del cambio de fuerza con el volumen de entrenamiento, la correlación fue débil a moderada, incrementándose para mayores velocidades de contracción.

Tabla 10. Suma de Trabajo Total realizado durante las sesiones de entrenamiento por grupo de intervención.

	Trabajo Total (J)	
	Extensión	Flexión
LS	35273.95 (22641.42 - 43780.40)	24609.95 (15411.22 - 27306.50)
HS	58882.95 (52755.35 - 65849.15)	45072.15 (39114.75 - 48692.65)
LSBFR	39262.30 (38463.02 - 53216.17)	25115.20 (21908.80 - 27082.32)
HSBFR	58410.45 (43753.20 - 71871.95)	42032.53 (30641.70 - 52651.40)
CONTROL	0.00 (0.00 - 0.00)	0.00 (0.00 - 0.00)

LS: Velocidad baja (*low speed*); HS: Velocidad alta (*high speed*); LSBFR: Velocidad baja con oclusión vascular (*low speed with blood flow restriction*); HSBFR: Velocidad alta con oclusión vascular (*high speed with blood flow restriction*).

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

El entrenamiento de fuerza permite adaptaciones en el tamaño y la fuerza muscular cuando se entrena con intensidades moderadas a altas (mayores al 70% IRM).³⁶ Pacientes que se encuentran en rehabilitación musculoesquelética, especialmente en las fases iniciales y adultos mayores tendrán dificultades para utilizar estas intensidades, por lo que se ha sugerido anteriormente hacer uso de intensidades menores bajo oclusión vascular.¹³

El entrenamiento con oclusión vascular ha sido utilizado en poblaciones diversas, pero desafortunadamente, los resultados no han sido congruentes.^{3,5,13,31,47}

Esto podría deberse a múltiples factores que podrían actuar confundiendo los resultados: las características demográficas de la población utilizada, el torniquete, la presión de oclusión, el diseño experimental, el tipo de ejercicio, la duración, el volumen y la intensidad del entrenamiento, podrían explicar esta variabilidad. Discutiremos cada una de estas características a continuación.

6.1 POBLACIÓN

La mayoría de los estudios previos realizados en atletas utilizaron muestras particularmente homogéneas con respecto a las características demográficas, antropométricas, al deporte practicado y al nivel de entrenamiento de los sujetos de investigación.^{2,23,25,37,43} La muestra utilizada en este estudio cuenta con una menor homogeneidad con respecto a estas características debido a que se decidió utilizar un menor número de criterios de inclusión debido a la dificultad para reclutar y mantener el total de la muestra necesaria, consecuencia del diseño inherente, donde los participantes debieron asistir 3 veces por semana por 5 semanas al sitio de investigación para ser evaluados y entrenar. El hecho de no homogeneizar la muestra por medio del uso de criterios de inclusión más estrechos

y solamente utilizar un universo de hombres sanos en un grupo etario provocó que las características demográficas, antropométricas y el nivel de entrenamiento tuvieran una desviación considerable. Ello pudo impactar en el tamaño del efecto de la intervención cuando este fuera ajustado a características como la composición corporal y el nivel de entrenamiento. Este último resulta de particular relevancia ya que impacta directamente en la entrenabilidad de los sujetos, y por lo tanto, en la magnitud del cambio observado en las variables dependientes de masa muscular y fuerza. En este estudio, un 30% de la muestra no realizaba ejercicio de fuerza en el gimnasio con regularidad, mientras que el 40% tenía más de 1 año realizando entrenamiento de fuerza.

6.2 TORNIQUETE

Se diseñó un dispositivo propio tomando en cuenta las características de los reportados en la literatura. Dos características son particularmente relevantes a este respecto: el material del cual está fabricado y el ancho del mismo.

El torniquete utilizado en este estudio está realizado de dos componentes principales: un globo inflable de caucho vulcanizado y una funda de nylon, muy

similar a los que son utilizados con fines cardiovasculares, a diferencia de los torniquetes elásticos diseñados específicamente para este fin (Kaatsu Master).

El ancho utilizado reportado va desde los 5 cm hasta los 13.5 cm, por lo que se decidió diseñar el propio con un ancho que estuviera dentro de este rango. Tomando en cuenta que la presión requerida es inversamente proporcional al ancho del torniquete, que los efectos adversos menores derivados de la aplicación del mismo aparecen con mayor frecuencia cuanto menor es el ancho, y que sería menos voluminoso un torniquete de mayor anchura, se decidió, de manera arbitraria y en conjunto con el Departamento de Ingeniería Biomédica, que el ancho apropiado sería de 7.5 cm. La longitud del torniquete (69 cm) fue establecida a partir de la circunferencia del muslo medio estimada para la muestra.

6.3 PRESIÓN DE OCLUSIÓN

En el proceso del diseño del torniquete neumático fue de suma importancia utilizar un sistema que permitiera la monitorización constante de la presión aplicada por el torniquete, y que además evitara la disminución de la presión a

través del escape de aire. La conexión del torniquete al sistema valvular y de mangueras descrito, con un insuflador tipo pera y un manómetro cumplió con las expectativas. El sistema mantuvo perfectamente la presión de oclusión hasta antes del inicio del ejercicio. Se encontró una disminución entre la presión de oclusión previo al inicio de la serie de ejercicio y la presión de oclusión al finalizar la misma, sin embargo esta no fue cuantificada. A pesar de ello, la presión de oclusión al finalizar cada serie era tal que siempre se logró realizar una disminución de la misma hasta los 40 mm Hg, y esta presión se mantuvo constante hasta que se volvía a insuflar el globo hasta la presión de oclusión calculada previo al inicio de la siguiente serie de repeticiones.

