



UNIVERSIDAD DE CORDOBA

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA, ESPAÑA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS
DOCTORADO EN CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS**

**Entrenamiento con oclusión sanguínea parcial: valoración de
potenciales efectos no deseados en stress oxidativo, daño
muscular y respuesta inflamatoria aguda local**

**Training with partial blood occlusion: assessment of potential
unwanted effects in oxidative stress, muscle damage and local
acute inflammatory response**

Carlos Bahamondes Avila

TESIS DOCTORAL

2019

TITULO: *ENTRENAMIENTO CON OCLUSIÓN SANGUÍNEA PARCIAL:
VALORACION DE POTENCIALES EFECTOS NO DESEADOS EN
STRESS OXIDATIVO, DAÑO MUSCULAR Y RESPUESTA
INFLAMATORIA AGUDA LOCAL*

AUTOR: *Carlos Bahamondes Ávila*

© Edita: UCOPress. 2019
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

[https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/
ucopress@uco.es](https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/ucopress@uco.es)

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA, ESPAÑA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS
DOCTORADO EN CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS**

**Entrenamiento con oclusión sanguínea parcial: valoración de
potenciales efectos no deseados en stress oxidativo, daño
muscular y respuesta inflamatoria aguda local**

**Training with partial blood occlusion: assessment of potential
unwanted effects in oxidative stress, muscle damage and local
acute inflammatory response**

Trabajo de Investigación para la obtención
del Grado de Doctor por la Universidad de
Córdoba, España

CARLOS BAHAMONDES AVILA

Bajo la dirección de

Prof. Dr. Luis Antonio Salazar Navarrete

Prof. Dr. Francisco José Berral de la Rosa

Tutor

Prof. Dr. José Luis Álvarez Castillo



LUIS ANTONIO SALAZAR NAVARRETE, DOCTOR EN FARMACIA – MENCIÓN ANÁLISIS CLÍNICO Y PROFESOR TITULAR NIVEL A

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “**Entrenamiento con oclusión sanguínea parcial: valoración de potenciales efectos no deseados en stress oxidativo, daño muscular y respuesta inflamatoria aguda local**” ha sido realizada bajo mi dirección en el Departamento de Ciencia Básicas, Facultad de Medicina de la Universidad de La Frontera, Chile, por el Doctorando **D. CARLOS BAHAMONDES AVILA**. Que, a mi juicio, dicho trabajo de investigación reúne méritos suficientes para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba, España.

Temuco, cuatro de marzo de dos mil diecinueve



FRANCISCO JOSE BERRAL DE LA ROSA, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA
Y CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada **“Entrenamiento con oclusión sanguínea parcial: valoración de potenciales efectos no deseados en stress oxidativo, daño muscular y respuesta inflamatoria aguda local”** ha sido realizada bajo mi dirección en el Departamento de Ciencias Sociales y Jurídicas de la Universidad de Córdoba, España, por el Doctorando **D. CARLOS BAHAMONDES AVILA**. Que, a mi juicio, dicho trabajo de investigación reúne méritos suficientes para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba, España.

Córdoba, cuatro de marzo de dos mil diecinueve

Índice

Índice.....	9
Tablas	15
Gráficos.....	17
Figuras	18
Anexos	18
DEDICATORIA.....	19
AGRADECIMIENTOS	21
Abreviaturas en orden alfabético.....	23
RESUMEN	27
ABSTRACT	31
1 INTRODUCCION.....	37
1.1 HIPÓTESIS DE PARTIDA:.....	43
1.2 OBJETIVOS.....	45
1.2.1 Objetivos generales:.....	45
1.2.2 Objetivos específicos:.....	45
2 ESTADO DEL ARTE.....	49
2.1 Definiciones:.....	49
2.1.1 Fuerza máxima (FMax):.....	49
2.1.2 Potencia muscular (PM):	49
2.1.2.1 Potencia máxima (PMax):	50
2.1.2.2 Potencia específica (PEsp):	50
2.1.3 Resistencia muscular (RMus):.....	50
2.2 Beneficios del Entrenamiento de la Fuerza.....	51

2.2.1	Beneficios del entrenamiento de fuerza en la Salud.....	51
2.2.2	Beneficios del entrenamiento de fuerza en el Rendimiento físico y deportivo.	54
2.3	Manifestaciones de la fuerza.....	55
2.3.1	Fuerza Absoluta (FA):.....	55
2.3.2	Fuerza Isométrica Máxima o Fuerza Estática Máxima (FIM):.....	55
2.3.3	Fuerza Máxima Excéntrica (FME):	55
2.3.4	Fuerza Dinámica Máxima (FDM):	55
2.3.5	Fuerza Dinámica Máxima Relativa (FDMR):	55
2.3.6	Fuerza Dinámica Máxima Relativa Específica (FDMRE):.....	56
2.3.7	Fuerza Explosiva (FE):	56
2.3.8	Fuerza Explosiva Máxima (FEM):.....	56
2.3.9	Fuerza Elástico-Explosiva (FEE):	56
2.3.10	Fuerza Elástico-Explosivo-Reactivo (FEER):	56
2.4	Importancia de la Fuerza máxima	56
2.5	Ciclo estiramiento – acortamiento (CEA) y su relación con las manifestaciones de la fuerza.....	57
2.6	Fuerza relativa	59
2.6.1	Escala isométrica: 1RM/MC ratio.....	61
2.6.2	Escala alométrica: $F_{Max}/MC^{0.67}$	61
2.7	Relación entre la fuerza máxima, fuerza relativa, fuerza explosiva y capacidad de salto.	61
2.8	Métodos de entrenamiento de la fuerza tradicionales: alta intensidad y baja intensidad de carga.....	62
2.9	Entrenamiento de la Fuerza y respuestas fisiológicas al daño muscular inducido por ejercicio (DMIE).....	64

2.10	Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo.....	70
2.10.1	Poblaciones que han obtenido beneficios con el entrenamiento con RPFS.	71
2.10.2	Bases fisiológicas y condicionantes en la prescripción del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo	71
2.10.3	Factores relacionados al uso de RPFS y la prescripción del ejercicio.....	77
2.10.3.1	Recomendaciones para el uso de dispositivos de RPFS.....	77
2.10.3.2	Variables de restricción.....	78
2.10.3.3	Tipos de dispositivos.....	78
2.10.3.4	Tipo de material y el ancho del dispositivo de restricción.	79
2.10.3.5	Presión de restricción.....	79
2.10.3.6	Perímetro de la extremidad.....	81
2.10.4	Factores intrínsecos al ser humano a considerar previo a la prescripción del ejercicio con RPFS.	82
2.10.4.1	Tipos de entrenamiento con RPFS comúnmente aplicados.....	83
2.10.4.2	EF con porcentaje de 1RM.....	83
2.10.4.3	EF con bandas elásticas.	83
2.10.4.4	Entrenamiento en circuito y concurrente.....	84
2.10.4.5	Entrenamiento con ejercicios cardiorrespiratorios.....	86
2.10.5	Potenciales riesgos del uso del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo.....	86
3	METODOLOGIA.....	91
3.1	Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.	91
3.1.1	Participantes.....	91
3.1.2	Tipo de diseño	92

3.1.2.1	Aproximación al diseño experimental.....	93
3.1.3	Variables de estudio.....	93
3.1.3.1	Variables derivadas de la FMax y FR.....	93
3.1.3.2	Variables derivadas de la FE.....	93
3.1.4	Procedimientos.....	94
3.1.4.1	Evaluaciones.....	94
3.1.4.2	Protocolos de medición.....	95
3.1.5	Intervenciones.....	97
3.1.5.1	EF con RPFS y el 20% 1RM (20%R).....	98
3.1.5.2	EF tradicional con el 70% 1RM (70%T).....	98
3.1.6	Materiales.....	99
3.1.7	Análisis Estadístico.....	100
3.2	Experimento n°2: fuerza máxima y biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.....	101
3.2.1	Participantes.....	101
3.2.2	Tipo de diseño.....	102
3.2.2.1	Aproximación al diseño experimental.....	102
3.2.3	Variables del diseño.....	103
3.2.3.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima.....	103
3.2.3.2	Variables derivadas de biomarcadores séricos de DMIE e inflamación.....	103
3.2.4	Procedimientos.....	103
3.2.4.1	Evaluaciones.....	103
3.2.4.2	FMax: 1RMQ – 1RMI.....	104
3.2.4.3	Biomarcadores séricos de DMIE e inflamación.....	104
3.2.4.4	Protocolos de medición.....	105

3.2.4.5	Determinaciones de CK y PCRus.	107
3.2.5	Intervenciones	107
3.2.5.1	EF con RPFS con el 20% 1RM (20%R).	108
3.2.5.2	EF tradicional con el 70% 1RM (70%T).....	109
3.2.5.3	EF tradicional con el 20% 1RM (20%T).....	109
3.2.6	Materiales	109
3.2.7	Análisis Estadístico.....	110
4	RESULTADOS	113
4.1	Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.	113
4.1.1	Resultados descriptivos de las variables de estudio.....	113
4.1.1.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC ^{0,67} ratio.....	113
4.1.1.2	Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%)	114
4.1.2	Análisis de normalidad de las variables de estudio.	115
4.1.2.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC ^{0,67} ratio.....	115
4.1.2.2	Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%)	116
4.1.3	Análisis comparativo de las variables de estudio.....	116
4.1.3.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC ^{0,67} ratio.....	116
4.1.3.2	Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%)	120
4.2	Experimento n° 2: fuerza máxima biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.	123
4.2.1	Resultados descriptivos de las variables de estudio.....	123

4.2.1.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.	123
4.2.1.2	Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.	124
4.2.2	Análisis de normalidad de las variables de estudio.	125
4.2.2.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.	126
4.2.2.2	Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.	127
4.2.3	Análisis comparativo de las variables de estudio.....	127
4.2.3.1	Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.	127
4.2.3.2	Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.	130
5	Discusión	135
5.1	Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.	135
5.1.1	Fuerza Máxima	135
5.1.2	Fuerza Relativa.....	137
5.1.3	Fuerza explosiva.....	138
5.1.4	Fuerza relativa y Fuerza explosiva	141
5.2	Experimento n° 2: fuerza máxima biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.	143
5.2.1	Fuerza muscular	143
5.2.2	Biomarcadores de DMIE e Inflamación sistémica.....	144
6	Conclusiones	153
7	Limitaciones y proyecciones de la investigación.....	157
8	Referencias Bibliograficas.	161
9	Anexos	197

Tablas

Tabla 1. Efectos benéficos de los ejercicios de fuerza muscular ligados a promoción de salud (91)	53
Tabla 2. Posibles contraindicaciones del ser humano para usar protocolos con RPFS (79).	82
Tabla 3. Comparación de riesgo entre entrenamientos con RPFS y sin RPFS.	88
Tabla 4. Características de la muestra (media (DS), según los grupos de entrenamiento	92
Tabla 5. Coeficiente de correlación intraclase (ICC) de los TVs ocurridas entre las dos mediciones de cada salto, realizadas al inicio y término de la intervención en cada grupo de entrenamiento.	96
Tabla 6. Característica de la muestra (media (DS)), según grupo de entrenamiento.	102
Tabla 7. Programas de entrenamiento para cada grupo.....	108
Tabla 8. Resultados descriptivos de las variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa.	113
Tabla 9. Resultados descriptivos de las variables derivadas de fuerza explosiva.	114
Tabla 10. Pruebas de normalidad derivadas de la fuerza máxima y relativa de ambos protocolos de entrenamiento.	115
Tabla 11. Pruebas de normalidad derivadas de la fuerza explosiva de ambos protocolos de entrenamiento.	116
Tabla 12. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima y relativa de ambos protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).	117
Tabla 13. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima y relativa, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.	119

Tabla 14. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza explosiva de ambos protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).	120
Tabla 15. Resultados de las variables derivadas de la fuerza relativa, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.	122
Tabla 16. Resultados descriptivos de las variables derivadas de fuerza máxima.....	123
Tabla 17. Resultados descriptivos de las variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.	124
Tabla 18. Pruebas de normalidad derivadas de las variables de fuerza máxima de los tres protocolos de entrenamiento.	126
Tabla 19. Pruebas de normalidad derivadas de las variables de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica en los tres protocolos de entrenamiento.	127
Tabla 20. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima de los tres protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).	128
Tabla 21. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima de cuádriceps (1RMQ) e isquiotibiales (1RMI), incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.	129
Tabla 22. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica en los tres protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).	130
Tabla 23. Resultados de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica: CK - PCRus, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las	

intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.	132
Tabla 24. Modificaciones en la CK y PCRus en el entrenamiento con RPFS comparado con EF de baja intensidad sin RPFS.....	145
Tabla 25. Modificaciones en la CK y PCRus en el entrenamiento con RPFS comparado con EF de alta intensidad sin RPFS.....	146

Gráficos

Gráfico 1. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima: 1RM y MC.	117
Gráfico 2. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza relativa: 1RM/MC ratio y 1RM/MC ^{0,67} ratio.....	118
Gráfico 3. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza explosiva: SJ, CMJ, PSAP.....	¡Error! Marcador no definido.
Gráfico 4. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de la fuerza máxima, relativa y explosiva.	122
Gráfico 5. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima: 1RMQ y 1RMI.	128
Gráfico 6. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de la fuerza máxima.	129
Gráfico 7. Resultados de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica: CK – PCRus	131
Gráfico 8. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica. Se comparan las mediciones realizadas en la última sesión (PRE S12 y POST S12) vs la primera sesión (PRE S1).....	132

Figuras

Figura 1. Integración fisiológica del DMIE e Inflamación. Adaptado y traducido desde Kendall et al. (1).....	66
Figura 2. RPFS: potenciales mecanismos que aumentan la fuerza y trofismo muscular, factores que inciden en la prescripción del ejercicio y métodos de entrenamiento comúnmente usados.....	73
Figura 3. Esquema temporal de los procedimientos de evaluación y características de los protocolos de entrenamiento.....	95
Figura 4. Esquema temporal de los procedimientos de evaluación.....	104

Anexos

Anexo 1: Consentimiento informado	199
Anexo 2: Carta de aprobación del comité de ética.....	209
Anexo 3: Cuestionario de salud y PARQ.....	211
Anexo 4: Cuestionario IPAQ.....	215
Anexo 5: Escala RPE OMNI.....	219
Anexo 6: Protocolo de medición.....	221
Anexo 7: Entrenamiento con Restricción parcial del flujo sanguíneo	225
Anexo 8: Indicadores de calidad:	226

DEDICATORIA

A mi padre, que en paz descansa. Me enseñaste de trabajo, de deportes y sus valores. Siempre me decías que con empeño y actuando de buena fe se conseguían los objetivos en la vida. Sé que si leyeras esto dirías que estás orgulloso de mí y me darías un abrazo.

A nuestra hija, que viene en camino; la esperamos con esperanza y sabemos que serás nuestra alegría.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que cuando lo necesité siempre estuvo ahí.

A mis padres Vicenta y Romilio, profesores normalistas; con sabiduría, trabajo, sacrificio, perseverancia y mucho apoyo sacaron a sus hijos, nietos, familia y sus alumnos adelante. No puedo calcular lo que les debo. ¡¡¡Muchas gracias!!!

A mi gran amor, mi Macarena, mi alegría, mi paciente compañera. Ahora si tenemos el más grande de los proyectos en común: “nuestra familia”.

A mi hermana Romina y mis sobrinos Vicente y Cristóbal, los admiro en su capacidad de salir siempre adelante. Una tarde con ustedes me cambia la vida.

A mis primos Violeta, Pedro y sus hijas, que confiaron en mí y abrieron las puertas de su casa para desarrollarme como persona y profesional. Siempre los tengo de ejemplo y recuerdo sus palabras.

A mis Directores de tesis, los Drs. Francisco José Berral de la Rosa y Luis Antonio Salazar Navarrete, cada uno usando las palabras apropiadas, asistiendo y apoyando permanentemente. A mi Tutor José Luis Álvarez Castillo, siempre presto a colaborar y solucionar las dudas del proceso. Al Profesor Luis Bustos Medina, que me ha enseñado a perfeccionar el conocimiento investigativo y estadístico.

A mis Directores de Escuela, Domingo Salas Alarcón y Fanny Bracho Milic; ambos han confiado en mí y facilitado las condiciones para desarrollar el doctorado.

A mis exprofesores, con ejemplos, palabras, tareas y horas de estudio, fueron motivando en mí un espíritu investigativo. A familiares, amigos, colegas de trabajo o profesión, exalumnos y alumnos; que dan apoyo, alegran el día y renuevan las energías cuando uno flaquea.

A Frank Dawson y Marcelo Mesa, que en esta etapa final su ayuda ha sido vital.

Abreviaturas en orden alfabético

1RM	1 Repetición máxima
1RM / MC ratio	1 Repetición máxima / Masa corporal (razón)
1RM / MC ^{0,67} ratio	1 Repetición máxima / Masa corporal elevado a 0,67 (razón)
20%R	20% del 1RM con restricción parcial del flujo sanguíneo
20%T	20% del 1RM sin restricción del flujo sanguíneo (entrenamiento tradicional)
70%T	70% del 1RM sin restricción del flujo sanguíneo (entrenamiento tradicional)
ACSM	American College Sport Medicine
AK	Adenilato kinasa
AMP	Adenosin monofosfato
AMPK	Proteína kinasa activada por AMP
ATP	Adenosin trifosfato
Ca ⁺⁺	Calcio iónico
CEA	Ciclo estiramiento-acortamiento
CK	Creatin kinasa
CK-BB	Creatin kinasa cerebral
CK-MB	Creatin kinasa miocárdica
CK-MM	Creatin kinasa muscular
CMJ	Counter Movement Jump
CS	Células satélites
DMIE	Daño muscular inducido por ejercicio
EE	Electroestimulación
EF	Entrenamiento de fuerza
ERO	Especies reactivas de oxígeno
ETM	Error técnico de medición
FA	Fuerza absoluta
FE	Fuerza explosiva
FEE	Fuerza elástica explosiva

FM	Fuerza muscular
Fmax	Fuerza máxima
FMAX / MC	Fuerza máxima / Masa corporal
FMAX / PC	Fuerza máxima / Peso corporal
Fox0	Factores de transcripción Forkhead Box 0
FR	Fuerza relativa
GH	Del inglés: Growth hormone
H+	Hidrogeniones
HSP	Del ingles: Heat shock protein
IGF-1	Del ingles: insulin-like growth factor-1
IMC	Índice de masa corporal
IPAQ	Cuestionario Internacional de Actividad Física
ISAK	International Society for Advancement of Kinanthropometry
LOP	Del ingles: Max Limb occlusion pressure
MC	Masa corporal
MF	Manifestaciones de la fuerza
MGF	Del ingles: Mechano-growth factor
mTORC1	mTOR complejo 1
mTORC2	mTOR complejo 2
NO	Óxido nítrico
NOS	Óxido nítrico sintasa
PCr	Fosfocreatina
PCR	Proteína C reactiva
PCRUS	Proteína C reactiva ultrasensible
PD	Presión diastólica
Permus	Perímetro de muslo
Pesp	Potencia específica
PM	Potencia muscular
PMax	Potencia máxima
POST S12	Post a la sesión 12
PR	Presión de restricción

PRE S1	Previo a la sesión 1
PRE S12	Previo a la sesión 12
PS	Presión sistólica
PS	Presión sistólica
PSAP	Porcentaje de aumento de pre-estiramiento
PSE	Percepción subjetiva del esfuerzo
PSE	Percepción subjetiva del esfuerzo
RMusc	Resistencia muscular
RPSF	Restricción parcial del flujo sanguíneo
SJ	Squat Jump
TE	Tamaño del efecto
TV	Tiempo de vuelo

RESUMEN

Bahamondes-Avila C. “**Entrenamiento con oclusión sanguínea parcial: valoración de potenciales efectos no deseados en stress oxidativo, daño muscular y respuesta inflamatoria aguda local**”. Tesis Doctoral (Doctorado en Ciencias Sociales y Jurídicas). Universidad de Córdoba, España, 2019.