La presión de oclusión utilizada fue individualizada a cada unidad de medida a partir de las cifras de tensión arterial sistólica y la circunferencia del muslo. Si bien el rango de las cifras de presión de oclusión está entre los 70 y los 270 mm Hg, la mayoría de los estudios utilizan cifras en un rango más estrecho entre los 160 y los 240 mmHg², generalmente reportando una mayor presión de oclusión para torniquetes más angostos⁴³. En este estudio, utilizando un torniquete de 7.5 cm de ancho, la mediana de presión de oclusión utilizada fue de 170 mm Hg (IQR 158.00-178.5) para el grupo LSBFR, y de 168mmHg (IQR 162.5-176.5) para el grupo HSBFR. Estas cifras de presión de oclusión se encuentran dentro del rango de las presiones utilizadas más frecuentemente en el diseño de este tipo de estudios.

6.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Inicialmente se habían propuesto solamente 4 grupos de intervención, donde los controles para los grupos que utilizaran el torniquete de oclusión vascular fueran los grupos que simplemente no lo utilizaban. Se comenzó con la recolección de los datos, asignando un número consecutivo a cada sujeto que era reclutado, los cuales habían sido aleatorizados previamente en bloques balanceados a través de una lista aleatoria diseñada por una computadora. Se decidió incluir, una vez aleatorizados los cuatro grupos de intervención, un grupo control que no tuviera intervención alguna, con el objetivo de saber si los cambios observados dentro de los grupos eran causados por la intervención del ejercicio realizado, o si eran factores externos que no fueron controlados los que los produjeron. Al no ser controlados múltiples aspectos de la vida diaria de los participantes: nutrición, actividad física, ejercicio adicional, sueño, surgió la preocupación de que estos factores pudieran confundir los resultados observados. La inclusión del grupo control al final intenta resolver esta cuestión, aunque por supuesto tiene la limitante de no haber sido aleatorizado junto con los demás participantes, sino que fueron asignados en forma consecutiva a este grupo ya que todos los demás participantes ya habían sido reclutados en el momento en el que se propuso esta solución. El hecho de incluir este grupo no resta valor a las

observaciones hechas con respecto a las diferencias entre los grupos de intervención (LS, HS, LSBFR, HSBFR), e intentaba aportar mayor validez a los datos a cambio del sesgo propio de la falta de aleatorización de estos últimos participantes.

6.5 TIPO DE EJERCICIO

Sakuraba e Ishikawa³⁷ describieron un protocolo de entrenamiento utilizando el mismo tipo de ejercicio isocinético que este estudio. Sin embargo, su población se trataba de un grupo de atletas universitarios de pista y campo, recordando que nuestra muestra era heterogénea al respecto. Se utilizaron contracciones concéntricas de flexión y extensión de rodilla de manera similar. A diferencia de ellos que utilizaron 90°/s y 300°/s como velocidades lentas y rápidas, en este estudio las velocidades utilizadas fueron 60°/s y 240°/s como velocidades de entrenamiento; la presión de oclusión que ellos utilizaron fue fija en 200 mm Hg, mientras que la que se utilizó en esta ocasión fue individualizada (168 – 170 mm Hg); y en esta ocasión sí se reporta el ancho del torniquete (7.5 cm). Discutían que era posible que no encontraran adaptaciones anatómicas debido al poco tiempo de duración del protocolo (4 semanas); sin embargo, sería razonable pensar que no

encontraron aumento del CSA debido al nivel de entrenamiento con el que contaba su muestra. En este caso, el 45% de la muestra se clasificó como novata, y eso podría explicar el hecho de encontrar una diferencia estadísticamente significativa entre grupos en el cambio de CSA total del muslo y el CSA de cuádriceps y de isquiotibiales ($p < 0.001$) contra el grupo CONTROL, a pesar de no haber diferencia entre los grupos de intervención.

6.6 INTENSIDAD DE ENTRENAMIENTO

Con el objetivo de establecer el efecto absoluto de la oclusión vascular por medio de un torniquete, y de poder comparar el torque entre las distintas velocidades, se decidió solicitar una contracción máxima voluntaria en cada repetición a diferencia de estudios previos que utilizan intensidades bajas (20-30% IRM)^{5,23,49}. De esta manera, la intensidad sería la misma para todos los grupos de intervención; evitaríamos tener que utilizar intensidades relativas a cada velocidad demasiado bajas para producir una respuesta fisiológica al estímulo; y además, el torque máximo estaría definido por la velocidad de contracción en una relación inversamente proporcional. De tal manera que a mayor velocidad de contracción, la intensidad relativa al torque máximo en todo el espectro de velocidades sería

menor. A partir de ahí surge la hipótesis de que el entrenamiento a velocidades altas de contracción con oclusión vascular podría ser superior para el aumento de fuerza y masa muscular que el entrenamiento sin oclusión vascular, pensando precisamente en aplicar estos métodos a personas que no pueden desarrollar un torque elevado por sarcopenia, o por lesiones del sistema musculoesquelético que no le permiten a los sujetos aplicar una tensión elevada a los tejidos lesionados, o que deben evitar fuerzas de cizallamiento elevadas en las articulaciones cuando se aplican torques mayores.