OBJETIVO DEL ESTUDIO:

- Establecer los efectos de un EF de baja intensidad de carga con RPFS versus un EF de alta intensidad de carga en las modificaciones de la FMax, FR y FE de extremidad inferior en jóvenes saludables.
- Establecer los efectos en biomarcadores de DMIE y respuesta inflamatoria sistémica de jóvenes saludables que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un EF de alta y baja intensidad.

MATERIAL Y MÉTODO:

La investigación se diseñó con dos experimentos:

- El primero de ellos, compara los resultados de dos intervenciones de entrenamiento en la FMax: 1RM; FR: 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio; y FE: SJ, CMJ y PSAP. Los grupos se distribuyeron aleatoriamente en función de la FMax en: EF con RPFS al 20% 1RM (20%R) y un EF tradicional sin RPFS, al 70% 1RM (70%T). Ambos grupos entrenaron con protocolos previamente establecidos durante 4 semanas, 3 días en cada semana.
- El segundo experimento se compararon los resultados de tres intervenciones de entrenamiento: FMax: 1RMQ – 1RMI, Biomarcadores de DMIE e Inflamación sistémica: CK y PCRus. Los grupos se distribuyeron aleatoriamente en función de la FMax de cuádriceps (1RMQ) en: EF con RPFS al 20% 1RM (20%R), EF tradicional sin RPFS, al 70% 1RM (70%T) y EF tradicional sin RPFS, al 20% 1RM (20%T). Todos los grupos entrenaron con protocolos previamente establecidos durante 4 semanas, 3 días en cada semana.

RESULTADOS:

El primer experimento demostró que en ambos entrenamientos aumenta el 1RM, 1RM/MC y 1RM/MC^{0,67}, sin presentar diferencias significativas entre ellos. En relación a la FE, el SJ-TV también aumentó de forma equivalente en los dos entrenamientos, el CMJ-TV también aumento, pero solo con diferencias significativas en 20%R, en cambio el PSAP disminuyó, y los cambios significativos se observaron en 70%T.

El segundo experimento demostró que la CK tiene una conducta distinta en cada grupo, en 20%R aumenta significativamente durante la intervención, en cambio, en los otros EF la magnitud de los cambios son menores y predomina la estabilidad; produciéndose diferencias significativas entre los grupos 20%R y 70%T al terminar las intervenciones (Post S12). En la PCRus, el comportamiento de los grupos es el mismo, produciéndose sólo diferencias significativas al interior de 20%R entre la condición basal (Pre S1) y previo a terminar el entrenamiento (Pre S12).

CONCLUSIONES:

En relación al experimento N°1:

1. El entrenamiento con RPFS demostró ser tan eficaz como el EF de alta intensidad en aumentar la FMax y FR de la musculatura extensora de extremidad inferior en cuatro semanas de entrenamiento.
2. Los aumentos en FMax y FR de ambos tipos de entrenamiento facilitó el incremento de forma significativa el tiempo vuelo del SJ, no así en el tiempo de vuelo del CMJ, donde solo hubo un incremento con el EF con RPFS.
3. Las mejoras en la FMax, FR y FE logradas con el entrenamiento con RPFS parecen estar ligadas a mejoras en la capacidad contráctil y elástica del músculo.

En relación al experimento N°2:

4. La Creatin kinasa aumenta en mayor magnitud en el EF con RPFS en relación a ambos EF tradicional, no obstante, solo difiere estadísticamente en relación al EF de alta intensidad.
5. La proteína-C reactiva ultrasensible, no difiere entre los tres tipos de entrenamientos, sólo promueve un aumento significativo de este biomarcador en el entrenamiento con RPFS en el transcurso del tiempo.
6. Aun cuando solo en el entrenamiento con RPFS pareciera provocar un mayor estrés miocelular que los otros tipos de entrenamiento, no indicarían daño muscular inducido por ejercicio.
7. El EF con RPFS puede ser una alternativa válida para desarrollar diversas MF; además generaría alteraciones miocelulares, que de acuerdo a la literatura, serían necesarias para facilitar las adaptaciones fisiológicas ligadas al desarrollo de la fuerza.

Palabras clave: Entrenamiento con restricción del flujo sanguíneo, Fuerza muscular, Daño muscular inducido por ejercicio.

ABSTRACT

Bahamondes-Avila C. “**Training with partial blood occlusion: assessment of potential unwanted effects in oxidative stress, muscle damage and local acute inflammatory response**”. Tesis Doctoral (Doctorado en Ciencias Sociales y Jurídicas). Universidad de Córdoba, España, 2019.

OBJETIVE:

- Establish the effects of a low intensity load strength training with partial restriction of blood flow versus a high intensity load force training in the modifications of maximum strength, relative strength and lower limb explosive strength in healthy young people.
- To establish the effects in biomarkers of exercise-induced muscle damage and systemic inflammatory response of healthy youngsters who perform a low intensity strength training with partial restriction of blood flow versus a high and low intensity strength training.

METHODS:

The research was designed with two experiments:

- The first of them compares the results of two training interventions in maximum strength: 1RM; relative strength: 1RM/MC ratio and $1RM/MC^{0.67}$ ratio; and explosive force: SJ and CMJ (times of flight) and PSAP. The groups were randomly distributed according to the maximum strength in: strength training with partial restriction of blood flow to 20% 1RM (20%R) and a traditional strength training without partial restriction of blood flow, to 70% 1RM (70%T). Both groups trained with previously established protocols for 4 weeks, 3 days in each week.
- The second experiment compared the results of three training interventions: maximum strength: 1RMQ - 1RMI, Exercise-induced muscle damage and Systemic Inflammation: CK and PCRus. The groups were randomly distributed according to maximum strength of the quadriceps (1RMQ) in:

strength training with partial restriction of blood flow to 20% 1RM (20%R), traditional strength training without partial restriction of blood flow, to 70% 1RM (70%T) and traditional strength training without partial restriction of blood flow, at 20% 1RM (20%T). All groups trained with previously established protocols for 4 weeks, 3 days in each week.

RESULTS:

The first experiment showed that in both workouts increases the 1RM, 1RM/MC and $1RM / MC^{0.67}$, without presenting significant differences between them. In relation to the explosive force, the SJ also increased in an equivalent way in the two trainings, the CMJ also increased, but only with significant differences in 20%R, however the PSAP decreased, and significant changes were observed in 70%T.

The second experiment showed that the CK has a different behavior in each group, in 20% R it increases significantly during the intervention, however, in the other force training the magnitude of the changes are smaller and stability predominates; There were significant differences between the groups 20% R and 70% T at the end of the interventions (Post S12). In the PCRus, the behavior of the groups is the same, producing only significant differences within 20% R between the basal condition (Pre S1) and prior to finishing the training (Pre S12).

CONCLUSIONS:

In relation to experiment N ° 1:

1. Training with partial restriction of blood flow proved to be as effective as high-intensity strength training in increasing the maximum strength and relative strength of the lower limb extensor muscles in four weeks of training.
2. The increases in maximum strength and relative strength of both types of training facilitated the significant increase in SJ flight time, but not in CMJ flight time, where there was only an increase with force training with partial restriction of blood flow.
3. The improvements in maximum strength, relative strength and explosive strength achieved with training with partial restriction of blood flow seem to be linked to improvements in the contractile and elastic capacity of the muscle.

In relation to experiment No. 2:

4. CK increases in strength in strength training with partial restriction of blood flow in relation to both traditional force training, however it only differs statistically in relation to high intensity strength training.

5. PCRus, does not differ between the three types of training, only promotes a significant increase of this biomarker in training with partial restriction of blood flow over time.

6. Although only in training with partial restriction of blood flow would seem to cause greater myocellular stress than the other types of training, they would not indicate muscle damage induced by exercise.

7. Force training with partial restriction of blood flow can be a valid alternative to develop various manifestations of force; also generate myocellular alterations, which according to the literature, would be necessary to facilitate physiological adaptations linked to the development of force.

Key words: Blood flow restriction training, muscle strength, muscle injury induced exercise.

INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCION

Los beneficios de entrenar la fuerza muscular (FM) como cualidad física se han observado transversalmente en diversos grupos etáreos y sexos²⁻⁹; siendo aplicados en el área del fitness, deportes⁷, promoción en salud⁸, rehabilitación⁹⁻¹⁰, prevención de lesiones¹¹, estados de desarrollo¹²⁻¹⁴ o patologías^{3,15}. Como la actual transición demográfica es dinámica, en especial de los países en desarrollo, donde, por un lado, aumenta la población de adultos mayores en cantidad y longevidad, y disminuye la población joven¹⁶; y por otro, donde la población presenta una alta prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles¹⁷ y altos niveles de sedentarismo^{18,19}, es particularmente relevante poseer altos niveles de FM, pues se ha observado que se asocia con mejores perfiles de riesgo cardiometabólico¹⁵, menos eventos de enfermedad cardiovascular²⁰ y obesidad²¹, menos riesgo de mortalidad^{22,23} y un mejor pronóstico cardiovascular y de supervivencia²⁴, así como un menor riesgo de desarrollar limitaciones funcionales²⁵, control de la sarcopenia²⁶ o vivir en centros de residencia institucionalizada²⁷.

A nivel deportivo también se reconocen los beneficios que produce el entrenamiento de fuerza (EF), las diversas manifestaciones de la fuerza (MF) están asociadas a un mejor rendimiento, es así como la fuerza máxima (FMax), la tasa de desarrollo de la fuerza, la velocidad y la capacidad de generar potencia se han identificado como mecanismos relacionados al rendimiento deportivo²⁸. En la preparación deportiva existe especial atención por las acciones musculares que incluyen movimientos de alta aceleración dentro de un gesto técnico específico; así es como la potencia muscular (PM), definida como la tasa de producción de fuerza muscular a lo largo de un rango de movimiento²⁹ es considerada un parámetro importante de éxito en distintos deportes^{30,31}. Un aumento de ésta permite que un músculo produzca la misma cantidad de trabajo en menos tiempo o una mayor magnitud de trabajo en el mismo tiempo³², con esto la producción de fuerza explosiva (FE), determinada por la tasa de desarrollo de la fuerza, sea considerada funcionalmente importante en situaciones donde el tiempo para desarrollar la fuerza es limitado³³. La PM se considera necesaria en los deportes y la capacidad normal

de funcionamiento³², por ejemplo, cuando existen acciones de tipo explosivos (por ej. Saltos o Sprints), o cuando se deba recuperar el equilibrio después de una perturbación mecánica³⁴.

A la luz de estos antecedentes, dentro de las diversas MF, la FMax, la fuerza relativa (FR) y la FE parecen jugar un papel relevante, tanto en las actividades deportivas como funcionales. La FMax es la mayor FM que el sistema neuromuscular puede ejecutar durante una contracción máxima voluntaria³⁵, de forma dinámica se mide con el test que registra la máxima carga o resistencia levantada de una repetición máxima (1RM); cuando esta capacidad es independiente del peso corporal (PC) o masa corporal (MC) se llama FMax Absoluta, en cambio cuando la FMax se relaciona con el tamaño, MC o PC en el cociente FMax/PC (o FMax/MC) se llama FR (35). Junto a éstas, la FE se puede definir como la tasa de aumento de la fuerza en el inicio de la contracción muscular³⁴, siendo una expresión de ella la capacidad de salto. Existe una importante interrelación entre estas manifestaciones, especialmente en el deporte, en donde se deben contrarrestar una variedad de fuerzas externas con la producción de altos niveles de FM. La evidencia sostiene una alta influencia de la FMax con el rendimiento deportivo y la PM³², así, para lograr altas velocidades, salidas de potencia y alturas de salto se requiere una alta producción de fuerza³⁶, por ello el éxito deportivo depende del desarrollo de la fuerza y la potencia, los que a su vez contribuyen al rendimiento del salto vertical^{36,37}. Esta influencia es mayor aun cuando se analizan los movimientos explosivos en relación a la FR de extremidad inferior²⁸, como por ejemplo con la altura del salto Counter Movement Jump (CMJ)³⁸; siendo una recomendación fundamental entrenar la FR para desarrollar la FE en personas menos experimentadas³², usando como alternativa aumentar la FMax para la misma MC o disminuir la MC para un mismo nivel de FMax.

Para el desarrollo de la fuerza, el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) sugiere una dosificación en las pautas de ejercicio², recomendando

inicialmente que el EF deba adecuarse a las características de las personas, y luego, para provocar ganancias de FM la intensidad mínima debe estar por encima del 60% 1RM, sugiriendo para el principiante o deportistas de rendimiento medio cargas del 60-70% 1RM y para personas con experiencia valores $\geq 80\%$ 1RM; entrenando de 2-3 veces de frecuencia semanal. En relación a la modalidad de los ejercicios, la recomendación considera que sean ejercicios multiarticulares, utilizando máquinas o el PC, dirigidas a grupos musculares agonistas y antagonistas, y/o ejercicios localizados para los principales grupos musculares, que por lo general, se realizarían después de ejercicios multiarticulares. En cuanto a la cantidad, se recomienda de 2-4 series de 8-12 repeticiones para mejorar la FM en la mayoría de los adultos, o de 10-15 repeticiones en personas de mediana edad o edad avanzada; con pausas de 2-3 minutos entre series y de al menos 48 horas entre sesiones para cualquier grupo muscular; para personas entrenadas se sugiere utilizar cargas más elevadas y períodos de descanso entre series más largos (3 a 5 minutos), ejecutados a una velocidad de contracción moderada (1-2" concéntrico: 1-2" excéntrico) durante 4-5 días a la semana³⁹. Por otro lado, vale la pena mencionar que en recientes investigaciones se indica que realizar ejercicio de baja intensidad, pero con alto número de repeticiones "al fallo o fracaso muscular" (30-50% 1RM; 20-35 repeticiones) se puede incurrir en adaptaciones de hipertrofia y FM⁴⁰, aunque existirían ciertas sutilezas en relación al nivel de entrenamiento que presenten las personas, en personas entrenadas, tanto el EF de alta como de baja intensidad provocaría aumentos significativos en la hipertrofia muscular, pero el entrenamiento de alta intensidad sería superior en las adaptaciones de FM^{41,42}, y en individuos no entrenados el EF de baja intensidad promueve aumentos sustanciales de la FM y la hipertrofia, aunque con una tendencia inferior al EF de alta intensidad⁴³.

Para estimular la FE y el salto, habitualmente se utilizan tres modalidades de entrenamiento, primero los que favorecen el aumento de la FMax de los músculos que participan en el salto; luego los ejercicios de fuerza potencia que se basan en el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) y que se realizan una vez se hayan incrementado los niveles de fuerza; y finalmente, los ejercicios que producen un

estímulo similar a la actividad real, que incluye variados ejercicios pliométricos, los cuales también son eficaces en incrementar el CEA⁴⁴. El salto corresponde a una acción tipo CEA, y es utilizado para evaluar la capacidad de desarrollar fuerza durante los movimientos rápidos⁴⁵. El ejercicio pliométrico se ha definido como cualquier ejercicio que pueda ayudar a un músculo en funcionamiento a ejercer una FMax en el menor tiempo posible⁴⁶, es un movimiento rápido y potente que utiliza un preestiramiento o contramovimiento que implica al CEA⁴⁴. En este sentido, se coincide que la mejor manera de aumentar la altura del salto vertical es a través de la combinación de un entrenamiento pliométrico y el de sobrecarga con pesas⁴⁷. No obstante, aun cuando los beneficios son múltiples, estas recomendaciones no pueden ser seguidas por toda la población; existen grupos de personas que no toleran estas intensidades de carga⁴⁸, tales como adultos mayores, personas que presenten lesiones de larga duración, sedentarios con escasa experiencia en el EF o simplemente en condiciones de desuso muscular; u otros que poseen contraindicaciones a los ejercicios de fuerza con sobrecarga, especialmente personas con lesiones articulares agudas (ej: lesión de ligamento cruzado anterior), con lesiones osteoarticulares degenerativas (ej: osteoartrosis de cadera), artritis reumatoide o enfermedades autoinmunes en fase aguda, adultos mayores frágiles, etc.