6.7 VOLUMEN DE ENTRENAMIENTO

El dinamómetro nos ofrece la posibilidad de cuantificar con precisión el volumen del entrenamiento como el trabajo realizado. Al momento de diseñar el estudio, se intentó crear los grupos de intervención de tal manera que todos realizaran la misma cantidad de trabajo por lo que los grupos que entrenaron con velocidades lentas de contracción (mayor torque) realizaron 5 repeticiones, y los grupos que entrenaron con velocidades rápidas de contracción (menor torque) realizaron 15 repeticiones. Considerando que el arco a través del cual realizarían el movimiento sería similar entre los participantes, todo quedaba sujeto al torque

aplicado y al tiempo durante el cual este fuera aplicado. Este esfuerzo fue en vano, pues a pesar de que se intentó tomar en cuenta este factor, los grupos de intervención no realizaron el mismo trabajo entre sí. Los grupos de velocidad alta de contracción, realizaron una mayor cantidad de trabajo, y se encontró una correlación moderada entre ésta, y el aumento de la masa muscular. A pesar de haber realizado una mayor cantidad de trabajo, y de que la magnitud de cambio en la masa muscular depende moderadamente de éste, no hubo diferencia entre los grupos de intervención. Esto podría sugerir, que de haber sido isovolumétricas las intervenciones, existe la posibilidad de que el entrenamiento a velocidades altas resulte inferior que el entrenamiento a velocidades bajas para lograr adaptaciones crónicas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

El entrenamiento con oclusión vascular no produce un incremento mayor en fuerza muscular al que produce el entrenamiento sin oclusión vascular, y tampoco demostró ser mejor para el aumento de la masa muscular comparado con otros grupos de entrenamiento.

El entrenamiento de fuerza isocinética aumenta significativamente la fuerza y la masa muscular tras un programa de 12 sesiones. El incremento observado en la fuerza es específico de la velocidad de contracción a la cual se realizó el entrenamiento.

El aumento de masa muscular tiene una correlación moderada con el volumen de entrenamiento.

7.1 PERSPECTIVA PARA EL FUTURO

Las variables que rodean las adaptaciones fisiológicas al estímulo del entrenamiento son innumerables. El diseño de estudios que controlen de mejor manera todas ellas, serán fundamentales en la mejor comprensión de cómo suceden las adaptaciones crónicas durante el entrenamiento.

La selección adecuada de la población de estudio, con criterios estrictos de inclusión será importante para apreciar el efecto en sujetos con distintas características.

El uso de instrumentos válidos y confiables para la medición de las distintas variables es de fundamental relevancia. Seguirá siendo imposible comparar los resultados obtenidos si la aplicación de oclusión se realiza con instrumentos distintos por distintos investigadores, y su aplicabilidad dependerá en gran medida

de su disponibilidad al público, por lo que el diseño de nuevos instrumentos económicos es igualmente importante.

Se deberán dirigir los esfuerzos a la realización de investigaciones que tengan cada vez un mejor diseño experimental con el fin de encontrar evidencia de mayor calidad que apoye o rechace el uso de intervenciones en rehabilitación musculoesquelética.

Mientras tanto, seguiremos haciendo el mejor trabajo posible, con la mejor evidencia disponible, para ofrecer una atención de calidad a nuestros pacientes.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Dr. Juan Antonio Rivera Pérez

Candidato para el grado de

Especialidad en Medicina del Deporte y Rehabilitación

Tesis: ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y OCLUSIÓN VASCULAR: ADAPTACIONES CRÓNICAS.

Campo de estudio: Medicina del Deporte y Rehabilitación

Biografía:

Datos personales: Nacido en Saltillo, Coahuila el 28 de mayo de 1988, hijo de Juan Antonio Rivera Sánchez y Beatriz Eugenia Pérez Lozano.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Coahuila con el grado obtenido de Médico General en 2013, recibiendo la medalla “Juan Antonio de la Fuente” al obtener el más alto promedio de calificaciones, al término de sus estudios profesionales.

Nombramientos: Jefe de Residentes en Investigación del Departamento de Medicina del Deporte y Rehabilitación de la Facultad de Medicina y Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.

Reconocimientos: Estudiante de Posgrado Distinguido del Departamento de Medicina del Deporte y Rehabilitación de la Facultad de Medicina y Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, Sugaya M, Kudo M, Kurano M, Yasuda T, et al. Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and VO₂max in young men. 2010;9(3):452–458. doi:10.1097/JPT.0b013e3181d07a73
2. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Kearns CF, Midorikawa T, Sato Y. Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. 2005;1(1):19–23. doi:10.3806/ijktr.1.19
3. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, Nakajima T. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. 2010;33(1):34–40. doi:10.1097/JPT.0b013e3181d07a73
4. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, Koizumi K, Ishii N. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. 2005;1(1):6–12. doi:10.3806/ijktr.1.6