En este contexto, es pertinente buscar alternativas de entrenamiento que faciliten el desarrollo de las MF muscular en estos y otros grupos de personas, con la misma seguridad que el EF tradicional ya descrito. La utilización del EF con baja intensidad (20-30% 1RM) combinada con restricción parcial del flujo sanguíneo a nivel muscular (RPFS)⁴⁹ surge como una alternativa eficiente, debido a que puede producir adaptaciones musculares equivalentes a las recomendaciones y dosificación de carga indicadas por el ACSM⁵⁰. Es un método creado en Japón por Yoshiaki Sato y también conocido como Kaatsu, que consiste en colocar un manguito de compresión alrededor de una extremidad apendicular, el cual se infla durante la realización del ejercicio⁵¹⁻⁵³. Se caracteriza por usar una baja intensidad en relación al 1RM; logrando adaptaciones musculares equivalentes al EF de alta

intensidad⁵⁴ o mayores comparado con el ejercicio de baja intensidad sin RPFS⁵⁵. Sus mayores efectos se han demostrado en el desarrollo de la fuerza e hipertrofia muscular^{51,55}; pero también, aunque en menor cuantía en otras manifestaciones de la fuerza, tales como tasa de desarrollo de la fuerza⁵⁶, altura⁵⁷ o potencia de salto^{58, 59} o la velocidad de movimiento^{56,59}. Este es un método que se trabaja con intensidades inferiores al EF tradicional de alta intensidad, pero además con menor número de repeticiones que el entrenamiento de baja intensidad, esto se traduce en una ventaja, pues utiliza un menor volumen total de carga (Kg x repeticiones) y duración en la sesión de entrenamiento (tiempo total de series y pausa) que ambos tipos de EF tradicional⁶⁰⁻⁶³. Los mecanismos de acción de la técnica con RPFS, se basan en la acción sinérgica del estrés metabólico y la tensión mecánica desarrolladas durante la ejercitación, que mediarían la participación de otros mecanismos secundarios, los cuales estimularían acciones autocrinas y/o paracrinas que, conjuntamente, inducirían hipertrofia muscular⁶⁴, facilitando su acción en las MF. La variedad de ejercicios aplicados en combinación a RPFF ha sido amplia, siendo comúnmente agrupadas en ejercicios de fuerza^{55,65-67} y cardiorrespiratorios⁶⁸⁻⁷¹, aplicados en las áreas de prehabilitación, rehabilitación, rendimiento físico y poblaciones especiales; entre ellos, diversos grupos con características particulares han obtenido resultados prometedores con la combinación de ejercicio y RPFS: adultos mayores⁷², personas en rehabilitación musculoesquelética⁷³, usado en la prevención de atrofia muscular en un proceso de inmovilización⁷⁴, mujeres postmenopáusicas⁶⁶, jóvenes saludables^{75,76} o deportistas de diferente nivel⁵⁹⁻⁷⁷⁻⁷⁸, entre otros. También parece ser un método que puede usarse de manera segura en la mayor parte de la población^{79, 80} al ser aplicado con una correcta prescripción, y aun cuando la evidencia sobre daño muscular inducido por ejercicio (DMIE) e inflamación en algunos casos es controversial^{81,82}, la información mayoritaria indica que no propicia un mayor DMIE e inflamación que otro tipo de EF; más aún, podría facilitar respuestas y adaptaciones musculares orientadas al desarrollo de la fuerza e hipertrofia⁸³, en este sentido, las características con que se prescribe el ejercicio parecen ser relevantes.

Así como la manipulación de las variables del EF tradicional: selección y orden de los ejercicios, intensidad, volumen, duración, frecuencia e intervalos de pausa genera distintos niveles de respuestas y adaptaciones fisiológicas y resultados en el rendimiento; en el caso del entrenamiento con RPFS, aun con resultados prometedores, queda mucho por investigar, especialmente para establecer con certeza que mecanismos son los responsables de provocar sus efectos, las similitudes y diferencias con el EF tradicional de moderada y alta carga, así como otros efectos, incluso los potencialmente dañinos.

Dado estos antecedentes, es estimulante indagar en las respuestas y adaptaciones que pueda provocar el entrenamiento con RPFS en MF menos estudiadas, que incluyan movimientos funcionales y estén relacionadas a la capacidad de desplazar la MC de forma eficiente. Además, parece relevante reconocer las respuestas de biomarcadores de DMIE e inflamación que sean promotores de adaptaciones musculares, o al presentarse de forma exacerbada puedan asociarse a problemas de seguridad. Bajo este tenor, se presentan dos experimentos que abordan los efectos del EF con sobrecarga y RPFS “en la FMax, FR y FE”, y en “biomarcadores sistémicos de DMIE e inflamación” en varones saludables. En el primero se miden los rendimientos de la FMax y FR en media sentadilla, y los saltos squat jump (SJ) y CMJ (como expresión de FE), comparándose con el EF tradicional de alta intensidad; en cambio, el segundo experimento compara el rendimiento de FMax de cuádriceps e isquiotibiales y la respuesta de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica entre un EF con RPFS, versus dos EF tradicional, uno de alta y otro de baja intensidad de carga, sin RPFS.

1.1 HIPÓTESIS DE PARTIDA:

H1₁: La FMax aumentaría en mayor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₂: La FR aumentaría en mayor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₃: La FE aumentaría en mayor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₄: La fuerza elástico-explosiva (FEE) aumentaría en mayor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₅: El porcentaje de aumento preestiramiento muscular (PSAP) aumentaría en mayor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₆: El DMIE aumentaría en menor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₇: El DMIE aumentaría en menor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de baja intensidad de carga.

H1₈: La respuesta inflamatoria sistémica aumentaría en menor medida de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga.

H1₉: La respuesta inflamatoria sistémica aumentaría en menor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS, cuando se compara con el EF tradicional de baja intensidad de carga.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos generales:

- Establecer los efectos de un EF de baja intensidad de carga con RPFS versus un EF de alta intensidad de carga en las modificaciones de la FMax, FR y FE de extremidad inferior en jóvenes saludables.
- Establecer los efectos en biomarcadores de DMIE y respuesta inflamatoria sistémica de jóvenes saludables que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un EF de alta y baja intensidad.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Comparar las modificaciones en la FMax en media sentadilla en adultos jóvenes que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un EF tradicional de alta intensidad, utilizando como indicador al 1RM.
- Comparar las modificaciones en la FR en media sentadilla en adultos jóvenes que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un EF tradicional de alta intensidad, utilizando como indicadores el 1RM/MC ratio y el $1RM/MC^{0,67}$ ratio.
- Comparar las modificaciones en la FE y FEE y en el PSAP de extremidades inferiores obtenidas en el test de Bosco después de un EF de baja intensidad con RPFS comparado con el EF tradicional de alta intensidad en adultos jóvenes, utilizando como indicador los tiempos de vuelo (TV) del SJ y CMJ, y el PSAP de las alturas de cada salto.
- Cuantificar los cambios producidos en el DMIE de adultos jóvenes que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un EF tradicional de alta y baja intensidad, utilizando como biomarcador la CK sérica.
- Cuantificar los cambios producidos en la respuesta inflamatoria sistémica de adultos jóvenes que realicen un EF de baja intensidad con RPFS versus un

EF tradicional de alta y baja intensidad, utilizando como biomarcador la PCRus sérica.

De acuerdo a lo enunciado, el experimento 1 responderá a las cinco primeras hipótesis, el primer objetivo general y los tres primeros objetivos específicos. Las restantes hipótesis y objetivos serán abordados en el experimento 2.

ESTADO DEL ARTE

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Definiciones:

El desarrollo de la FM constituye un factor esencial para el logro del rendimiento deportivo y el fitness relacionado a la salud. Desde la perspectiva mecánica, la fuerza, es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo, así como deformarlo, por efecto de la presión a tracción. En cambio, desde la perspectiva fisiológica, la fuerza se entiende como la capacidad para generar tensión⁸⁴. Tradicionalmente, las formas de expresión de la fuerza en el movimiento humano son:

2.1.1 Fuerza máxima (FMax):

Es la expresión máxima de fuerza generada cuando la resistencia se moviliza en un solo y único desplazamiento articular o se desplaza ligeramente y/o transcurre a muy baja velocidad en una fase del movimiento⁸⁵; también se le conoce como la mayor FM que el sistema neuromuscular puede ejecutar durante una contracción máxima voluntaria, siendo la demostración del mayor peso (o masa) que se puede cargar en una tentativa³⁵. De forma dinámica la FMax se mide con el test de una 1RM; cuando esta capacidad no considera al PC se llama **Fuerza Absoluta (FA)**³⁵ o **Fuerza Dinámica Máxima**⁸⁵, en cambio cuando la FMax se relaciona con PC en el cociente FMax/PC (o correctamente la MC) se llama **Fuerza Relativa (FR)**³⁵, o **Fuerza Normalizada**, si se relaciona al tamaño corporal⁸⁶.

2.1.2 Potencia muscular (PM):

También se denomina Fuerza-Velocidad, Fuerza-Rápida, Fuerza-Veloz o FE⁸⁵; es definida como la tasa de producción de fuerza muscular a lo largo de un rango de movimiento²⁹, y es la manifestación de dos capacidades funcionales motoras: fuerza y velocidad, representando la forma de ejecución de la FMax del gesto deportivo en el tiempo más corto³⁵; es una manifestación importante y predominante en la mayoría de los deportes⁸⁷. La FE también se puede definir como la tasa de aumento de la fuerza en el inicio de la contracción muscular³⁴, donde una

de sus expresiones es la capacidad de salto. La producción de FE, determinada por la tasa de desarrollo de la fuerza (TDF), es considerada funcionalmente importante en situaciones donde el tiempo para desarrollar la fuerza es limitado³³. Esta cualidad se puede dividir en:

2.1.2.1 Potencia máxima (PMax):

Es el producto de la fuerza y la velocidad

2.1.2.2 Potencia específica (PEsp):

Es la PMax que se expresa en un gesto de competición⁸⁵.

Ligado a la FE y en relación a la curva fuerza-tiempo existe la TDF, definida como la tasa de aumento de la fuerza a lo largo del tiempo⁸⁸; es la habilidad de desarrollar rápidamente FM especialmente en actividades donde hay un tiempo limitado para producir fuerza⁸⁹. Es una variable que se evalúa cada vez más para caracterizar la FE de deportistas, adultos mayores y pacientes⁹⁰.

2.1.3 Resistencia muscular (RMus):

Llamada también como **Fuerza-Resistencia**; es la tensión muscular relativamente prolongada que es capaz de mantener un sujeto sin que disminuya la efectividad de la misma; igualmente se define como la capacidad de mantener un pico de fuerza y una producción de fuerza durante un tiempo determinado⁸⁵ o como la capacidad muscular de mantener una tarea por un tiempo prolongado³⁵, relacionando la fuerza y la resistencia, siendo de gran importancia en los deportes de resistencia para mantener el gesto cíclico⁸⁷.

Estas expresiones de la fuerza se pueden comprender interrelacionando la perspectiva fisiológica y mecánica, donde al generar tensión muscular y mover un objeto implica un cambio de posición de éste en el espacio por un período tiempo, variables que permiten calcular su velocidad y aceleración de movimiento; y con la masa conocida de ese objeto, junto a la aceleración desarrollada permiten saber la fuerza generada, la que al multiplicarse por la velocidad nos indica la potencia

lograda; si la potencia es mantenida en el tiempo, se estará asociando a la fuerza-resistencia.

A continuación, se describen los principales beneficios del entrenamiento de la FM.

2.2 Beneficios del Entrenamiento de la Fuerza.

Los beneficios del EF ocurren transversalmente en cualquier edad y sexo²⁻⁶, estos se dan a nivel físico, fisiológico, control y prevención de enfermedades, osteomusculares y funcionales⁹¹; se aplica en múltiples áreas: fitness, deportes⁷, promoción en salud⁸, rehabilitación^{9,10}, prevención de lesiones¹¹, estados de desarrollo evolutivo¹²⁻¹⁴ o patologías^{3,15}. Fisiológicamente, el EF conduce en el tiempo a adaptaciones funcionales y estructurales en el sistema neuromuscular, especialmente en sujetos inicialmente sin entrenamiento, en cambio, en personas más entrenadas, las mejoras adicionales en la fuerza y trofismo muscular son mucho más limitadas. Los incrementos iniciales en el desarrollo de la FM inducido por el entrenamiento se explican en gran medida por factores neuronales, y a medida que avanza el entrenamiento, se hace más creciente la contribución de la hipertrofia de los músculos entrenados; ésta se debería a la actividad de las células satélites y al aumento individual del tamaño de las fibras musculares que provocarían un aumento del área de sección transversa de estos músculos⁹². La amplia combinación de factores neurológicos y morfológicos que proporcionan ganancias en la FM todavía sigue estudiándose. En términos de la aplicación del entrenamiento, el desarrollo de la fuerza y la hipertrofia muscular son dependientes del tipo e intensidad de carga, así como del volumen de entrenamiento en un momento dado⁹³. Globalmente, en la población se identifican los mayores beneficios del EF en dos grandes áreas: salud y rendimiento físico y deportivo.

2.2.1 Beneficios del entrenamiento de fuerza en la Salud.

Una mejor condición musculoesquelética se asocia positivamente con un mejor estado general de salud y una reducción en el riesgo de enfermedades crónicas y discapacidad⁹⁴, se asocia positivamente con la composición corporal, el

estado funcional, el metabolismo de la glucosa, la salud ósea, la movilidad, el bienestar psicológico y la calidad de vida en general^{2,95}. Particularmente esta información es relevante, pues el dinamismo de la actual transición demográfica, en especial de los países en desarrollo, es abrupto; donde, por un lado, aumenta la población de adultos mayores en cantidad y longevidad, y por otro, disminuye la población joven¹⁶; a esto hay que sumar una alta prevalencia poblacional de enfermedades crónicas no transmisibles¹⁷ y sedentarismo^{18,19}. Mantener elevados los niveles de FM permite tener un mejor perfil de riesgo cardiometabólico¹⁵, menos riesgo de mortalidad^{22,23}, menos eventos de enfermedad cardiovascular²⁰ y obesidad²¹, o un mejor pronóstico cardiovascular y de supervivencia²⁴, control de la presión arterial⁹⁶, así como un menor riesgo de desarrollar limitaciones funcionales²⁵, control de la sarcopenia²⁶, evitar la vivir en centros de residencia institucionalizada²⁷, se reduce la incidencia de fracturas por caídas en adultos mayores y en personas con osteoartritis ayuda a mantener la estructura y función articulares⁹⁷. Particularmente en el adulto mayor, de las diversas formas de expresión de la fuerza revisadas, la FM se asocia positivamente con la independencia y la calidad de vida, incluso en sobrevivientes de accidentes cerebrovasculares⁹⁸, y además aumenta la velocidad de la marcha, mejora el equilibrio y el rendimiento en actividades de la vida diaria en adultos mayores frágiles⁹⁹. También se asocia negativamente con la morbilidad y la mortalidad potencialmente prematura; la RMus se relaciona positivamente con la calidad de vida y puede reducir la incidencia de caídas y lesiones asociadas; y la PM predice la capacidad funcional, la discapacidad resultante y la mortalidad potencialmente prematura¹⁰⁰. La Tabla 1 resume los principales efectos benéficos de los ejercicios de FM ligados a promoción de salud.

Tabla 1. Efectos benéficos de los ejercicios de fuerza muscular ligados a promoción de salud (91)

Físicos
<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la masa muscular • Aumenta la fuerza y potencia muscular • Mejora la composición corporal • Reduce la grasa visceral • Mejora los valores de presión arterial • Aumenta el gasto energético • Aumenta el contenido y capacidad oxidativa de las mitocondrias
Fisiológicos
<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye en la prevención y tratamiento del exceso de peso y obesidad • Mejora el perfil lipídico • Aumenta/mantiene la densidad mineral ósea • Mejora el metabolismo de la glucosa • Reduce marcadores de estrés oxidativo • Aumenta la capacidad enzimática antioxidante • Revierte expresión de genes afectados por la edad
Control y prevención de enfermedades
<ul style="list-style-type: none"> • Contribuye en la prevención de la osteoporosis • Mejora la homeóstasis y sensibilidad de la insulina • Disminuye la hemoglobina glicosilada • Contribuye en la prevención y tratamiento de la diabetes • Contribuye en el control de la hipertensión arterial (HTA) • Mejora y mantiene la salud vascular • Mejora el desempeño en la rehabilitación de eventos coronarios • Disminuye la mortalidad de personas con HTA • Prevención de algunos tipos de cáncer • Contribuye en el tratamiento de pacientes con cáncer • Alivia la depresión y ansiedad
Osteomusculares
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora el equilibrio y la coordinación • Disminuye el riesgo de caídas • Mejora la postura • Disminuye el dolor lumbar, molestias de la artritis y dolor de la fibromialgia • Contribuye en el tratamiento de la artrosis
Funcionales
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la capacidad funcional • Aumenta el nivel de actividad física espontánea • Mantiene la fuerza funcional para actividades diarias • Aumenta la velocidad de caminar

2.2.2 Beneficios del entrenamiento de fuerza en el Rendimiento físico y deportivo.

El EF permite tener un mejor rendimiento físico en personas de todas las edades^{101,102}, así como un mayor rendimiento deportivo al aumentar la FM, la potencia, la velocidad, el tamaño y RMus, el equilibrio, la coordinación, la agilidad y el rendimiento motor; para ser efectivos con el EF debe aplicarse una adecuada periodización, ya sea en períodos de entrenamiento de corto y largo plazo, y además reducir el riesgo de sobre-entrenamiento¹⁰³. La FM, la tasa de desarrollo de la fuerza, la velocidad y la capacidad de generar potencia se han identificado como mecanismos relacionados al rendimiento deportivo²⁸, por ello, en la preparación deportiva existe especial atención por las acciones musculares que incluyen movimientos de alta aceleración dentro de un gesto técnico específico; es así como la PM es considerada un parámetro importante de éxito en diferentes deportes^{30, 31}. Un aumento en la potencia permite que un músculo produzca la misma cantidad de trabajo en menos tiempo o una mayor magnitud de trabajo en el mismo tiempo³², es así que la producción de FE, determinada por la tasa de desarrollo de la fuerza, sea considerada funcionalmente importante en situaciones donde el tiempo para desarrollar la fuerza es limitado³³. Todas las acciones deportivas y de la vida diaria implican un cierto grado o necesariamente la producción de potencia^{32,104}, como en acciones de tipo explosivos (por ej. golpear, patear, saltar o sprints), o cuando se deba recuperar el equilibrio después de una perturbación mecánica³⁴. Para maximizar los beneficios asociados con el EF, se deben aplicar los principios de sobrecarga progresiva, variación y especificidad; y combinar las diversas variables relacionadas a un programa de entrenamiento: intensidad (o carga), volumen (número de series y repeticiones), ejercicios seleccionados, orden de los ejercicios, intervalos de descanso entre series, velocidad de ejecución y frecuencia. La alteración de una o más de éstas afecta significativamente las respuestas agudas y las posteriores adaptaciones fisiológicas¹⁰⁴. Las contribuciones neuromusculares a la PMax incluyen la capacidad de desarrollo de la fuerza a una alta velocidad, la FM a velocidades lentas y rápidas durante la acción muscular, el entrenamiento del CEA y coordinación del patrón de movimiento y la habilidad¹⁰⁴.

De acuerdo a los objetivos del estudio, se profundizará en las diversas expresiones de la FM.

2.3 Manifestaciones de la fuerza

De acuerdo a lo indicado por González Badillo⁸⁵, es posible clasificar la fuerza en función al tipo de contracción muscular solicitada en:

2.3.1 Fuerza Absoluta (FA):

Capacidad potencial teórica de fuerza dependiente de la constitución del músculo: sección transversa y tipo de fibra muscular. Esta fuerza no se expresa de forma voluntaria (entrenamiento o competición), sino en situaciones psicológicas extremas, con la ayuda de fármacos o electroestimulación.

2.3.2 Fuerza Isométrica Máxima o Fuerza Estática Máxima (FIM):

Es la máxima fuerza voluntaria que se aplica cuando la resistencia es insuperable.

2.3.3 Fuerza Máxima Excéntrica (FME):

Se manifiesta cuando se opone la máxima capacidad de contracción muscular ante una resistencia que se desplaza en sentido opuesto al deseado.

2.3.4 Fuerza Dinámica Máxima (FDM):

Es la expresión máxima de fuerza cuando la resistencia solo se puede movilizar una vez o se desplaza ligeramente y/o transcurre a muy baja velocidad en una fase del movimiento.

2.3.5 Fuerza Dinámica Máxima Relativa (FDMR):

Es la máxima fuerza expresada ante resistencias inferiores a la necesaria para que se manifieste la FDM.

2.3.6 Fuerza Dinámica Máxima Relativa Específica (FDMRE):

Es la fuerza útil o funcional; la que se aplica cuando se realiza un gesto específico de competición.

2.3.7 Fuerza Explosiva (FE):

Es el resultado de la relación entre la fuerza producida (manifestada o aplicada) y el tiempo necesario para ello.

2.3.8 Fuerza Explosiva Máxima (FEM):

Máxima producción de fuerza por unidad de tiempo en toda la producción de fuerza, que supone la mejor relación fuerza-tiempo de toda la curva.

2.3.9 Fuerza Elástico-Explosiva (FEE):

Se basa en la FE, pero uniendo el componente elástico, que actúa por efecto del estiramiento previo. Su expresión es durante el CEA.

2.3.10 Fuerza Elástico-Explosivo-Reactivo (FEER):

Añade a la FEE un componente de facilitación neural (reflejo miotático o de estiramiento) que interviene debido al carácter motriz de CEA, de forma mucho más rápida y con una transición muy corta.

2.4 Importancia de la Fuerza máxima

La FMax, por su calidad neuromuscular parece sustentar la mayoría de los otros dominios de la capacidad física del ser humano¹⁰⁵, respalda una gran cantidad de atributos relacionados con la mejora del rendimiento de un individuo en una amplia gama de habilidades tanto generales como deportivas⁸⁸. En las acciones deportivas, para contrarrestar la amplia variedad de fuerzas externas se requiere producir altos niveles de FM; un individuo puede ejercer gran cantidad de fuerza contra la gravedad al manipular su propia MC, su MC más la MC de un oponente o al manipular un implemento o proyectil, y en todos los casos la FM puede considerarse un factor limitante de rendimiento⁸⁸. Además, la evidencia sostiene

una alta influencia de la FMax con el rendimiento deportivo y en la PM³², con esto, un individuo no puede poseer un alto nivel de potencia sin antes ser relativamente fuerte¹⁰⁶; una mayor FM puede mejorar las características de la curva fuerza-tiempo como la TDF o la potencia mecánica que luego puede traducirse a un mejor rendimiento atlético⁸⁸. Existe una alta correlación de la FM con el salto, el sprint, cambios de dirección y el rendimiento específico del deporte, así como la capacidad de aprovechar la potenciación post-activación y la disminución de la tasa de lesiones⁸⁸. El desarrollo de la FM es posible en función de una combinación de factores morfológicos y neuronales que incluyen el área y la arquitectura de la sección muscular, la rigidez musculo tendinosa, el reclutamiento de unidades motoras, frecuencia de disparo, la sincronización de unidades motoras y la inhibición neuromuscular¹⁰⁷. La FMax no solo es importante en el rendimiento, sino también en la prescripción del ejercicio, dado que es la base para calcular la carga en cualquier tipo de desarrollo de la fuerza³⁵.

2.5 Ciclo estiramiento – acortamiento (CEA) y su relación con las manifestaciones de la fuerza

La capacidad para utilizar eficazmente el CEA es un aspecto importante en el rendimiento de muchos deportes^{108,109} y actividades de la vida cotidiana¹¹⁰; de forma natural el CEA se manifiesta al caminar, correr o saltar en extremidad inferior, o lanzar y golpear en extremidad superior; por esta razón es que para mejorar el rendimiento en tareas funcionales se utiliza el EF usando ejercicios tipo CEA¹¹¹. Esta función muscular es una acción natural, donde el músculo preactivado se estira primero (acción excéntrica) e inmediatamente sigue con una acción de acortamiento (concéntrica)¹¹². Los saltos son acciones tipo CEA, donde su característica particular es que la generación de fuerza y PM mejoran durante la fase final (concéntrica) del CEA en comparación con una simple contracción concéntrica¹¹³. Esta mejora se ha atribuido a la energía elástica almacenada en los elementos contráctiles y de tracción durante la fase excéntrica y liberada durante la contracción concéntrica¹¹⁴, no obstante el sistema nervioso central también contribuye, pues

debe coordinar y ajustar la contribución de la actividad neuromuscular anticipada y refleja que proporcione una rigidez musculotendinosa apropiada y no máxima¹¹⁵.

A nivel deportivo, el rendimiento del salto vertical se considera un elemento crítico de la evaluación de las capacidades de FM y rendimiento deportivo exitoso¹¹⁶; donde comúnmente se evalúan y comparan las características de rendimiento de los saltos desde sentadilla, del inglés Squat Jump (SJ) y el salto en contramovimiento, del inglés Counter Movement Jump (CMJ)¹¹⁷. El SJ valora esta capacidad en un ciclo simple de acortamiento en movimientos puramente concéntricos, mientras que el CMJ en movimientos de ciclo doble, en acciones de estiramiento y acortamiento, tipo CEA. La relación de ambos saltos indica la capacidad de rendimiento y el aporte del componente elástico del músculo entre ambos saltos o la capacidad de utilización del pre-estiramiento del músculo durante el CMJ; esta relación se mide con distintos indicadores, tales como el porcentaje de aumento de pre-estiramiento, del inglés pre-stretch augmentation (PSAP), la tasa de utilización excéntrica, del inglés: eccentric utilization ratio (EUR), y la fuerza reactiva, del inglés: reactive strength (RS), los cuales son usados en diferentes períodos de la temporada deportiva para verificar las respuestas del deportista a un tipo de entrenamiento, controlar su rendimiento o comprobar los cambios a un período de recuperación^{108,109,118,119}. La diferencia porcentual producida entre ambos saltos se denomina PSAP¹²⁰, el cual valora la contribución de los elementos elásticos y de tracción al rendimiento del CMJ. Un alto PSAP se correlaciona de forma negativa con la rigidez del sistema conectivo del músculo¹²¹, donde, interesantemente, una mayor rigidez permite desplegar mayores tasas de desarrollo de la fuerza¹²², así como un mayor rendimiento en tareas atléticas como saltos, lanzamientos, carreras y cambio de dirección¹²³. Para su valoración práctica, se ha utilizado el protocolo propuesto con Carmelo Bosco¹²⁴, en el cual se miden las características funcionales del músculo mediante la ejecución de diferentes tipos de salto, siendo posible calcular las alturas y potencias de cada salto, a partir del uso de una plataforma de contacto^{125,126}, transductores lineales¹²⁷, celdas fotoeléctricas¹²⁸ o dispositivos portátiles¹²⁹, además de las tradicionales plataformas de fuerza.

De acuerdo a las MF propuestas por González Badillo se valoraría la FE y FEE; también vale la pena sumar lo planteado por Vittori¹³⁰, que sugiere una clasificación en relación a las manifestaciones activas (MA) y manifestaciones reactivas (MR) en la generación de fuerza; correspondiendo la primera a un ciclo simple, de acortamiento, de trabajo muscular, y la segunda, a un ciclo doble, tipo CEA; con esto el SJ valora la MA explosiva y la sincronización de las unidades motoras del aparato extensor, y el CMJ, la MR elástico-explosiva agregando además el aporte del componente elástico de tendones y puentes de actina-miosina, y en menor medida al reflejo miotático de estiramiento¹³¹.

2.6 Fuerza relativa

La medición de la FA supone una relación directa con el PC³⁵, donde individuos altos y de mayor peso son más fuertes que los más pequeños y livianos; probablemente a expensas del peso magro⁸⁷; no obstante, este supuesto presenta ciertas limitaciones. Por ello es que la FM también se ha vinculado con el tamaño corporal (TC) o la MC¹³² bajo el concepto de FR, reconociendo al TC como un factor importante que afecta la FM⁸⁶. Dependiendo del área de estudio, también se le conoce como fuerza normalizada⁸⁶, o calidad muscular^{133,134}, especialmente es útil para evaluar la relación que existe entre la FM y el rendimiento funcional, donde se recomienda que tanto el índice de FM usado, como el índice del rendimiento funcional sean independientes del TC⁸⁶; con esto la FR permite comparar a personas de diferente sexo¹³⁵ o TC en deportes que compiten por categorías de MC como la halterofilia¹³⁶, también puede usarse como indicador de valores normativos que discrimine a atletas de diversas especialidades, niveles de competencia o edades y posee mayores asociaciones con el rendimiento funcional que la FA⁸⁶. El abordaje de la FR debe considerar los factores fisiológicos del ser humano, pues existe una influencia de la composición corporal, puesto que la masa grasa no contribuye a la función y desarrollo de FM, lo que condiciona la relación que existe entre MC y fuerza, en cambio existe una relación más significativa entre la fuerza con la masa libre de la grasa¹³⁷. En los adultos mayores o personas con sarcopenia también se pierde esta relación entre FM y MC.

La definición actualizada de sarcopenia primero la reconoce como una enfermedad muscular y coloca a la FM a la vanguardia como indicador primario de diagnóstico¹³⁸, siendo considerada como mejor predictor en relación al riesgo de caída¹³⁹ o deterioro funcional¹⁴⁰, y estando actualmente por sobre la masa muscular, que era el anterior criterio usado como diagnóstico primario de sarcopenia¹⁴¹. En esta condición la disminución de la FM es mucho más rápida que la pérdida de masa muscular, donde estaría más relacionada con alteraciones en la activación neural y estructura muscular¹⁴². Otros factores a considerar en la valoración de la FR son la edad, el sexo, el nivel de actividad física y la habilidad⁸⁶, así como la heterogeneidad del grupo de evaluados¹⁴³.

Finalmente, la forma en que se valore la FR influye en los resultados e interpretación de ésta; inicialmente se deben reconocer las diferencias que existen entre medir fuerza o torque, el considerar o no la altura del evaluado, o la inclusión de la medición a la velocidad¹³⁷. Luego, el tipo de ejercicio y la MF medida, por ejemplo, en las evaluaciones de FM en base al levantamiento del propio cuerpo bajo condiciones mecánicas críticas como la sentadilla debería proporcionar índices de rendimiento negativos al relacionarse con el TC, debido a que el PC se incrementa con el tamaño a una mayor tasa que la FM ejercida contra el peso¹³²; por otro lado, la PM varía de manera diferente con el TC cuando se comparan acciones sólo concéntricas versus tipo CEA, observándose una mayor relación del TC con el CMJ que con el SJ, lo que sugiere que los individuos más grandes ganan más potencia al cambiar de acción, desde el SJ al CMJ, que los más pequeños¹⁴⁴. Existen las escalas de "relación"¹⁴⁵ o "isométrica"^{135,146}, que dividen el rendimiento de la FM por el PC, suponiendo una relación lineal entre TC y la FM, pero esto puede desfavorecer a individuos con mayor PC durante las evaluaciones¹⁴⁷. También está la escala alométrica, que relaciona al TC y la fisiología, la cual supone una similitud geométrica del ser humano, donde todos los cuerpos tendrían la misma forma, pero difieren en tamaño⁸⁶. También existen otros indicadores relacionados a la masa o volumen muscular total, regional o segmentaria o área de sección transversa, tanto para extremidad superior o inferior, pero no se profundizan por no tener relación con los objetivos y variables del estudio. Con esto tenemos:

2.6.1 Escala isométrica: 1RM/MC ratio

Corresponde al cociente de la FMax, medida en el test de 1RM, expresada en términos de la MC¹³⁵; cuando se mide en miembro inferior se usan pruebas en sentadilla o prensa; como referencia, para la sentadilla en deportistas de rendimiento su valor está en un rango de 1,7-2,0^{38,148} y en 1,3 en deportistas recreacionales¹⁴⁹; poseer la capacidad de movilizar al menos dos veces la MC puede llevar a un mayor rendimiento deportivo en comparación con aquellos que poseen una FR más baja⁸⁸.

2.6.2 Escala alométrica: FMax/MC^{0,67}

Esta escala asume que la FM se ajusta a las 2/3 partes de la MC, prediciendo como la FM ejercida contra cargas externas se incrementa de acuerdo con esta escala¹⁵⁰. También posee mayor aceptación en la normalización de los datos mediante la eliminación de la influencia directa del TC¹⁵¹, y es considerada como un método más efectivo para estandarizar el control del rendimiento para las dimensiones corporales que la escala de relación^{151,152}. Se ha utilizado para predecir valores de FM¹⁵³ o para comparar los indicadores de rendimiento¹⁵⁴⁻¹⁵⁷.

2.7 Relación entre la fuerza máxima, fuerza relativa, fuerza explosiva y capacidad de salto.

Existe una interrelación entre estas manifestaciones, donde la FMax, la FE y la FR parecen jugar un papel relevante en actividades deportivas y funcionales. La Fmax y la FE cobran alta importancia, tanto en actividades que requieren saltar con carga adicional, como cuando el sujeto debe desplazar su propia MC²⁸. Así como la calidad neuromuscular de la FMax parece sustentar la mayoría de los otros dominios de la capacidad física del ser humano¹⁰⁵, la FE es considerada un parámetro importante de éxito en diferentes deportes^{30,31}. Un aumento en la potencia permite que un músculo produzca la misma cantidad de trabajo en menos tiempo o una mayor magnitud de trabajo en el mismo tiempo³², siendo la producción de FE funcionalmente importante en situaciones donde el tiempo para desarrollar la fuerza es limitado³³. La PM también se considera necesaria en condiciones de

funcionamiento normal³², como cuando se deba recuperar el equilibrio después de una perturbación mecánica³⁴.

La evidencia sostiene una alta influencia de la FMax en el rendimiento deportivo y la PM³². En el deporte es necesario contrarrestar una variedad de fuerzas externas con la producción de altos niveles de FM, así un individuo no puede poseer un alto nivel de potencia sin antes ser relativamente fuerte¹⁰⁶, juntas contribuyen de forma especial al rendimiento del salto vertical^{36,37,60}, se han observado altas correlaciones entre la FMax (1RM) y la altura del CMJ^{154,158,159} o con el PSAP, aludiendo a la fuerza como un mecanismo subyacente ligado a la capacidad de utilización del CEA¹⁰⁸.

Apuntando a la FR, el rendimiento en varias tareas dinámicas como los sprint o saltos no dependen del TC¹³², no obstante cuando se analizan los movimientos explosivos en relación a la FR (=1RM/MC), se observa una mayor influencia de esta que solo la FMax, por ejemplo con las alturas del CMJ^{28,38}, con esto, si la FMax es un factor limitante del rendimiento de la FE, cualquier mejora en la FMax en relación a la MC (=FR) puede aumentar el rendimiento de la FE, permitiendo una mayor velocidad, aceleración y potencia de la MC durante el salto³⁸. Tal como el desarrollo de la FMax y potencia muscular se consideran factores influyentes en el rendimiento en una variedad de deportes^{47, 116}, actividades de la vida diaria¹⁴⁹ y funcionalidad del adulto mayor¹⁶⁰, desarrollar la FR es recomendado como objetivo fundamental del entrenamiento para desarrollar la FE en personas jóvenes, menos experimentadas³².

2.8 Métodos de entrenamiento de la fuerza tradicionales: alta intensidad y baja intensidad de carga.

El EF tradicional con sobrecarga provoca adaptaciones en las distintas MF en función a la intensidad y duración del entrenamiento. El EF de alta intensidad (con cargas altas entre 70–90% 1RM) y baja cantidad de repeticiones por serie generalmente resultan en adaptaciones de tipo neuronal, seguidas de hipertrofia muscular, cuando son ejecutadas durante períodos prolongados de entrenamiento. En cambio, el EF de FE ejecutado con cargas bajas a medias (30 a 60% de 1RM) y

desarrollados con movimientos explosivos de alta velocidad, también mejoran las características neuromusculares, especialmente la activación rápida debido al aumento del reclutamiento de la unidad motora¹⁶¹. El EF de alta intensidad conduce a aumentos en la potencia a través de un aumento en la producción de fuerza¹⁶², aun cuando no solo el EF de alta intensidad provoca estas adaptaciones ningún método de entrenamiento de forma exclusiva puede alcanzar un rango de adaptaciones para mejoras en la fuerza y las de FE, características de la curva de fuerza-tiempo¹⁰⁷. También la especificidad del EF induce también aumento de la fuerza y masa muscular con ejercicios de sobrecarga al 60-80% 1RM², aunque la dosificación aplicada es diferente. Todo lo anterior es concordante con el ACSM, que ha sugerido que el EF de alta intensidad promueve mayores adaptaciones de fuerza, mientras que EF de baja intensidad provoca adaptaciones de RMusc³⁹.

Últimamente, también se ha sugerido que cuando el EF se realiza hasta un fallo momentáneo, son posibles las mismas adaptaciones con alta y baja intensidad de carga^{163, 164}; el ejercicio de fuerza con baja intensidad carga, realizado con alto nivel de esfuerzo, comúnmente conocido como “al fallo muscular”, puede provocar hipertrofia muscular comparable al ejercicio de sobrecarga de alta intensidad^{43,165, 166}. Operacionalmente, el punto de corte entre ejercicios de alta y baja intensidad corresponde a >65% 1RM y <60% 1RM, respectivamente⁴³, y el fallo muscular corresponde al punto donde la barra se detiene, o se enlentece el movimiento por más de un segundo o la imposibilidad de completar las repeticiones a rango de movimiento completo¹⁶⁷. El fenómeno hipertrófico habla de una contribución dispar entre dos mecanismos de acción: el de tensión mecánica en el ejercicio de alta intensidad², y el de fatiga metabólica, en los ejercicios al fallo con baja intensidad de carga¹⁶⁸, contribuyendo en ser los mecanismos principales para inducir hipertrofia muscular¹⁶⁹. Este nuevo paradigma indica que el estrés metabólico desencadena una mayor tasa de síntesis de proteínas musculares, a través de la activación de rutas de señalización anabólica y la atenuación de vías catabólicas¹⁷⁰. Esta condición también se ha observado en ejercicio de tipo aeróbico (baja intensidad, larga duración y de características cíclicas), sin embargo la magnitud en estas respuestas es menor que en los ejercicios de fuerza¹⁶⁸. También ambas

intensidades permiten mejoras en la FM, sin observarse diferencias significativa entre ellas, pero sí un mayor tamaño del efecto a favor de la alta intensidad en sujetos no entrenados y mayormente en entrenados⁴³; además, al comparar el efecto del EF de alta intensidad en la mejora de la FM, y comparar la sentadilla versus el press banca, este es mayor en extremidad inferior¹⁷¹. En circuitos con ejercicios de alta intensidad con carga se ha demostrado que cualquier ejercicio de fuerza, ya sea con alta o baja carga o resistencia externa puede ser igualmente eficaz en el aumento de trofismo y FM, siempre y cuando se realice con el máximo esfuerzo durante el entrenamiento¹⁶⁵. Los fundamentos fisiológicos de las adaptaciones en la FM en el ejercicio de alta intensidad se relacionan con el principio del tamaño, que recluta unidades motoras pequeñas a esfuerzos pequeños, y que aumenta sucesivamente su reclutamiento a medida que se requiera producir más fuerza¹⁷², situación que también se observaría en los ejercicios de baja intensidad siempre y cuando sean al fallo muscular¹⁷³.