5. Bryk FF, dos Reis AC, Fingerhut D, Araujo T, Schutzer M, Cury R de PL, Duarte A, Fukuda TY. Exercises with partial vascular occlusion in patients with knee osteoarthritis: a randomized clinical trial. 2016;24(5):1580–1586. doi:10.1007/s00167-016-4064-7
6. Buford TW, Fillingim RB, Manini TM, Sibille KT, Vincent KR, Wu SS. Kaatsu training to enhance physical function of older adults with knee osteoarthritis: Design of a randomized controlled trial. 2015;43:217–222. doi:10.1016/j.cct.2015.06.016
7. Ciolac EG, Rodrigues-da-Silva J, Messias. Resistance Training as a Tool for Preventing and Treating Musculoskeletal Disorders. 2016;46(9):1239–1248. doi:10.1007/s40279-016-0507-z
8. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM. Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. 2014;9(1):166–172. doi:10.1123/IJSP.2013-0018
9. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis. 2010;39(4):412–423. doi:10.1093/ageing/afq034
10. DeFreitas JM, Beck TW, Stock MS, Dillon MA, Sherk VD, Stout JR, Cramer JT. A comparison of techniques for estimating training-induced changes in muscle cross-sectional area. 2010;24(9):2383–2389. doi:10.1519/JSC.0b013e3181ec86f3
11. Eiken O, Sundberg CJ, Esbjörnsson M, Nygren A, Kaijser L. Effects of ischaemic

training on force development and fibre-type composition in human skeletal muscle. 1991;11(1):41–49. doi:10.1111/j.1475-097X.1991.tb00652.x

12. Housh DJ, Housh TJ, Weir JP, Weir LL, Johnson GO, Stout JR. Anthropometric estimation of thigh muscle cross-sectional area. 1995;27(5):784–791. doi:10.1249/00005768-199505000-00023

13. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. 2017;bjssports-2016-097071. doi:10.1136/bjssports-2016-097071

14. Kacin A, Strazar K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity. 2011;21(6):231–241. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01260.x

15. Karabulut M, Mccarron J, Abe T, Sato Y, Bembem M. The effects of different initial restrictive pressures used to reduce blood flow and thigh composition on tissue oxygenation of the quadriceps. 2011;29(9):951–958. doi:10.1080/02640414.2011.572992

16. Karabulut M, Sherk VD, Bembem DA, Bembem MG. Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. 2013;33(5):393–399. doi:10.1111/cpf.12044

17. Kraemer WJ, Looney DP. Underlying mechanisms and physiology of muscular power. 2012;34(6):13–19. doi:10.1519/SSC.0b013e318270616d

18. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, Bemben DA, Bemben MG. Effects of cuff width on arterial occlusion: Implications for blood flow restricted exercise. 2012;112(8):2903–2912. doi:10.1007/s00421-011-2266-8
19. Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs C a., Rossow LM, Abe T, Bemben MG. Effect of cuff type on arterial occlusion. 2013;33(4):325–327. doi:10.1111/cpf.12035
20. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: A meta-analysis. 2012;112(5):1849–1859. doi:10.1007/s00421-011-2167-x
21. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bemben MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. 2011;21(4):510–518. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01290.x
22. Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, de Souza EO, Machado M, Dudeck JE, Wilson JM. Practical blood flow restriction training increases muscle hypertrophy during a periodized resistance training programme. 2014;34(4):317–321. doi:10.1111/cpf.12099
23. Luebbbers PE, Fry AC, Kriley LM, Butler MS. The Effects of a 7-Week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-Trained Collegiate Athletes. 2014;28(8):2270–2280. doi:10.1519/JSC.0000000000000385
24. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N. Cross-Transfer Effects of Resistance Training with Blood Flow Restriction. 2008;40(2):258–263. doi:10.1249/mss.0b013e31815c6d7e

25. Manimmanakorn A, Hamlin MJ, Ross JJ, Taylor R, Manimmanakorn N. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. 2013;16(4):337–342. doi:10.1016/j.jsams.2012.08.009
26. Manimmanakorn A, Manimmanakorn N, Taylor R, Draper N, Billaut F, Shearman JP, Hamlin MJ. Effects of resistance training combined with vascular occlusion or hypoxia on neuromuscular function in athletes. 2013;113(7):1767–1774. doi:10.1007/s00421-013-2605-z
27. Marfell-jones M, Olds T, Stewart A, Carter L. Estándares Internacionales para Mediciones Antropométricas. 2006.
28. Moore DR, Burgomaster KA, Schofield LM, Gibala MJ, Sale DG, Phillips SM. Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. 2004;92(4–5):399–406. doi:10.1007/s00421-004-1072-y
29. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, Nagata T, KAATSU Training Group. Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. 2006;2(1):5–13. doi:10.3806/ijktr.2.5
30. Nygren a T, Sundberg CJ, Göransson H, Esbjörnsson-Liljedahl M, Jansson E, Kaijser L. Effects of dynamic ischaemic training on human skeletal muscle dimensions. 2000;82(1–2):137–41. doi:10.1007/s004210050663
31. Ohta H, Kurosawa H, Ikeda H, Iwase Y, Satou N, Nakamura S. Low-load

resistance muscular training with moderate restriction of blood flow after anterior cruciate ligament reconstruction. 2003;74(1):62–68.

doi:10.1080/00016470310013680

32. Ozawa Y, Koto T, Shinoda H, Tsubota K. Vision Loss by Central Retinal Vein Occlusion After Kaatsu Training. 2015;94(36):e1515.

doi:10.1097/MD.0000000000001515

33. Patterson SD, Ferguson RA. Increase in calf post-occlusive blood flow and strength following short-term resistance exercise training with blood flow restriction in young women. 2010;108(5):1025–1033. doi:10.1007/s00421-009-

1309-x

34. Pearson SJ, Hussain SR. A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. 2015;45(2):187–200.

doi:10.1007/s40279-014-0264-9

35. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction.