Aun cuando hay mayor libertad en el rango de cargas para prescribir ganancias en el trofismo y FM, es relevante considerar que el entrenamiento de baja intensidad requiere mayor volumen de ejercicio y tiempo de entrenamiento que el de alta carga, lo que sugiere una mayor eficiencia de este último¹⁷⁴.

2.9 Entrenamiento de la Fuerza y respuestas fisiológicas al daño muscular inducido por ejercicio (DMIE).

Es esperable que ocurran DMIE y respuestas fisiológicas e inmunes durante y después del entrenamiento físico; el DMIE post-ejercicio del EF se produce cuando el músculo se alarga bajo tensión¹⁷⁵. El DMIE es definido como la ruptura de la matriz extracelular, la lámina basal y sarcolema¹⁷⁶, que igualmente comprometen a las proteínas contráctiles y citoesqueleto de la fibra muscular¹⁷⁷, provocando una cascada de eventos de tipo inflamatorio, oxidativo e inmunológico, que alteran la homeostasia celular, generando una disminución del rendimiento. Los síntomas del DMIE incluyen dolor muscular (DOMS), inflamación, rigidez, disminución del ROM, concentraciones de lactato más altas que las normales, mayor PSE durante el ejercicio, pérdida de FMax y PMax^{178,179}, aumento de la

circunferencia del área afectada debido a la inflamación y una mayor actividad de la CK sérica¹⁷⁵.

Dos de los factores principales que causan DMIE, son el estrés mecánico y metabólico producidos por el EF¹⁸⁰, éstos inicialmente para el músculo se consideran perjudiciales¹⁸¹, pero facilitan la etapa de activación inicial que produce hipertrofia muscular¹⁷⁰. El estrés mecánico se genera con ejercicios de sobrecarga mayores al 65% 1RM y el estrés metabólico con ejercicios de baja carga realizados hasta el fallo muscular¹⁶⁶. El DMIE depende de la extensión del daño muscular inicial, la intensidad y duración del ejercicio, el ángulo articular o la longitud del músculo y los grupos musculares utilizados durante el ejercicio¹⁸². Todo tipo de contracciones pueden causar DMIE, aunque preferentemente lo hacen las acciones excéntricas¹⁸³. La determinación de DMIE se realiza con marcadores directos como biopsia o resonancia nuclear magnética, o indirectos como medidas del rendimiento motor, DOMS y análisis de enzimas plasmáticas, proteínas musculares y mioglobina sérica¹⁸⁴. Luego del DMIE inicial, seguirá la inflamación que se mantendrá durante el período de recuperación en un proceso integrado fisiológicamente¹⁸⁵ (Figura 1), durante este período, el DMIE y la inflamación, se relacionarán con los cambios que se generan en el acoplamiento de excitación-contracción muscular¹⁸⁴.

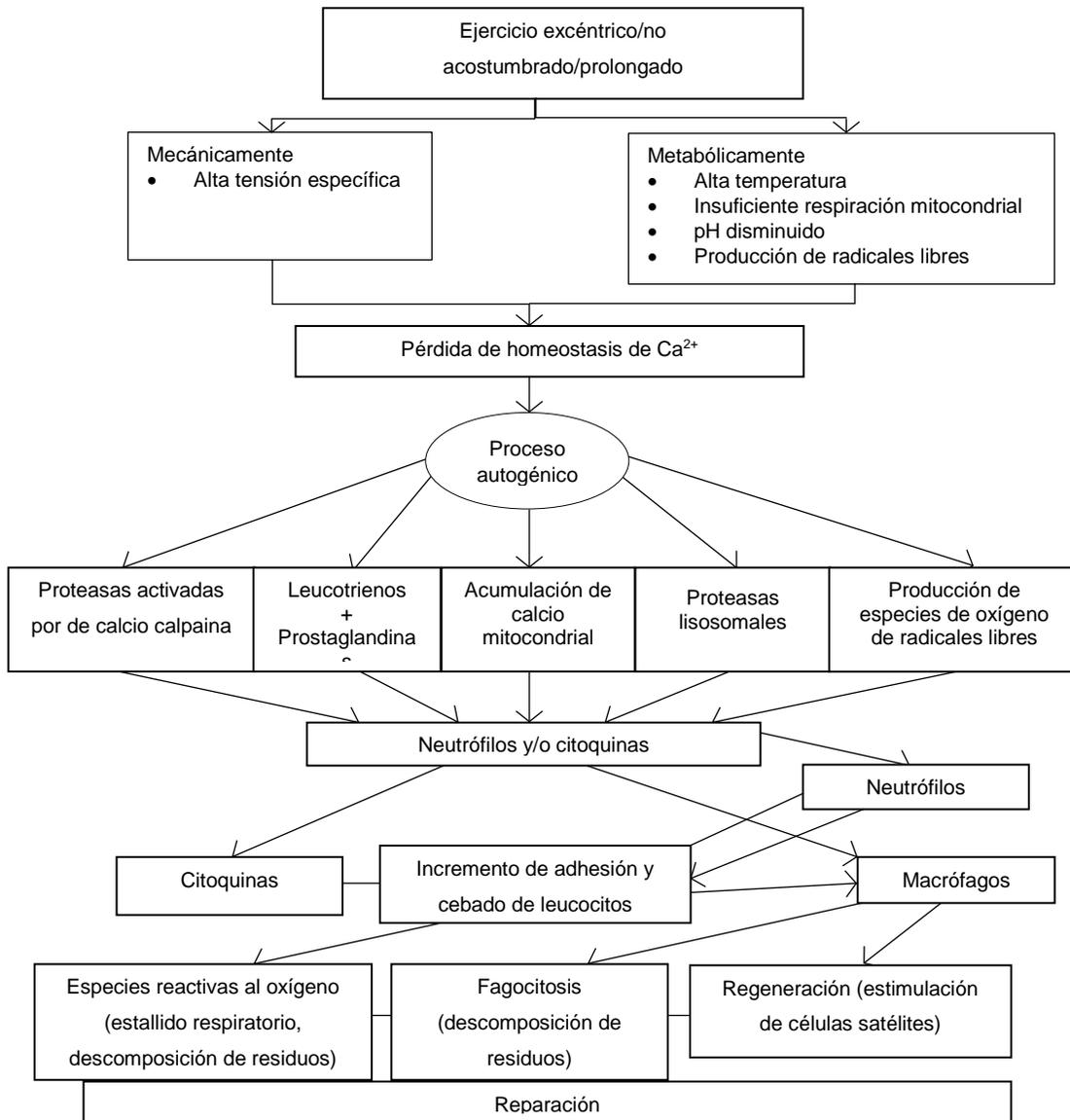


Figura 1. integración fisiológica del DMIE e Inflamación. Adaptado y traducido desde Kendall et al. (1).

Una revisión de Koch et al.¹⁸⁰, indica que el DMIE puede ser específico a macromoléculas de tejido muscular o resultar en grandes rasgaduras del disco Z, sarcolema, lámina basal y tejido conectivo de apoyo, e inducir lesiones a los elementos contráctiles y al citoesqueleto del músculo. El daño de estas estructuras se produce cuando la carga excede el límite al que está acostumbrado el músculo, y se observa un aumento en la permeabilidad de membrana¹⁸⁶, permitiendo que la CK pase al espacio intersticial, donde entra en la circulación a través del sistema

linfático. De acuerdo a Brancaccio et al.¹⁸⁶, existen tres isoformas citoplasmáticas de CK: la muscular (CK-MM), la miocárdica (CK-MB) y la cerebral (CK-BB) y dos isoenzimas mitocondriales (sarcomérica y no sarcomérica). La CK-MM se encuentra unida a la estructura miofibrilar de la línea M asociado a la miosina en la regeneración de ATP en sitios de alto consumo de energía¹⁸⁵ y en la banda I, también dando soporte a requerimientos de energía¹⁸⁷. La CK-MB se eleva durante un infarto miocárdico, la CK-BB en el daño cerebral, la CK-MM durante miopatías y DMIE^{185,186}, y las CKs mitocondriales en las miopatías mitocondriales¹⁸⁶. El umbral de intensidad de entrenamiento para inducir un aumento de la CK, así como el tiempo en que ésta aumenta y se mantiene elevada después del ejercicio son muy variables, siendo afectadas por factores individuales y variables propias del ejercicio¹⁸⁸⁻¹⁹⁰. Dentro de los factores que causan DMIE e inducen hipertrofia muscular, el estrés mecánico provoca trastornos en el aparato contráctil, el citoesqueleto muscular y las proteínas asociadas con el sarcolema¹⁷⁷; en cambio, el estrés metabólico permite la formación de radicales libres y una sobrecarga de calcio (Ca^{++})¹⁸⁰; el Ca^{++} al interior de la fibra muscular promueve la acción de proteasas, fosfolipasas, enzimas, lisosómicas y calpains las cuales aumentan la tasa de recambio proteico en el músculo¹⁸⁰. Otras variables del entrenamiento, tales como volumen o intensidad, grupo muscular intervenido, tipo de ejercicio, intervalos de descanso, velocidad de movimiento, tipo de fibra muscular estimulada, tiempo de recuperación o condición física del entrenado^{180,186,191}, factores individuales como características genéticas, poseer un genotipo de alto o bajo respondedor, la composición corporal y el sexo^{180,191}; o factores no modificables, como la etnia, edad y sexo¹⁹¹, pueden condicionar la aparición de CK sérica.

A pesar de conocerse estos factores, la CK ha permanecido como un biomarcador valioso de DMIE, no obstante, nueva evidencia indica que la aparición de CK sérica después de ejercicios de baja a moderada intensidad no es representativa del tipo de daño muscular observado después de un infarto de miocardio, accidente cerebrovascular u otro daño físico o estructural; en ese contexto el DMIE no sería reflejo del nivel e intensidad del ejercicio físico. Una elevada concentración sérica de CK en ausencia de daño muscular u otras

condiciones patológicas, podrían reflejar el nivel de actividad enzimática tisular¹⁹¹, sugiriéndose que la CK sérica por sí sola no proporcionaría un reflejo preciso del daño estructural de las células musculares¹⁹². Una relación entre la CK, la fosfocreatina (PCr), la adenilato kinasa (AK) y la proteína kinasa activada por AMP (AMPK) jugarían un rol como sensor de energía, de tal forma que AMPK controlaría el ATP proveniente de la fosforilación oxidativa, limitando el restablecimiento del pool de PCr a partir de CK en el sistema fosfágeno, promoviendo la expulsión de la CK citosólica como parte de un mecanismo de regulación de la disrupción metabólica y/o mecánica de las células musculares, previniendo la falla muscular causada por daño acumulativo relacionada a los mecanismos de fatiga; lo que explicaría la aparición de la CK sérica después del ejercicio físico, estando en oposición al daño estructural derivado del trauma muscular¹⁹¹. Aun cuando este planteamiento es concreto, la relación de la CK con los procesos de perturbación de energía muscular no ha conseguido evidencia más definitiva¹⁹¹ y se sigue considerando que altos niveles de CK están estrechamente asociados con daño celular, disrupción de las células musculares o enfermedad y es potencialmente útil para identificar un estado de daño muscular reciente¹⁷⁸, así como diversas aplicaciones en el ámbito deportivo¹⁹³. La CK alcanza su máximo nivel aproximadamente a las 24 horas después de un EF intenso, pudiendo permanecer elevados hasta 7 días después al ejercicio¹⁸⁵; en su valoración debe considerarse que la concentración de ésta es mayor en deportistas que en no deportistas y además no tiene el mismo comportamiento en practicantes de diferentes deportes¹⁹⁴.

A medida que los marcadores de daño muscular se liberan a la circulación, a nivel tisular, las células inmunes nativas residentes o locales examinan el lugar de la lesión y se diferencian en macrófagos pro-inflamatorios maduros que fagocitan, despejan los residuos y degeneran los restos del tejido dañado. Los macrófagos activados también liberan una serie de factores de crecimiento, citoquinas y otras moléculas de señalización que promueven el proceso inflamatorio reclutando otras células necesarias para la regeneración del músculo esquelético, diferenciándose con funciones reparativas. Con el avance de la inflamación, los macrófagos

desempeñan un papel en la recuperación¹⁹⁵ y toman un perfil anti-inflamatorio, liberando diferentes factores de crecimiento, citoquinas, y sus efectos cambian al estimular la progresión de la reparación tisular. El proceso de regeneración del musculo esquelético depende del balance entre factores pro inflamatorios y anti-inflamatorios¹⁹⁶. Los biomarcadores sanguíneos que indican actividad pro-inflamatoria de los macrófagos incluyen liberación de factores de crecimiento y citoquinas; éstas a su vez tienen numerosas y diversas funciones, por lo que se hace difícil usarlas como medición directa de inflamación, sin embargo, ésta se puede evaluar al comparar diferentes muestras de un individuo y compararlas con una línea de base de este, y así, observar sus modificaciones y establecer rangos de referencia individuales de normalidad, especialmente cuando se usan en deportistas, dado que los valores de referencia de los biomarcadores comúnmente son para población en general. Las citoquinas que habitualmente se consideran pro-inflamatorias son: IL-1 β , TNF- α , IL-6, IL-10, IL-8 e IL-12p40. Paralelo a estos procesos, los hepatocitos producen una respuesta de fase aguda liberando proteínas reactantes que desencadenan una respuesta de inflamación sistémica que moviliza al tejido vascular, la respuesta inmune sistémica, la función endocrina y una participación multiorgánica que retroalimenta positivamente la inflamación. Las proteínas reactantes de fase aguda que se miden habitualmente incluyen a la Proteína-C Reactiva (PCR), el amiloide A sérico, la selectina E, el factor de disfunción endotelial (Von Willebrand), el inhibidor del activador del plasminógeno 1, fibrinógeno, selectina P y citoquinas inflamatorias¹⁸⁵. La PCR aumenta después del ejercicio vigoroso¹⁹⁷ y se correlaciona directamente con la inflamación sistémica¹⁹⁸, haciéndose presente a nivel sanguíneo en cuadros de inflamación aguda, infección o lesión de un tejido, siendo liberada desde el hígado en respuesta a la elevación de la IL-6, su papel fisiológico es la eliminación del material infeccioso o necrótico¹⁹⁸. El ejercicio físico intenso y agudo se acompaña de respuestas similares a estas, donde un aumento relativamente pequeño de los niveles plasmáticos de IL-6 induce aumentos de otras citocinas antiinflamatorias IL-1 e IL-10 y la PCR¹⁹⁹, ésta a su vez, pareciera modificarse en función de la intensidad del ejercicio²⁰⁰. Estas repuestas son coherentes con la sintomatología

del DMIE, donde por lo general, se produce el DOMS y el peak de inflamación entre 1 y 2 días después de una sesión de ejercicios de fuerza²⁰¹. Habitualmente la PCR se usa como marcador clínico de riesgo cardiovascular, y en relación a potenciales adaptaciones a consecuencias del entrenamiento, se ha demostrado que disminuye cuando se entrena con ejercicios de tipo cardiorrespiratorio, de fuerza o combinados, logrando un mayor impacto cuando se alcanza una disminución en el índice de masa corporal (IMC) o % de masa grasa²⁰²; no obstante Michigan et al.¹⁹⁸ han indicado que el tipo de ejercicio y entrenamiento pueden tener variados efectos en la PCR, sin demostrarse una explicación fisiológica clara entre IL-6, PCR y DMIE en ejercicios de fuerza²⁰⁰, requiriendo más investigación al respecto.

2.10 Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo

Corresponde a la utilización del EF con baja intensidad (20-30% 1RM) combinada con restricción parcial del flujo sanguíneo a nivel muscular (RPFS)⁴⁹ es una metodología interesante que ha demostrado efectos positivos en el rendimiento físico o fisiológico, y que no han sido observadas previamente con un estímulo e intensidad de carga potencialmente baja, que incluyen adaptaciones óseas²⁰³, vasculares^{204,205} y rendimiento cardiometabólico²⁰⁶; especialmente logra una dosis/efectividad en las respuestas fisiológicas y adaptaciones musculares orientadas al desarrollo de la fuerza e hipertrofia, no obstante difiere de las recomendaciones y dosificación de carga indicadas por el ACSM⁵⁰. Este tipo de entrenamiento logra producir adaptaciones musculares equivalentes al EF de alta intensidad⁵⁴ o mayores comparado con el ejercicio de baja intensidad sin RPFS⁵⁵. Sus mayores efectos se han demostrado en el desarrollo de la fuerza e hipertrofia muscular^{51,55}. En esta modalidad de entrenamiento se trabaja con intensidades inferiores al EF tradicional de alta intensidad, pero además con menor número de repeticiones que el EF de baja intensidad, logrando un menor volumen total de carga (Kg x repeticiones) y duración en la sesión de entrenamiento (tiempo total de series y pausa) que ambos tipos de EF tradicional⁶⁰⁻⁶³.

2.10.1 Poblaciones que han obtenido beneficios con el entrenamiento con RPFS.

Diversos grupos con características particulares han obtenido resultados prometedores con la combinación de ejercicio y RPFS: adultos mayores⁷², personas en rehabilitación musculo esquelética⁷³, usado en la prevención de atrofia muscular en un proceso de inmovilización⁷⁴, mujeres postmenopáusicas⁶⁶, jóvenes saludables^{75,76} o deportistas de diferente nivel^{59,77,78}.

2.10.2 Bases fisiológicas y condicionantes en la prescripción del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo

Los mecanismos que explican estas adaptaciones con el EF con RPFS no están plenamente definidos, se sugiere que la tensión mecánica y el estrés metabólico son los mecanismos primarios de estímulo; estos a su vez, mediarían otras respuestas, que conjuntamente, potencian e inducen hipertrofia muscular²⁰⁷ y FM a consecuencia de los ejercicios de fuerza. El estrés metabólico se relaciona con la acumulación de metabolitos, como el lactato, hidrogeniones (H⁺), el fósforo inorgánico que acidifican el medio celular; este cambio de pH intramuscular se relaciona directamente con la hipertrofia muscular posterior a un periodo de EF de baja intensidad con RPFS²⁰⁸. En cambio, la tensión mecánica se logra mediante la generación de fuerza y el estiramiento muscular²⁰⁷, que facilitan el aumento de la síntesis proteica, a través de la señalización de vías²⁰⁹ y/o la activación y proliferación de células satélite²¹⁰. La literatura no es concluyente en cuanto a estos mecanismos; diversas revisiones sobre la metodología indican que las principales respuestas fisiológicas o mecanismos que explicarían estas adaptaciones son el reclutamiento preferencial o adicional de fibras musculares rápidas, una mayor duración de la acidosis metabólica derivada de la retención y acumulación de H⁺, alteraciones en las deformaciones contráctiles y mecánicas en el sarcolema bajo los manguitos, las adaptaciones metabólicas del sistema glicolítico, la producción de especies reactivas de oxígeno, la hiperemia reactiva posterior a la presión externa del manguito y la activación de las células satélite²¹¹. Otra reciente revisión

plantea como posibles mecanismos adaptativos del entrenamiento con RPFS el aumento del estrés metabólico, del reclutamiento del tipo fibra muscular, de la hormona de crecimiento, de la señalización de las vías mTOR, de las proteínas de choque térmico y de la enzima óxido nítrico sintasa, junto a la disminución de la oxigenación muscular y de la actividad de la miostatina²¹². El proceso de hipertrofia muscular incluiría de forma exclusiva a la respuesta hormonal que compromete a la hormona de crecimiento (GH), al factor de crecimiento tipo 1 (IGF-1) y la testosterona; los patrones de señalización intracelular (mTOR y miostatina) y la actividad de las células satélites, y al reclutamiento en el tipo de fibra⁴⁰. Finalmente, se ha propuesto un mecanismo propio del desarrollo de la FM, esto dado que no necesariamente se produce un cambio en el trofismo muscular en conjunto a la FM, donde probablemente los cambios en ella se deban a algo más que el crecimiento muscular²¹³, se plantea que habría una modulación en la excitabilidad de la corteza motora²¹⁴, facilitando ganancias en la FM, independiente del trofismo muscular. Pearson y Robiul⁶⁴, ponen como premisa que dentro de los estímulos del EF el estrés metabólico desempeña el papel dominante por sobre la tensión mecánica, aunque ambos actuarían sinérgicamente produciendo respuestas secundarias, provocando una estimulación de la síntesis proteica con aumento de la vía de señalización anabólica y/o disminución de la vía catabólica (acción autocrina), y una mayor activación, proliferación y fusión de las células satélites (acción paracrina), propias del desarrollo muscular, donde la modalidad e intensidad del ejercicio seleccionada favorecen la acción de uno u otro mecanismo para inducir hipertrofia muscular, ya sea de forma aditiva o sinérgica.

Aun cuando no existe un consenso sobre cuál de estos mecanismos es responsable de las principales adaptaciones producidas por el entrenamiento con RPFS, es probable que todos contribuyan directa o indirectamente; en esto los investigadores que han abordado este tipo de entrenamiento han aportado en el conocimiento de las respuestas y adaptaciones que se producen regularmente, pero la información aun es especulativa y no definitiva. La Figura 2 resume los potenciales mecanismos que aumentan la FM y trofismo muscular, así como los

factores que inciden en la prescripción del ejercicio relacionado con esta modalidad de entrenamiento.

1. Estímulo del entrenamiento	Tensión mecánica – Tensión metabólica							
2. Adaptaciones del entrenamiento con RPFS	Aumento de la fuerza y trofismo muscular							
	Aumento del trofismo muscular							
3. Respuestas fisiológicas y potenciales mecanismos que aumentan la FM y trofismo	Respuesta hormonal (↑) GH IGF1 Testosterona	Vías intracelulares de señalización de síntesis proteico ↑mTOR ↓Miostatina	Acumulación metabólica ↑lactato ↑H ⁺ ↓pH	Cambio en el patrón de reclutamiento ↑ actividad fibras tipo II	Actividad (↑) de células satélites	↑Hinchazón de célula muscular	Otros mecanismos ↑ERO ↑HSP ↑NOS	Excitabilidad córticomotora aguda
ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN PARCIAL DEL FLUJO SANGUÍNEO								
4. Factores que inciden en el E° con RPFS	Factores propios de la prescripción del ejercicio				Factores intrínsecos al ser humano			
	PRESIÓN DE RESTRICCIÓN				<ul style="list-style-type: none"> Tamaño de la extremidad Grosor del tejido muscular y adiposo Edad Factores de estilo de vida Tamaño de los vasos sanguíneos 			
	Tipo de material de los manguitos	Aplicación de los manguitos	Rango de presión de restricción	% de Intensidad de carga del ejercicio con RPFS	<ul style="list-style-type: none"> Perímetro de la extremidad 		<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de fuerza actual 	
5. Tipos de E° con RPFS	<ul style="list-style-type: none"> %1RM Masa corporal Bandas elásticas 				<ul style="list-style-type: none"> Circuito y concurrente Cardio respiratorio: c/ %FCR - %VO2max Electroestimulación 			
6. Potenciales riesgos	<ul style="list-style-type: none"> Definir previamente potenciales riesgos de los usuarios Observar las respuestas de tipo perceptivo durante el entrenamiento 							

Figura 2. RPFS: potenciales mecanismos que aumentan la fuerza y trofismo muscular, factores que inciden en la prescripción del ejercicio y métodos de entrenamiento comúnmente usados. GH: Hormona del crecimiento; IGF1: Factor de crecimiento insulínico tipo 1; mTOR: Diana de rapamicina, H⁺: Hidrogeniones, ERO: Especies reactivas de oxígeno; HSP: Proteínas de choque térmico; NOS: Óxido-nítrico sintasa; RM: Repetición máxima; FCR: Frecuencia cardiaca de reserva, VO2max: Consumo máximo de oxígeno.

Los estudios realizados con RPFS, principalmente indican que bajo la instalación del manguito de restricción en las extremidades y distal a ellos el estrés metabólico se ve aumentado porque se generaría una condición de hipoxia^{215,216} o isquemia⁶², donde ambas condiciones generan aumentos significativos en las concentraciones de lactato sanguíneo comparado con el mismo ejercicio sin RPFS. Desde ahí parten las demás respuestas potencialmente inductoras de las adaptaciones ya mencionadas.

1. Respuesta hormonal: la acidosis intramuscular estimula los metaboloreceptores y genera un aumento de la actividad en la vía simpática mediada por las fibras aferentes III y IV²¹⁷, estimulando el eje hipotálamo-hipofisario, facilitando la liberación de la GH, la que activa a IGF-1 hepático y el mecanofactor de crecimiento (MGF)²¹⁸, provocando por parte de la primera un efecto anabólico y mitogénico, que contribuye en la síntesis proteica e hipertrofia muscular; en cambio, el MGF facilitaría la reparación tisular del músculo post-estrés mecánico del EF¹⁷⁰. El IGF-1 también tendría relación con las células satélites (CS) del músculo, estimulando, proliferando y fusionando estas con las fibras musculares existentes²¹⁹. Finalmente, la testosterona aumenta luego de un EF, lo que induciría síntesis proteica y disminución de la proteólisis muscular²²⁰, y además, potenciándose indirectamente con la GH, IGF-1 y MGF, y participando como mediador en la activación y proliferación de las CS¹⁷⁰.
2. Vías de señalización intramuscular: la hipertrofia muscular se produce por la integración de la síntesis y degradación proteica, dadas principalmente por las vías de mTOR y la miostatina, respectivamente.
 - a. mTOR: la síntesis proteica se logra activando la vía de señalización IGF1-PI3K-Akt/PKB-mTOR, desde su activación mTOR forma dos complejos mTOR complejo 1 (mTORC1) y mTOR complejo 2 (mTORC2), desde mTORC1 se estimula a sus efectores 4E-BP1 y S6K1, los cuales generan la síntesis proteica²²¹. El ejercicio de fuerza al 20% 1RM con RPFS de 200 mm Hg de presión de restricción, ha mostrado que estimula la vía de señalización de mTOR^{222,223}, no obstante existen otros factores de modulación que deben indagarse en mayor profundidad.
 - b. Miostatina: es producida por el músculo esquelético y considerada un regulador negativo de la hipertrofia muscular²²¹, por lo que cualquier disminución en la expresión de la vía miostatina-Smad3 indicaría un aumento de la señalización en la hipertrofia muscular. Esta condición se ha observado en ejercicios de fuerza con RPFS²²⁴, y se ha asociado con el aumento de la masa muscular y la FM después de 8 semanas de EF con RPFS (20% 1RM a 95 mm Hg)⁵⁴.

3. Acumulación de metabolitos: la disminución de oxígeno durante el ejercicio de baja intensidad modificaría el metabolismo, suponiendo un paso desde el metabolismo oxidativo al anaeróbico²²⁵, con el consiguiente aumento de H⁺ y lactato, la acumulación muscular de los primeros inhibiría la liberación de calcio del retículo sarcoplasmático, evitando la contracción muscular e induciendo fatiga. Paralelo a esto, la compresión de los manguitos provoca una disminución del retorno venoso, favoreciendo la acumulación de estos metabolitos en el músculo durante el entrenamiento y en el torrente sanguíneo, luego de concluido^{211,225}.
4. Cambio en el patrón de reclutamiento de las fibras musculares: saliendo del principio del tamaño de reclutamiento progresivo de fibras musculares¹⁷² utilizado en EF tradicional, por un reclutamiento anticipado de las fibras rápidas en ejercicios de fuerza de baja intensidad; condición atribuida a la fatiga muscular²¹¹ inducida por la acumulación metabólica y condición hipóxica. La activación anticipada de las fibras rápidas es crucial para lograr una hipertrofia muscular significativa²¹¹.
5. Actividad de las células satélites: estas se ubican entre la lámina basal y el sarcolema, y al ser activadas, proliferan y se diferencian, pudiendo tomar dos destinos: fusionarse con fibras musculares dañadas y colaborar en su reparación, induciendo hipertrofia muscular; o fusionarse entre sí²²⁶, la hipertrofia a largo plazo debe ir acompañada de adición mionuclear de material genético que permita la traducción de proteínas que proviene de las CS¹⁷⁰. El aumento de las CS se ha observado en la respuesta aguda²²⁷ y crónica en el EF con RDFS²²⁸, y se han relacionado a la producción de óxido nítrico (NO)²¹⁰ e inflamación celular²²⁹. No obstante, algunos resultados contradictorios de otros marcadores relacionados a las CS²³⁰ sugieren mayor investigación.
6. Aumento del volumen celular (hinchazón): la aplicación del manguito reduce el flujo sanguíneo arterial y ocluye el flujo venoso, lo que inicia distal a esta aplicación la acumulación sanguínea en la extremidad; al mantenerse esta condición se produce un gradiente hidrostático, que conduce el líquido hacia las células musculares, incrementando su volumen o “hinchándola”, y regulando la

señalización de balance proteico²¹³. Se puede producir inflamación celular mediante una combinación de acumulación de sangre y metabolitos e hiperemia reactiva luego de la eliminación de la RPFS, lo que puede contribuir a las adaptaciones musculo-esqueléticas²²⁹. De forma aguda al comparar EF con RPFS vs EF de alta intensidad (80% 1RM) se ha observado un aumento de volumen celular y disminución de volumen plasmático post ejercicio similar entre ambos tipos de entrenamiento, pero que retorna a su condición basal a las 24 horas²³¹.

7. Excitabilidad corticomotora: donde existiría una modulación en la corteza motora mediado por una retroalimentación sensorial de acción simpática de las vías aferentes III y IV²¹⁴.
8. Otros mecanismos:
 - a. Especies reactivas de oxígeno (ERO): su presencia se relaciona con la respuesta inmune e inflamación que sigue al DMIE posterior al ejercicio, su aumento se relaciona con el aumento de proteínas de choque térmico, las cuales se relacionan con la hipertrofia y metabolismo energético²²⁵. No obstante, la producción de ERO durante el ejercicio con RPFS es menor comparado solo con el efecto mecánico del ejercicio de alta intensidad⁶⁴.
 - b. Proteínas de choque térmico (HSP): son proteínas citoprotectoras que responden a situaciones estresantes a nivel celular, y desempeñan un papel esencial en la protección de las células del estrés, preparándolas para sobrevivir ante nuevos desafíos ambientales, incluida una respuesta inmunitaria. Las alteraciones inducidas por el ejercicio, como el cambio térmico, el estrés oxidativo y metabólico, y la presencia de citoquinas en el musculo, parecen ser los responsables de la respuesta de la HSP al ejercicio²³², facilitando los procesos de remodelación celular inherentes al entrenamiento²³³. Las HSP se clasifican en familias (HSP propiamente tal) y proteínas específicas (hsp), y particularmente en estas últimas se induce su traducción por hipertermia, lesión por isquemia-reperfusión, hipoxia, agotamiento de energía, acidosis y formación de EROs, todos

estímulos asociados al ejercicio²³⁴. Su presencia durante el ejercicio varía en función del modo de éste (cardiorrespiratorio o de fuerza), intensidad, duración, presencia de DMIE, grupo muscular examinado, tipo de HSP medido y las diferencias en las características de los sujetos (estado de entrenamiento, niveles de actividad física, estado nutricional, edad, sexo, etc.)²³³. Respecto al ejercicio con RPFS existe información paradójica, posterior a una sesión de ejercicios, en sujetos sanos se ha observado que puede aumentar la expresión de HSP en las fibras musculares e inducir la translocación de las HSP a las estructuras del citoesqueleto²³⁵, en cambio en adultos mayores no se observó modificaciones en la HSP, sin embargo sí hubo mejoras en la señalización de mTORC1 y síntesis proteica²²³.

- c. Óxido nítrico sintasa (NOS): su rol es producir NO, donde tanto la realización de ejercicio en forma aguda como crónica son factores desencadenantes de la NOS y sus isoformas²²⁵, así al aumentar el NO junto a otros metabolitos, también lo haría la redistribución del flujo sanguíneo²³⁶ y la actividad de las CS junto al estiramiento muscular propio del ejercicio²³⁷.

La coexistencia de síntesis proteica junto a la actividad de las CS²²⁷, puede apoyar la idea de una sinergia entre los diversos mecanismos descritos y contribuyen a las adaptaciones hipertróficas⁶⁴ y de FM del EF con RPFS²¹⁴.

2.10.3 Factores relacionados al uso de RPFS y la prescripción del ejercicio.

2.10.3.1 Recomendaciones para el uso de dispositivos de RPFS.

La técnica que utiliza la RPFS consiste en aplicar un manguito tipo torniquete en la(s) extremidades y presurizarlo con un dispositivo que restringe, pero no ocluye completamente el flujo de sangre arterial hacia la extremidad durante el ejercicio²³⁸; la presión de restricción (PR) debe ser lo suficientemente alta para ocluir el retorno venoso desde los músculos, pero lo suficientemente baja como para mantener el flujo arterial^{51, 239}.

La preocupación en torno al uso de RPFs se relaciona con el equipo que se use, en particular el ancho del manguito, y la PR utilizada, ya sea en su forma de determinación, o en la PR final aplicada durante el ejercicio⁷⁹, por ello determinar la correcta PR es de gran importancia, donde su intensidad debe ser individualizada para cada participante y se deben considerar diversos factores a la hora de ajustarla. Aunque es escasa la aparición de daño con este tipo de entrenamiento, la incorrecta determinación de la presión oclusiva puede derivar en hemorragias subcutáneas y entumecimiento local²¹¹.

2.10.3.2 Variables de restricción.

Estas involucran el tipo de dispositivo que genera la PR, material y ancho del manguito de restricción, la PR propiamente tal y el perímetro de la extremidad.

2.10.3.3 Tipos de dispositivos.

Estos se ubican en la porción proximal de las extremidades y se pueden distinguir los dispositivos automáticos, esfigmomanómetros neumáticos, bandas elásticas o de nylon. Los dispositivos automáticos como el *Kaatsu Master®* y *Kaatsu Nano®*²⁴⁰, tienen la ventaja de ser precisos en el manejo de las presiones para alcanzar el nivel de restricción deseado, permiten además guardar registros de pacientes, sesiones, presiones utilizadas, tiempo de entrenamiento con RPFs, tiempo de llenado capilar y tipo de ejercicio realizado; sin embargo, son costosos, especialmente cuando se desea intervenir de forma simultánea a un grupo numeroso. Los esfigmomanómetros²⁴¹⁻²⁴⁴ también se consideran una alternativa viable para alcanzar los objetivos de aumento de fuerza y trefismo muscular, teniendo también la posibilidad de objetivar la PR. Otra alternativa son las bandas elásticas^{65, 245}, donde la determinación de la PR se realiza en base a criterios clínicos, como dolor y/o entumecimiento, lo que ha generado cuestionamientos, ello ha llevado últimamente a buscar estandarizar la PR de forma más objetiva²⁴⁶; su principal ventaja es lo reducido de los costos de implementación. Las bandas de nylon son inelásticas, su aparición comercial es reciente, desconociéndose sus características y aplicaciones en estudios experimentales.

2.10.3.4 Tipo de material y el ancho del dispositivo de restricción.

Se ha demostrado que manguitos o cinturones de nylon producirían un estímulo similar al de los cinturones elásticos de 5 cm. al ser inflados a la misma presión, tanto en reposo como en ejercicio, por lo que las diferencias de presión necesarias para producir RPFS, se deberían principalmente al ancho del manguito y no al material de éste²⁴⁷. Los anchos de los dispositivos son variados en cuanto a tamaño, para extremidad inferior se han reportado de 4,5 a 18 cm. y para extremidad superior de 3 a 12 cm., esto es relevante, pues los dispositivos anchos restringen el flujo sanguíneo a presiones menores comparado con los dispositivos más angostos^{248,249}, así, usar dispositivos más anchos a menores PR reduciría los efectos deletéreos de la compresión y las fuerzas de cizalla en los tejidos blandos²⁵⁰. Estas observaciones indican que los dispositivos anchos serían una mejor elección para cumplir con el requerimiento de RPFS a PR que representen un menor riesgo, no obstante los dispositivos más anchos producirían mayor grado de molestia y percepción del esfuerzo que los dispositivos más angostos, incluso en extremidad superior podría interferir con la realización del ejercicio, aunque para este segmento se requiere menor PR y se podría recomendar el uso de un dispositivo más angosto²⁴⁸. Dado estos antecedentes, la elección del ancho debe ser cuidadosa e individualizada.