2013. doi:10.1519/JSC.0b013e3182874721

36. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler W Ben, Kraemer WJ, Triplett NT. American College of Sports Medicine position stand. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. 2009;41(3):687–708.

doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670

37. Sakuraba K, Ishikawa T. Effect of isokinetic resistance training under a condition of restricted blood flow with pressure. 2009;14(5):631–639.

doi:10.1007/s00776-009-1374-3

38. Sato Y. The history and future of KAATSU Training. 2005. doi:10.3806/ijktr.1.1

39. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence. 2015. doi:10.1016/j.jsams.2015.04.014

40. Scott D, Daly RM, Sanders KM, Ebeling PR. Fall and Fracture Risk in Sarcopenia and Dynapenia With and Without Obesity: the Role of Lifestyle Interventions. 2015;13(4):235–244. doi:10.1007/s11914-015-0274-z

41. Stoeber K, Heber A, Eichberg S, Brixius K. Influences of Resistance Training on Physical Function in Older, Obese Men and Women With Sarcopenia. 2016:1. doi:10.1519/JPT.0000000000000105

42. Sundberg CJ, Eiken O, Nygren A, Kaijser L. Effects of ischaemic training on local aerobic muscle performance in man. 1993;148(1):13–19. doi:10.1111/j.1748-1716.1993.tb09526.x

43. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. 2002;86(4):308–314. doi:10.1007/s00421-001-0561-5

44. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. 2000;32(12):2035–2039. doi:10.1007/s00167-016-4064-7

45. Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, Ishii N. Effects of

resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. 2000;88(6):2097–2106.

46. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. 2004;54(6):585–592. doi:10.2170/jjphysiol.54.585

47. Takarada Y, Tsuruta T, Ishii N. Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. 2004;54(6):585–592. doi:10.2170/jjphysiol.54.585

48. Thiebaud RS, Loenneke JP, Fahs C a., Rossow LM, Kim D, Abe T, Anderson M a., Young KC, Bemben D a., Bemben MG. The effects of elastic band resistance training combined with blood flow restriction on strength, total bone-free lean body mass and muscle thickness in postmenopausal women. 2013;33(5):344–352. doi:10.1111/cpf.12033

49. Yamanaka T, Farley RS, Caputo JL. Occlusion Training Increases Muscular Strength in Division IA Football Players. 2012;26(9):2523–2529. doi:10.1519/JSC.0b013e31823f2b0e

50. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Iida H, Imuta H, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T. Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. 2014;24(1):55–61. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01489.x

APÉNDICE A

CLAVE DE REGISTRO ANTE EL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE MEDICINA Y HOSPITAL UNIVERSITARIO

DR. MED. OSCAR SALAS FRAIRE
Investigador principal
Departamento de Medicina del Deporte
Presente.-

Estimado Dr. Salas:

En respuesta a su solicitud con número de Ingreso **PI17-00196** con fecha del **12 de Julio del 2017**, recibida en las Oficinas de la Secretaría de Investigación Clínica de la Subdirección de Investigación, se extiende el siguiente **DICTAMEN FAVORABLE** con fundamento en los artículos 4° párrafo cuarto y 16 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; así como los artículos 14-16, 99 párrafo tercero, 102, 106 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la salud; así como de los artículos 111, 112 y 119 del Decreto que modifica a la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la salud publicado el día 2 de abril del 2014; Además Punto 4.4, 4.7, 6.2, 8 de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos; así como por el Reglamento interno de Investigación de Nuestra Institución.

Se informa que el Comité de Investigación ha determinado que el Protocolo de Investigación clínica abajo mencionado cuenta con la calidad técnica, aspectos metodológicos y mérito científico requeridos.

"Entrenamiento de fuerza y oclusión vascular: adaptaciones crónicas", registrado en esta Subdirección con la clave **MD17-00006**.

De igual forma los siguientes documentos:

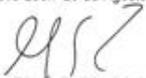
- **Protocolo en extenso, versión 2.0 de fecha 14 de Agosto del 2017.**

Le reitero que es su obligación presentar a este Comité de Investigación un informe técnico parcial a más tardar el día en que se cumpla el año de emisión de este oficio, así como notificar la conclusión del estudio.

Será nuestra obligación realizar visitas de seguimiento a su sitio de investigación para que todo lo anterior este debidamente consignado, en caso de no apegarse, este Comité tiene la autoridad de suspender temporal o definitivamente la investigación en curso, todo esto con la finalidad de resguardar el beneficio y seguridad de todo el personal y sujetos en investigación.

EL SUB-DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN

Atentamente.-
"Alere Flammam Veritatis"
Monterrey, Nuevo León 29 de Agosto del 2017


DR. C. GUILLERMO ELIZONDO RIOJAS
Presidente del Comité de Investigación



COMITÉ DE ÉTICA
ECUATE DE INVESTIGACIÓN

Comité de Investigación

Av. Francisco I. Madero y Av. Gonzalitos s/n, Col. Miras Centro, C.P. 64460, Monterrey, N.L. México
Teléfonos: (+52) 81 8329 4050, Ext. 2870 a 2874. Correo Electrónico: investigacionclinica@meduamf.com



APÉNDICE B

CONSENTIMIENTO INFORMADO

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del Estudio	Entrenamiento de fuerza y oclusión vascular: adaptaciones crónicas.
Nombre del Investigador Principal	Dr. med. Óscar Salas Fraire
Servicio / Departamento	Medicina del Deporte y Rehabilitación
Teléfono de Contacto	8442940596
Persona de Contacto	Dr. Juan Antonio Rivera Pérez
Versión de Documento	2.0
Fecha de Documento	14 de agosto del 2017

Usted ha sido invitado(a) a participar en un estudio de investigación. Este documento contiene información importante acerca del propósito del estudio, lo que Usted hará si decide participar, y la forma en que nos gustaría utilizar su información personal y la de su salud.

Puede contener palabras que Usted no entienda. Por favor solicite a su médico o al personal del estudio que le explique cualquier palabra o información que no le quede clara.

¿CUÁL ES EL PROPÓSITO DEL ESTUDIO?

El propósito de este estudio es determinar el cambio en la fuerza muscular del muslo tras un programa de ejercicios en un aparato utilizando un brazalete colocado en el muslo para disminuir la cantidad de sangre que pasa por las venas.

Se le pide participar porque usted cumple con los criterios para incluirle en el estudio. En usted se realizarán mediciones del tamaño y la fuerza muscular antes y después del programa de ejercicios, y así se podrán comparar los cambios en esas características.

La investigación en la que Usted participará es importante porque con los resultados obtenidos se espera encontrar opciones alternativas para lograr el aumento del tamaño y de la fuerza muscular con un programa de ejercicios.

¿CUÁL SERÁ LA DURACIÓN DEL ESTUDIO Y CUÁNTOS PARTICIPANTES HABRÁ EN ESTE ESTUDIO?

La duración del estudio será de 1 año.

Se incluirán 64 sujetos de investigación en este centro.

Cada participante acudirá a 14 sesiones en un periodo de 6 semanas. Las 14 sesiones son como se explica a continuación: una evaluación inicial, 12 sesiones de entrenamiento (con una frecuencia de 3 veces por semana), y una evaluación final.

¿CUÁLES SON LOS REQUISITOS QUE SE TOMARÁN EN CUENTA PARA MI PARTICIPACIÓN?

Los criterios de inclusión y de exclusión son los siguientes:

Los criterios de inclusión son los siguientes: hombres sanos, de 18 a 35 años de edad. Los criterios de exclusión son los siguientes: Mujeres, edad menor de 18 años, edad mayor a 35 años, enfermedades del corazón y de los vasos sanguíneos, enfermedades de la sangre, diabetes (azúcar), y enfermedades de las piernas.

¿CUÁL ES EL TRATAMIENTO DEL ESTUDIO?

Si Usted decide participar en este estudio de investigación su tratamiento consistirá en un brazalete que se coloca en el muslo, el cual es inflado con aire para aumentar la presión en el sitio donde es colocado, con el fin de reducir la cantidad de sangre que pasa por las venas.

¿CUÁLES SON LOS PROCEDIMIENTOS QUE SE ME REALIZARÁN?

Los procedimientos que se le realizarán serán los siguientes:

Primera sesión:

- Se le realizará una entrevista, se le dará a conocer el consentimiento informado y de aceptar su inclusión en el estudio, deberá firmar el mismo.
- Se tomarán medidas de su cuerpo, y se realizará una primera prueba de evaluación de fuerza en el aparato de ejercicio.
- La prueba consiste en la realización de varias repeticiones en las que deberá doblar y estirar su pierna con la mayor cantidad de fuerza posible mientras está sujeto al aparato.
- Se le asignará al azar a uno de cuatro grupos de estudio: dos entrenarán con brazalete, y dos lo harán sin brazalete. Cada uno podrá ser realizado de forma más lenta o de forma rápida.

12 sesiones de entrenamiento:

- Se realizarán en 3 días por semana.
- Las sesiones de entrenamiento dependerán del grupo al que haya sido asignado: dos grupos entrenarán con brazaletes, y dos sin brazaletes.
- Tras un calentamiento general que consiste en pedaleo en bicicleta estática durante cinco minutos, deberá realizar un número determinado de series y repeticiones bajo las condiciones de cada grupo.
- Los grupos que entrenan de forma lenta, deberán realizar 3 series de 5 repeticiones con 180 segundos de descanso entre cada una.
- Los grupos que entrenan de forma rápida, deberán realizar 3 series de 15 repeticiones con 60 segundos de descanso entre cada una.

Última sesión:

- Al terminar las 12 sesiones de entrenamiento, habrá una última visita en donde se realizará de nuevo una evaluación en el aparato para determinar su fuerza máxima, y se tomarán medidas de su cuerpo nuevamente.

¿QUÉ VA A HACER SI USTED DECIDE PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO?

Si Usted da su consentimiento para participar, se le pedirá que acuda a las 14 sesiones de este estudio, que continúe con sus actividades normales de la vida diaria, y que reporte cualquier molestia que pudiera tener durante la realización del estudio a los investigadores.