2.10.3.5 Presión de restricción.

La determinación de la PR ha pasado por diferentes formas de estandarización y sigue constituyendo un desafío en lograr un consenso. Las primeras investigaciones sobre los beneficios del entrenamiento con RPFS utilizaron PR sobre los 200 mm Hg, llegando incluso a 300 mm Hg., pero actualmente se acepta que la PR debe ser lo suficientemente alta para restringir el retorno venoso desde los músculos, pero lo suficientemente baja como para mantener el flujo arterial^{51, 239}, por lo que no debiera aplicarse universalmente una PR absoluta, sino que debe adaptarse a cada individuo.

Se han observado diversas formas de aplicar la PR, pasando presiones fijas (ej. 100 mm Hg en extremidad superior)⁶², con un porcentaje de presión sistólica

(PS) o diastólica (PD), al 130% PS de reposo²⁵¹, o al 130% de la PD²⁵², o estimando la PS de la pierna, basándose en que la PS en reposo normal de las piernas es aproximadamente un 20% más alta que la PS de los brazos, y usando una PR de un 20% mayor a la PS estimada de piernas, usando la ecuación: $PR \text{ (mmHg)} = (PS \text{ de brazo} \times 1.2) \times 1.2^{253}$; sin embargo no hay evidencia que sugiera que estas modalidades proporcionen una buena estimación para las PR de extremidad inferior, especialmente por la gran diferencia de perímetro entre ambas extremidades superiores e inferiores, las características de estos segmentos y las propias de los individuos; también se ha observado que manguitos más anchos inducen una mayor respuesta cardiovascular que los manguitos más angostos²⁵⁴. Otro diseño incorpora una ecuación para definir la PR considerando las variables de PS y perímetro de muslo (PerMus), utilizado en un estudio con adultos mayores con osteoartritis de rodilla para mejorar la función física²⁴⁴, esta corresponde a $[(0,5 \times PS) + (2 \times \text{PerMus}) + 5]$. La determinación de la PR utilizando bandas elásticas como dispositivo de restricción se dificulta por el grado de subjetividad en las respuestas perceptivas, pues se sugiere realizar ejercicio con una compresión de “7 – presión moderada – no dolorosa” en una Escala de Percepción de Presión de 0 a 10 (0 = sin presión – 10 = presión extrema con dolor), donde este valor correspondería a la oclusión del retorno venoso sin detención del flujo arterial⁸², pero como ya se mencionó, este método ha sido cuestionado por otros investigadores, pues no han encontrado diferencias en las puntuaciones obtenidas por la escala, aún en presiones diferentes⁵¹. Una última investigación sugiere basarse en la longitud inicial de la correa y su deformación, que está relacionada con la circunferencia del brazo²⁴⁶. Estos métodos utilizaron PR arbitrarias y potencialmente excesivas, y no tienen en cuenta las diferencias individuales en el tamaño de la extremidad (masa muscular y adiposa), la vascularización y presión arterial, que pueden disminuir la eficacia de la RPFS y provocar un problema de seguridad en la aplicación de la PR, al ser excesivas⁷⁹.

Ello ha significado que se implemente la RPFS como un porcentaje de la presión de oclusión personalizada o individual, definida como la presión mínima requerida para detener el flujo de sangre arterial hacia la extremidad distal al

brazalete²³⁸, para ello se debe determinar la máxima presión de oclusión de la extremidad (LOP, del inglés maximal limb occlusion pressure), y utilizar un protocolo junto a un ultrasonido Eco Doppler que se mide en reposo previo al ejercicio²⁵⁵, usando el mismo manguito que posteriormente se utilizará durante el entrenamiento, y luego, la recomendación en cuanto a PR es entre el 40-80% de la LOP⁷⁹; una PR individualizada de aproximadamente el 50% de la LOP aumenta la actividad muscular electromiográfica, aumenta la inflamación muscular aguda post ejercicio y las respuestas de lactato sanguíneo⁵¹, también, cuando se usan diferentes anchos de manguito, pero a la misma PR individualizada (80%) no se observan diferencias en las modificaciones de la FM o masa muscular luego de 12 semanas de entrenamiento²⁵⁶. Aun así, se debe considerar las numerosas variables que influyen en la presión de oclusión personalizada, tales como: presión arterial y temperatura de la extremidad, características, posición y movimiento de las extremidades, técnica de aplicación de manguito, forma, anchura y longitud del manguito o presencia o ausencia de vejiga circunferencial y refuerzo interno del manguito²⁵⁷. Finalmente, sobre la duración que debe mantenerse la PR, la tendencia es mantenerla durante todo el tiempo que dure el ejercicio, incluyendo series y tiempos de pausas, esto sería más eficiente para incrementar el reclutamiento de fibras musculares de contracción rápida y el stress metabólico⁶⁵. Otros prefieren liberar la PR entre series, lo que permitiría algún grado de reperfusión muscular entre ellas²⁵⁰.

2.10.3.6 Perímetro de la extremidad

Aun cuando podría corresponder a un parámetro propio del ser humano, se considera dentro de los criterios a ajustar en la prescripción del ejercicio pues se ha observado que para alcanzar el mismo nivel de restricción las extremidades con mayores perímetros requieren PR más elevadas que las de menor perímetro^{248, 249}. En extremidad inferior se han sugerido PRs en relación al perímetro de muslo, utilizando dispositivos de 5 cm. de ancho y considerando el 1/3 superior y la equivalencia a un 60% de la presión de oclusión arterial, así para un perímetro de 45–50 cm se sugieren 120 mm Hg de PR; para 51-55 cm, 150 mmHg de PR; para 56–59 cm, 180 mmHg de PR y para >60 cm, 210 mmHg.⁵¹

2.10.4 Factores intrínsecos al ser humano a considerar previo a la prescripción del ejercicio con RPFS.

Se deben considerar diversos factores propios del ser humano y su condición de salud, los cuales deben indagarse en la anamnesis e historia clínica, relacionados con la edad, estilo de vida, tamaño de los vasos sanguíneos, tamaño de la extremidad (incluyendo el perímetro de ésta), grosor del tejido muscular y adiposo y capacidad actual para generar FM²⁵⁸. También se deben buscar potenciales contraindicaciones al ejercicio, las cuales se resumen en la tabla 2²⁵⁰.

Tabla 2. Posibles contraindicaciones del ser humano para usar protocolos con RPFS⁷⁹.

Enfermedad cardiovascular	Estilo de vida
<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedad coronaria • Hipertensión inestable • Enfermedad vascular periférica • Tromboembolismo venoso • Trastornos de la coagulación sanguínea • Condiciones cardiopulmonares • Vasos ateroscleróticos que causan mala circulación sanguínea. • Isquemia miocárdica silenciosa • Disfunción ventricular izquierda • Hemofilia • Disfunción endotelial vascular • Venas varicosas • Induración / Síndrome de Marfan 	<ul style="list-style-type: none"> • Años • Fumador • Masa corporal (Ej. Obesidad) • Embarazo • Diabetes mellitus no controlada • Dislipidemia • Deshidratación <p>Historial médico familiar</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trastornos de la coagulación • Anemia falciforme • Fibrilación auricular o insuficiencia cardíaca. • Cáncer
<p>Lesión musculoesquelética</p> <ul style="list-style-type: none"> • Traumatismo muscular reciente o lesiones por aplastamiento • Edema excesivo postquirúrgico • Fracturas abiertas • Lesiones abiertas de tejidos blandos. • Injerto de piel 	<p>Medicamentos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aquellos que se sabe que aumentan el riesgo de coagulación sanguínea

2.10.4.1 Tipos de entrenamiento con RPFS comúnmente aplicados

Las aplicaciones con RPFS se realizan en ejercicios localizados de fuerza y/o cardiorrespiratorios; a continuación, se describen los tipos de entrenamiento frecuentemente utilizados:

2.10.4.2 EF con porcentaje de 1RM.

Es el protocolo de entrenamiento más usado; para ello se determina previamente la FMax (1RM) durante una contracción concéntrica, midiéndola directamente o estimándola con alguna ecuación y luego, utilizando el principio de la sobrecarga, se aplica un porcentaje de 1RM con RPFS, empleando usualmente cargas del 20-50% 1RM⁵⁵ con ejercicios mono o multiarticulares para cualquiera de las extremidades^{55,65}.

Existen diferentes protocolos de ejecución en cuanto a repeticiones, pausas y tiempo total de trabajo, pero todos buscan lograr la fatiga muscular, generando un entorno metabólico que permita las adaptaciones fisiológicas. Diversos trabajos analizan y resumen las características de este tipo de entrenamiento, indicando realizar 2-3 sesiones semanales, compuestas de 3-5 series, generalmente distribuidas en 3-4 series de 30 repeticiones, 3-4 series “al fallo”, o 1 serie de 30 repeticiones, más 3 series de 15 repeticiones, con ritmos de ejecución de 2 segundos concéntrico: 2 segundos excéntrico, pausas entre series de corta duración (30-90 segundos), con una duración de la sesión de restricción en torno a los 15 minutos, la compresión durante la sesión suele ser continua, aunque existe la posibilidad de reducir o eliminar la restricción durante el descanso entre series^{55,65,259}.

2.10.4.3 EF con bandas elásticas.

Las bandas elásticas (ejemplo: *Theraband*®) son un elemento de uso común en programas de rehabilitación o *fitness*, permiten la realización de ejercicios funcionales con una carga externa, la cual es aplicada por la tensión que genera la deformación elástica de la banda; existen diversos colores y grosores de progresión y es posible disponer de variadas longitudes. El EF con bandas elásticas se puede complementar utilizando una escala de percepción subjetiva del esfuerzo (PSE)²⁶⁰,

para ello se pide a los ejecutantes, mientras desarrollan un ejercicio, un determinado nivel de puntuación (ejemplo 6 en una escala de 0 - 10) para un número determinado de repeticiones o series, de forma de replicar la sensación serie a serie, o sesión a sesión²⁶¹. La percepción de los sujetos permitirá implementar un cambio de color a una resistencia mayor o acortar la longitud de la banda a una PSE mayor a medida que progresa el entrenamiento.

El EF con bandas elásticas y RPFS se ha realizado con adultos mayores, comparando los efectos de entrenar con moderada a alta intensidad sin RPFS vs baja intensidad con RPFS durante 8 semanas, con ejercicios de extremidad superior, concluyendo que ambos tipos de entrenamiento produjeron aumentos similares en la fuerza, la masa muscular total y grosor muscular⁶⁶. Otro trabajo que utilizó la misma intensidad de entrenamiento con y sin RPFS concluyó que el ejercicio con banda elástica y RPFS mejora el área transversal (17,6% en músculos flexores y 17,4% en músculos extensores de codo) y la FMax de los músculos flexores y extensores del brazo (7,8% y 16,1%, respectivamente), no afectando negativamente la rigidez arterial en los AM²⁶².

2.10.4.4 Entrenamiento en circuito y concurrente.

Existe evidencia que apoya el uso de la RPFS en el entrenamiento cardiorrespiratorio con resultados en la mejora de la fuerza, pero con menor impacto comparado con el EF al 20-30% 1RM con RPFS^{68, 243}. Por otro lado, la combinación de RPFS con el ejercicio aeróbico puede producir mejoras en el rendimiento y aptitud aeróbica en diversas poblaciones, independientemente de la intensidad del entrenamiento²⁶³.

El entrenamiento en circuito de alta intensidad utiliza el PC como resistencia, combina el entrenamiento aeróbico y de fuerza en una sola sesión de ejercicios²⁶⁴, ofreciendo numerosos beneficios para la salud²⁶⁵ y en mucho menos tiempo que los programas tradicionales. Un estudio que evaluó la efectividad de dos programas de 8 semanas, comparando un circuito con RPFS vs otro basado en ejercicio dinámicos de balance en adultos mayores sanos, encontrándose mejoras generales de ambos grupos en el rendimiento físico y balance, sin diferencias entre

ellos, no obstante la FM en las extremidades inferiores fue significativamente superior en el grupo con RPFS⁶⁷.

El entrenamiento concurrente consiste en entrenar la FM y la capacidad cardiorrespiratoria dentro de un mismo ciclo de entrenamiento²⁶⁶. Utilizando esta metodología se comparó el mismo protocolo con y sin RPFS, obteniendo mejoras significativas en el VO₂peak (10.3%) después de 12 semanas, aunque sin diferencias significativas en relación al grupo sin RPFS²⁴².

EF con electroestimulación (EE).

Esta alternativa permite combinar la EE y la RPFS, con el fin de evitar la pérdida o aumentar la FM o trofismo, y podría ser útil aplicándolo en un proceso de post-cirugía, con inmovilización o lesión de nervio periférico. Al comparar el trofismo y FM de cuádriceps de una extremidad con EE y RPFS vs la otra solo con EE en jóvenes no entrenados dos veces al día durante dos semanas, se observó que incluir la RPFS junto a la EE, se indujo hipertrofia y FM (isométrica e isocinética) en la extremidad entrenada; en cambio en la otra sólo hubo un efecto insignificante en la fuerza isométrica²⁶⁷. Esta estrategia también se utilizó en lesionados medulares, con entrenamientos durante seis semanas en dos sesiones por semana, aplicando EE junto a RPFS en el antebrazo derecho (30% sobre la PS en reposo), mientras que el antebrazo izquierdo recibió solamente EE, concluyendo que la FM y trofismo de los extensores de muñeca y la función de la mano puede mejorar con la inclusión de ambas estrategias, pero además, de forma aguda, puede mejorar la dilatación del diámetro arterial de la arteria braquial, lo que puede relacionarse parcialmente con la hipertrofia muscular observada²⁶⁸. Finalmente, en un diseño experimental más complejo, con veinte sujetos activos recreativamente, se le asignó una extremidad a uno de cuatro grupos de intervención posibles: (1) con RPFS, (2) EE, (3) RPFS+EE y (4) control, siendo intervenidos en sus cuádriceps durante 32 minutos, cuatro días a la semana durante seis semanas. Curiosamente, la FM aumentó 32 (19) kg en el grupo RPFS+EE, que difería significativamente del grupo de control. Pero además los grupos de solo RPFS o solo EE, si bien incrementaron su FM, no difirieron estadísticamente del control, o entre sí²⁶⁹.

2.10.4.5 Entrenamiento con ejercicios cardiorrespiratorios.

La implementación de ejercicio cardiorrespiratorio con RPFS utiliza cintas motorizadas (*treadmill*) o cicloergómetro, utilizando cargas mecánicas absoluta (km/hr) o relativa (Frecuencia Cardiaca de Reserva - FCR), con modelos de ejercicio continuo o fraccionado, los cuales se han aplicado en diferentes poblaciones tales como jóvenes, deportistas, obesos y adultos mayores de ambos sexos. En estos últimos, los protocolos comúnmente comparan el ejercicio con y sin RPFS, siendo realizados en *treadmill* durante 20 minutos de forma continua a una velocidad de 67 mts/min (4km/hr)⁶⁸, o a una intensidad relativa del 45% de la frecuencia cardiaca de reserva (FCR)⁶⁹⁻⁷¹; y las diferencias se dan según los períodos y frecuencia semanal de entrenamiento, que van desde una vez al día, 5 días a la semana por 6 semanas⁶⁸, a 4 días por semana, durante 10 semanas^{69,70}. Las presiones de restricción durante los entrenamientos fueron de 140-160 hasta 200 mm Hg⁶⁸⁻⁷⁰ utilizado simultáneamente en ambas piernas. Los principales resultados del entrenamiento cardiorrespiratorio con RPFS indican mejoras significativas en relación a un grupo control en el aumento en la fuerza y tamaño muscular⁶⁸⁻⁷⁰, aumento en la capacidad funcional^{68,69}, mejora en la distensibilidad de la arteria carótida⁷⁰. En general, esta modalidad de ejercicio puede producir mejoras en el rendimiento y aptitud aeróbica en diversas poblaciones, independientemente de la intensidad del entrenamiento²⁶³.

2.10.5 Potenciales riesgos del uso del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo

La mayoría de las investigaciones han reportado una baja magnitud de riesgo en sesiones únicas o periodos de entrenamiento con RPFS, no obstante existen reportes aislados de casos de rabdomiolisis²⁷⁰, de oclusión central de la vena de retina²⁷¹ o de un presíncope neurocirculatorio por hipotensión, pero en condiciones simuladas de microgravedad (presión negativa en miembro inferior junto a RPFS)²⁷². Una encuesta nacional sobre seguridad y uso del ejercicio con RPFS realizada en 13.000 japoneses de 20-80 años con diversos niveles de condición física concluyó que es un método seguro y novedoso para entrenar

atletas, personas sanas, y potencialmente a individuos con diversas comorbilidades. Ahí se observó una baja incidencia de efectos colaterales en anemia cerebral: 0,277%; trombosis venosa: 0,055%; embolismo pulmonar: 0,008%; rhabdomiólisis: 0,008%; progresión en enfermedad isquémica miocárdica: 0,016%. Como efectos temporales observaron hemorragia subcutánea: 13,1%; adormecimiento: 1,297% o sensación de frialdad: 0,127%²⁷³. Aun cuando algunos de estos resultados pueden considerarse seriamente adversos, el estudio no informa sobre la condición médica subyacente de los encuestados y la ocurrencia de eventos adversos fue menor que la incidencia natural en todo el mundo, por lo que se hace difícil concluir que esos resultados fueron a consecuencia directa de la RPF⁷⁹. Patterson y Brandner⁴⁹, también evaluaron a 115 personas de amplio espectro etáreo, en grupos de 18-29, 30-39, 40-49, 50-59 y ≥60 años mediante un cuestionario, el 80% de ellos indicaron que el entrenamiento era “muy bueno o excelente” para mejorar la fuerza o durante la rehabilitación, no obstante la tasa de incidencia de efectos secundarios fue de 39,2% para el dolor muscular de aparición tardía, 18,5% para entumecimiento de extremidades, 14,6% para desmayos o mareos y 13,1% para hematomas, entre otros.

Brandner et al.⁷⁹, agruparon los efectos secundarios en respuestas de tipo perceptivo y potenciales riesgos. En las primeras están los desmayos; entumecimiento; esfuerzo percibido, dolor o incomodidad; DOMS y daño muscular, en todos los casos en que éstas se hayan visto elevadas, parece ser más una respuesta transitoria al ejercicio y no a la RPF. En el caso de los potenciales riesgos, ponen preocupación durante la prescripción del ejercicio en la hemodinamia, vascularización o eventos trombolíticos y en todos ellos hace mención en que existe poca evidencia que la RPF sea perjudicial en la aparición de estos eventos. Agrega además que en poblaciones especiales o clínicas no se han informado respuestas de riesgo en ensayos clínicos aleatorizados.