Sus responsabilidades consistirán principalmente en acudir a todas las sesiones del estudio y reportar cualquier eventualidad durante la realización del estudio a los investigadores.

¿CUÁLES SON LOS POSIBLES RIESGOS O MOLESTIAS?

Los riesgos de los procedimientos del estudio incluyen:

- Dolor durante la medición de los pliegues de la piel
- Moretones en el sitio de medición de los pliegues de la piel
- Dolor en el sitio de aplicación del brazaletes
- Hormigueo y adormecimiento momentáneo de la pierna donde se ha aplicado el brazaletes
- Moretones pequeños en la pierna donde se colocó el brazaletes
- Dolor por la realización de ejercicio.

También podrían suceder los siguientes eventos adversos graves, aunque con mucha menor frecuencia:

- Formación de coágulos en las venas
- Alguno de esos coágulos podría viajar por los vasos sanguíneos hacia los pulmones
- Y también podría haber daño muscular serio por la realización de actividad física vigorosa.

¿CUÁLES SON LOS POSIBLES BENEFICIOS PARA USTED O PARA OTROS?

Los posibles beneficios para Usted de este estudio incluyen aumento del tamaño y de la fuerza de los músculos del muslo.

La participación en este estudio puede ayudar a los médicos científicos a comprender mejor los mecanismos para el crecimiento muscular y el desarrollo de la fuerza.

¿QUÉ OTROS PROCEDIMIENTOS O TRATAMIENTOS PODRÍAN ESTAR DISPONIBLES PARA USTED?

Usted no tiene que participar en este estudio de investigación si no lo desea. En lugar de este estudio, puede realizar un programa de ejercicios con pesas libres, con aparatos, con bandas elásticas, o con electroestimulación.

¿SU PARTICIPACIÓN EN ESTE ESTUDIO LE GENERARÁ ALGÚN COSTO?

No habrá costos para Usted por participar en este estudio.

Se realizarán pruebas o procedimientos que son parte de este estudio, los cuales serán pagados por el médico del estudio, y otros exámenes y procedimientos que son parte de su cuidado médico habitual que no serán pagados. Si Usted no cuenta con un seguro médico o su seguro no cubre los gastos de atención médica habitual, Usted será el responsable de cubrir esos gastos.

¿SE LE PROPORCIONARÁ ALGUNA COMPENSACIÓN ECONÓMICA PARA GASTOS DE TRANSPORTACIÓN?

A Usted no se le proporcionará ninguna compensación para sus gastos de transportación.

¿RECIBIRÁ ALGÚN PAGO POR SU PARTICIPACIÓN EN ESTE ESTUDIO?

Usted no recibirá ningún pago por la participación en este estudio.

¿SE ALMACENARÁN MUESTRAS DE SANGRE O TEJIDOS PARA FUTURAS INVESTIGACIONES?

Ninguna muestra será obtenida.

¿QUÉ DEBE HACER SI LE PASA ALGO COMO RESULTADO DE PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO?

Si Usted sufre una lesión o enfermedad durante su participación en el estudio, debe buscar tratamiento a través de su médico de cabecera o centro de atención médica de elección y debe informárselo inmediatamente al médico del estudio.

Los gastos que genere dicha lesión o enfermedad sólo le serán pagados si el médico del estudio ha decidido que la lesión / enfermedad está directamente relacionada con los procedimientos del estudio, y no es el resultado de una condición pre-existente de la progresión normal de su enfermedad, o porque no se han seguido las indicaciones que el médico de estudio ha recomendado.

¿CUÁLES SON SUS DERECHOS COMO SUJETO DE INVESTIGACIÓN?

Si decide participar en este estudio, Usted tiene derecho a ser tratado con respeto, incluyendo la decisión de continuar o no su en el estudio. Usted es libre de terminar su participación en este estudio en cualquier momento.

¿PUEDE TERMINAR SU PARTICIPACIÓN EN CUALQUIER MOMENTO DEL ESTUDIO?

Su participación es estrictamente voluntaria. Si desea suspender su participación, puede hacerlo con libertad en cualquier momento. Si elige no participar o retirarse del estudio, su atención médica presente y/o futura no se verá afectada y no incurrirá en sanciones ni perderá los beneficios a los que usted tendría derecho de algún otro modo.

Su participación también podrá ser suspendida o terminada por el médico del estudio, sin su consentimiento, por cualquiera de las siguientes circunstancias:

- Que el estudio haya sido cancelado.
- Que el médico considere que es lo mejor para Usted.
- Que necesita algún procedimiento o medicamento que interfiere con esta investigación.
- Que no ha seguido las indicaciones del médico lo que pudiera traer como consecuencias problemas en su salud.

Si Usted decide retirarse de este estudio, deberá realizar lo siguiente:

- Notificar a su médico tratante del estudio
- Deberá de regresar todo el material que su médico le solicite.

Si su participación en el estudio se da por terminada, por cualquier razón, por su seguridad, el médico continuará con seguimientos clínicos. Además, su información médica recabada hasta ese momento podrá ser utilizada para fines de la investigación.

¿CÓMO SE PROTEGERÁ LA CONFIDENCIALIDAD DE SUS DATOS PERSONALES Y LA INFORMACIÓN DE SU EXPEDIENTE CLÍNICO?

Si acepta participar en la investigación, el médico del estudio recabará y registrará información personal confidencial acerca de su salud y de su tratamiento. Esta información no contendrá su nombre completo ni su domicilio, pero podrá contener otra información acerca de Usted, tal como iniciales y su fecha de nacimiento. Toda esta información tiene como finalidad garantizar la integridad científica de la investigación. Su nombre no será conocido fuera de la Institución al menos que lo requiera nuestra Ley.

Usted tiene el derecho de controlar el uso de sus datos personales de acuerdo a la Ley Federal de Protección de datos Personales en Posición de Particulares, así mismo de solicitar el acceso, corrección y oposición de su información personal. La solicitud será procesada de acuerdo a las regulaciones de protección de datos vigentes. Sin embargo, cierta información no podrá estar disponible hasta que el estudio sea completado, esto con la finalidad de proteger la integridad del Estudio.

La Facultad de Medicina y Hospital Universitario, así como el Investigador serán los responsables de salvaguardar la información de acuerdo con las regulaciones locales.

Usted tiene el derecho de solicitar por escrito al médico un resumen de su expediente clínico.

La información personal acerca de su salud y de su tratamiento del estudio podrá procesarse o transferirse a terceros en otros países para fines de investigación y de reportes de seguridad, incluyendo agencias reguladoras locales (Secretaría de Salud SSA), así como al Comité de Ética en Investigación y al Comité de Investigación de nuestra Institución.

Para los propósitos de este estudio, autoridades sanitarias como la Secretaría de Salud y el Comité de Ética en Investigación y/o el Comité de Investigación de nuestra Institución, podrán inspeccionar su expediente clínico, incluso los datos que fueron recabados antes del inicio de su participación, los cuales pueden incluir su nombre, domicilio u otra información personal.

En caso necesario estas auditorías o inspecciones podrán hacer fotocopias de parte o de todo su expediente clínico. La razón de esto es asegurar que el estudio se está llevando a cabo apropiadamente con la finalidad de salvaguardar sus derechos como sujeto en investigación.

Los resultados de este estudio de investigación podrán presentarse en reuniones o en publicaciones.

La información recabada durante este estudio será recopilada en bases de datos del investigador, los cuales podrán ser usados en otros estudios en el futuro. Estos datos no incluirán información médica personal confidencial. Se mantendrá el anonimato.

Al firmar este documento, Usted autoriza el uso y revelaciones de la información acerca de su estado de salud y tratamiento identificado en esta forma de consentimiento. No perderá ninguno de sus derechos legales como sujeto de investigación. Si hay cambios en el uso de su información, su médico le informará.

SI TIENE PREGUNTAS O INQUIETUDES ACERCA DE ESTE ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN, ¿A QUIÉN PUEDE LLAMAR?

En caso de tener alguna pregunta relacionada a sus derechos como sujeto de investigación de la Facultad de Medicina y Hospital Universitario podrá contactar al **Dr. José Gerardo Garza Leal**, Presidente del Comité de Ética en Investigación de nuestra Institución o al **Lic Antonio Zapata de la Riva** en caso de tener dudas en relación a sus derechos como paciente.

Comité de Ética en Investigación del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.

Av. Francisco I. Madero y Av. Gonzalitos s/n

Col. Mitras Centro, Monterrey, Nuevo León México.

CP 66460

Teléfonos: (81) 83294000 ext. 2870 a 2874

Correo electrónico: investigacionclinica@meduanl.com

RESUMEN CONSENTIMIENTO

PARA LLENAR POR EL SUJETO DE INVESTIGACIÓN

- Mi participación es completamente voluntaria.
- Confirmando que he leído y entendido este documento y la información proporcionada del estudio.
- Confirmando que se me ha explicado el estudio, que he tenido la oportunidad de hacer preguntas y que se me ha dado el tiempo suficiente para decidir sobre mi participación. Sé con quién debo comunicarme si tengo más preguntas.

- Entiendo que las secciones de mis anotaciones médicas serán revisadas cuando sea pertinente por el Comité de Ética en Investigación o cualquier otra autoridad regulatoria para proteger mi participación en el estudio.
- Acepto que mis datos personales se archiven bajo códigos que permitan mi identificación.
- Acepto que mi médico general sea informado de mi participación en este estudio.
- Acepto que la información acerca de este estudio y los resultados de cualquier examen o procedimiento pueden ser incluidos en mi expediente clínico.
- Confirmando que se me ha entregado una copia de este documento de consentimiento firmado.

Nombre del Sujeto de Investigación

Firma

Fecha

PRIMER TESTIGO

Nombre del Primer Testigo

Firma

Dirección

Fecha

Relación con el Sujeto de Investigación

SEGUNDO TESTIGO

Nombre del Segundo Testigo

Firma

Dirección

Fecha

Relación con el Sujeto de Investigación

PERSONA QUE OBTIENE CONSENTIMIENTO

He discutido lo anterior y he aclarado las dudas. A mi más leal saber y entender, el sujeto está proporcionando su consentimiento tanto voluntariamente como de una manera informada, y él/ella posee el derecho legal y la capacidad mental suficiente para otorgar este consentimiento.

Nombre de la Persona que obtiene el Consentimiento

Firma

Fecha