Reconociendo al entrenamiento con RPF como seguro, esta información refuerza la importancia de disponer previamente de información clínica y de salud de los participantes, incluyendo las posibles contraindicaciones al uso de RPF durante el entrenamiento (ver Tabla 2). Este proceso incluye realizar una correcta

evaluación de la condición general y física de los posibles candidatos a este tipo de entrenamiento, desarrollando una prescripción y técnica de aplicación cautelosa, considerando la PR final de restricción durante el ejercicio, la duración de ésta y el ancho de los manguitos de restricción⁷⁹, los cuales deben ser monitoreados continuamente durante su ejecución práctica.

La Tabla 3 resume potenciales riesgos fisiológicos estudiados con esta metodología, comparándola con ejercicios de fuerza sin RPFS. Vale la pena destacar, que aun cuando estos parámetros puedan manifestarse en diferentes magnitudes comparado con el EF tradicional, los cambios fisiológicos observados se encuentran dentro una normalidad al realizar ejercicio físico.

Tabla 3. Comparación de riesgo entre entrenamientos con RPFS y sin RPFS.

Parámetros	Entrenamiento con RPFS	Entrenamiento sin RPFS
Presión Arterial, Frecuencia Cardíaca y Doble Producto ^{251, 274}	↑↑	↑-↑↑
Flujo Sanguíneo Local ^{80, 275}	↑↑	↑
Resistencia Periférica Total ²⁵¹	=	=
Rigidez vascular periférica ²⁷⁶	=	=
Alteración en la Coagulación ^{223, 276-279}	=	=
Velocidad de Conducción Nerviosa ²⁷⁶	=	=
Daño Muscular ^{80, 82, 83, 215, 277, 278, 280}	↑=	↑↑
Estrés Oxidativo ^{280, 281}	↑=	↑↑=
Inflamación ^{83, 276, 282}	↑ =	↑↑ =

METODOLOGÍA

3 METODOLOGIA

De acuerdo a las características de la investigación, se llevaron a cabo dos experimentos, los cuales permiten obtener la información necesaria para responder a las hipótesis planteadas. A continuación, se describen cada uno de ellos.

3.1 Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.

3.1.1 Participantes

La selección de la muestra se realizó mediante muestreo por conveniencia. Los participantes fueron reclutados de población universitaria, invitados de forma pública mediante diferentes reuniones con el investigador principal y aceptando participar voluntariamente. Conocido los detalles y objetivos del estudio por parte de la población de interés, ofrecieron su participación treinta y tres voluntarios, en ese momento se les solicitó la firma del consentimiento informado (Anexo 1). El estudio es parte del proyecto titulado “Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”, y su aprobación fue concedida por la Comisión de Ética de la Universidad Mayor, Chile (Anexo 2). Para indagar en posibles restricciones o exclusiones para realizar ejercicio físico, a los treinta y tres participantes se le aplicó un cuestionario sobre su historial médico (Anexo 3), un cuestionario que cuantifica el nivel de actividad física: International Physical Activity Questionnaire – Short Version (IPAQ)²⁸³ (Anexo 4) y una evaluación en salud orientada a indagar sobre los criterios de exclusión.

Se aplicaron los siguientes criterios de inclusión:

- ser deportista recreacional, acorde a la normativa vigente en Chile²⁸⁴
- tener al menos 2 años de experiencia en entrenamiento.
- haber realizado ejercicios de fuerza al menos una vez por semana durante los últimos 3 meses

Por el contrario, los criterios de exclusión consideraban:

- ser deportista de rendimiento, acorde a la normativa vigente en Chile²⁸⁴,

- poseer alguna enfermedad cardíaca, circulatoria o metabólica o hipertensión arterial.
- presentar algún cuadro infeccioso o inflamatorio independiente de la causa,
- presentar lesiones ortopédicas o musculoesqueléticas.
- ser fumador o estar desarrollando algún tipo de dieta.

Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión se seleccionó la muestra, compuesta de 24 varones en condiciones de entrenar de acuerdo a las características programadas para los entrenamientos, quedando homogénea en cuanto a estado de salud, tensión arterial, nivel de actividad física e índice de masa corporal. De esta muestra, 22 participantes completaron el estudio exitosamente, las pérdidas se deben a dos retiros, uno por lesiones en un accidente de tráfico y otro por reiteradas inasistencias.

3.1.2 Tipo de diseño

La investigación es de tipo cuantitativo experimental, donde se comparan los resultados de dos intervenciones de entrenamiento. Los grupos se asignaron mediante aleatorización simple en función del nivel de FMax de los participantes (1RM en media sentadilla), los valores se ordenaron de mayor a menor y se distribuyó aleatoriamente en los grupos: EF con RPFS al 20% 1RM (20%R) y un EF tradicional sin RPFS, al 70% 1RM (70%T). En la Tabla 4 se resumen las características de los grupos de intervención.

Tabla 4. Características de la muestra (media (DS), según los grupos de entrenamiento

	N	Edad (años)	IMC (kg/mt ²)	PS (mm Hg)	PD (mm Hg)	IPAQ (mets/min-sem)
20%R	12	22.62 (1.37)	25.83 (1.98)	119.67 (7.08)	78.33 (6,43)	3081.33 (851.77)
70%T	10	21.14 (1.29)	24.77 (3.76)	118.80 (11.97)	76.20 (5,03)	3159.80 (1311.13)
	<i>p</i>	0.180	0.407	0.835	0.404	0.867

IMC: Índice de masa corporal; PS: presión sistólica; PD: presión diastólica; IPAQ: International Physical Activity Questionnaire

3.1.2.1 Aproximación al diseño experimental

Cada grupo completó un programa de EF distinto durante 12 sesiones, distribuidas en 4 semanas. Al iniciar y terminar el programa se midieron las variables de interés: 1RM en media sentadilla, MC, TV del SJ y CMJ y se calcularon la FR (1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio) y PSAP. Además, durante la recolección de datos se utilizó por parte del equipo de investigación una técnica de enmascaramiento simple ciego.

3.1.3 Variables de estudio.

3.1.3.1 Variables derivadas de la FMax y FR.

1. 1RM: como indicador de FMax, corresponde a la resistencia máxima levantada en kg.; para medirla se siguió el protocolo de Brown y Weir²⁸⁵ con el ejercicio de media sentadilla en la prensa Smith. Ésta, aparte de ser una variable de rendimiento, sirvió para definir las cargas individualizadas de entrenamiento (%RM) por grupo de intervención durante la prescripción del ejercicio.
2. MC: su unidad de medida son los kgs. Esta variable no es un indicador de FM, no obstante, se considera en el análisis, pues permite establecer la FR (1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio)
3. 1RM/MC ratio: es el cociente obtenido de la prueba de 1RM en la prensa Smith, dividido por la MC. No tiene unidad de medida, pues los kgs. de un RM se dividen por lo kgs. de la MC
4. 1RM/MC^{0,67} ratio: es el cociente obtenido de la prueba de 1RM en la prensa Smith, dividido por la MC elevado a 0,67 (2/3)⁸⁶. No tiene unidad de medida, pues los kgs. de un RM se dividen por lo kgs. de la MC

3.1.3.2 Variables derivadas de la FE.

1. SJ: se efectúa un salto partiendo desde la posición de media sentadilla,
2. CMJ: se efectúa un salto partiendo desde la posición bípeda.

En ambos saltos se usa la metodología descrita por Bosco⁴⁵ y obtienen los TV de cada salto (SJ-TV y CMJ-TV) en mseg.

3. PSAP: del inglés prestretch augmentation percentage, que es la diferencia porcentual (%) producida entre los saltos SJ y CMJ. Para sus cálculos se utilizan las alturas alcanzadas en cada salto. El valor de PSAP se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación ($[(CMJ-SJ/SJ)*100]$)¹²⁰.

3.1.4 Procedimientos

3.1.4.1 Evaluaciones

Al inicio y término del programa se realizó la recolección de datos, se utilizó una técnica de enmascaramiento simple ciego, donde los evaluadores desconocían la asignación de los participantes en los grupos de intervención.

Todos los participantes asistieron a sesiones previas y al término de las intervenciones para la evaluación de las variables dependientes; en ambos momentos se contempló tres días de valoración, separados por 72 horas entre sí, las cuales se ejecutaron entre diez días antes y una semana después del periodo en intervención (ver (Figura 3):

1. En el primer día los participantes se ambientaron en cuanto a las pruebas de saltos y fuerza: SJ, CMJ y sentadilla paralela en prensa Smith.
2. En el segundo día se desarrolló la medición la MC y los saltos SJ y CMJ sobre una plataforma de contacto.
3. En el tercer día se realizó la evaluación de 1RM en la prensa Smith.

Todas las pruebas se realizaron en el mismo laboratorio, siguiendo la misma secuencia.

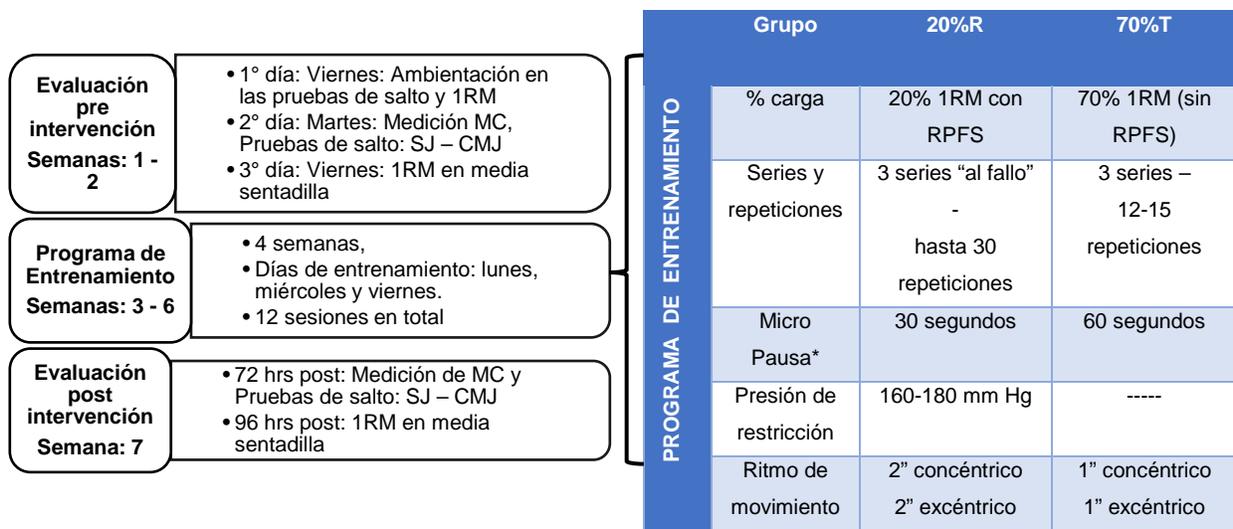


Figura 3. Esquema temporal de los procedimientos de evaluación y características de los protocolos de entrenamiento. *1RM*: una repetición máxima; *MC*: masa corporal; *SJ*: squat jump; *CMJ*: counter movement jump; *RPFS*: restricción parcial del flujo sanguíneo; *20%R*: grupo de entrenamiento de la fuerza con RPFS y el 20% 1RM; *70%T*: grupo de entrenamiento tradicional con el 70% 1RM.

3.1.4.2 Protocolos de medición.

MC: se evaluó en triplicado de acuerdo al protocolo de Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK)²⁸⁶, usando como variable de interés del estudio la moda. La medición la realizó un instructor certificado como ISAK – Nivel III. Una semana previa a las mediciones se estimó su error técnico de medición (ETM) para la *MC*, siendo de 0,09 kgs en ETM absoluto y de 0,13% en ETM relativo.

SJ y *CMJ*: las pruebas de salto fueron realizadas tras un calentamiento de 8 minutos de trote (8-11 km/hr) y 4 minutos de elongación de tipo balístico para músculos extensores de extremidad inferior (3 series de 10 repeticiones por grupo muscular en cada extremidad: tríceps sural, cuádriceps y glúteo mayor). Todos los participantes desarrollaron dos intentos de *SJ* y *CMJ*, de acuerdo al protocolo descrito por Bosco⁴⁵, obteniendo los *SJ-TV* y *CMJ-TV*, seleccionando la mejor altura alcanzada para el cálculo del PSAP ($[(CMJ-SJ/SJ)*100]$)¹²⁰. Entre cada intento se hizo una pausa de 3 minutos. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) de los TV oscilaron entre 0.95 - 0.98 en *SJ* y 0.96 - 0.99 en *CMJ* (Tabla 5). El *SJ* se ejecuta partiendo de una posición semiflexionada de rodillas (90°) sin movimiento previo o ayuda de los brazos. El movimiento debe efectuarse con las manos sobre la pelvis

y el tronco recto durante todo el gesto. El sujeto en la fase de vuelo debe mantener el cuerpo erguido, las piernas extendidas y pies en flexión plantar efectuando la caída en el mismo lugar de inicio, sin acción de los brazos, que se mantienen fijos a la pelvis. Se busca alcanzar el mayor TV para alcanzar la mayor altura vertical posible durante el salto. El TV obtenido se expresa en mseg. El CMJ se inicia con el sujeto partiendo en posición de pie (única diferencia con el SJ), con las manos en la pelvis, donde permanecen desde la posición inicial hasta el final el salto, no interviniendo en la mecánica del salto; el test consiste en realizar un movimiento rápido de flexo – extensión de las rodillas, formando durante el descenso un ángulo de 90° con las rodillas, e inmediatamente realizar un salto vertical máximo. También se busca alcanzar el mayor TV durante el salto, siendo su unidad de medida los mseg.

Tabla 5. Coeficiente de correlación intraclass (ICC) de los TVs ocurridas entre las dos mediciones de cada salto, realizadas al inicio y término de la intervención en cada grupo de entrenamiento.

TV (mseg)	Entrenamiento	Inicio	Termino
SJ	20%R	0,951	0,977
	70%T	0,984	0,948
CMJ	20%R	0,961	0,989
	70%T	0,978	0,997

SJ: squat jump; CMJ: counter movement jump; 20%R: grupo de entrenamiento de la fuerza con RPFS y el 20% 1RM; 70%T: grupo de entrenamiento tradicional con el 70% 1RM.

1RM: la medición de la FMax se realizó mediante el test de 1RM en prensa Smith, siguiendo las recomendaciones de Brown y Weir (285), esta se determinó como la última carga utilizada en la cual el participante completó con éxito el levantamiento de la barra. El gesto técnico implica colocar la barra sobre los hombros en el trapecio, ligeramente por encima de la parte posterior de los deltoides; y partiendo en una posición bípeda, permitir que las caderas y las rodillas se flexionen lentamente hasta que los muslos estén paralelos al piso; luego, el individuo extiende las caderas y las rodillas hasta alcanzar la posición inicial, con énfasis en mantener la espalda plana, los talones en el suelo y las rodillas alineadas sobre los pies²⁸⁷. La separación de los pies se ajustó al ancho o sutilmente superior

al ancho de los hombros, con los dedos apuntando ligeramente hacia afuera²⁸⁸. Al estar ejecutando la sentadilla en una prensa Smith, se permitió que se adelantaran los pies desde las barras guías verticales frente a la máquina, donde los talones podían desplazarse anteriormente hasta 15 cm. (6 pulgadas)²⁸⁸. Este valor se utilizó para obtener la FMax y la FR, además fue el criterio para prescribir la intensidad de la carga de entrenamiento (%RM) en cada grupo de intervención.

El protocolo consistió en un calentamiento general de 3-5 minutos de trote intercalado con ejercicios de medias sentadillas solo con la MC, después el sujeto debió realizar una serie de calentamiento específico de 8 repeticiones a aproximadamente el 50% de la 1RM estimada, seguido de otra serie de 3 repeticiones al 70% de la 1RM estimada. Los siguientes levantamientos fueron repeticiones simples con cargas progresivamente más altas hasta el fallo muscular o con la imposibilidad de levantar la carga asignada. Se proporcionó un fuerte estímulo verbal para obtener el mejor rendimiento. Después de cada intento exitoso, el peso se aumentó y se calificó el esfuerzo percibido para completar la repetición¹⁴³. Al menos dos series de levantamiento simple deben realizarse entre las series de calentamiento y el 1RM estimado, teniendo como número óptimo de tres a cinco series. El intervalo de descanso para evitar la fatiga entre series se fijó en dos minutos en el calentamiento y cinco durante las series simples. La prueba de 1RM fue realizada por el mismo evaluador, experimentado en el EF en fitness y deportes. Se autorizó el uso de cinturón de levantamiento de pesas, con la condición de los que optaran por él, debían usarlo durante las sesiones de entrenamiento. Previamente el evaluador estableció su ETM (absoluto y relativo) en el 1RM de media sentadilla en prensa Smith, siendo de 2,24 kg. y 2,80%, respectivamente; este fue obtenido en un grupo de 10 varones de similares características al del estudio, utilizando el mismo protocolo en dos ocasiones y separados por una semana entre ellas.

3.1.5 Intervenciones

Los protocolos de entrenamiento se prolongaron durante 4 semanas, con 3 días de entrenamiento cada semana, estos fueron con RPFS al 20% 1RM (20%R),

y un entrenamiento tradicional sin RPFS, al 70% 1RM (70%T). Todas las sesiones se realizaron entre 17:00 y 20:00 hrs., según la disponibilidad de cada sujeto, pero dentro de esa franja horaria. El calentamiento para ambos grupos fue el mismo utilizado durante las pruebas de salto. Las características de los protocolos se describen a continuación y se observan en la Figura 3, junto a las evaluaciones.

3.1.5.1 EF con RPFS y el 20% 1RM (20%R)

Se realizó levantamiento de pesas en media sentadilla paralela en la prensa Smith, siguiendo las recomendaciones de RPFS para el desarrollo de la fuerza e hipertrofia muscular^{55, 65}. La velocidad de movimiento fue guiada por un sistema de audio pregrabado y la presión de restricción se inició con 160 mm Hg en las primeras 6 sesiones, y luego aumentó a 180 mm Hg en las siguientes 6 sesiones.

La RPFS se realizó por medio de un esfigmomanómetro y manguitos neumáticos de 30 cm. de longitud, extensibles con velcro inelástico hasta 145 cm., y 5,5 cm. de ancho, aplicados en el extremo proximal de ambas extremidades inferiores, 1cm. bajo el pliegue glúteo. Tras el calentamiento, se instalaron apropiadamente en el muslo sin tensión de inflado, pero fijados de forma segura con el velcro para mantenerlos en su lugar, previo al inicio del entrenamiento los manguitos se insuflaron progresivamente a la presión indicada: 160 ó 180 mm Hg, respectivamente, cerrando la válvula del manómetro para mantener la presión constante durante toda la sesión de entrenamiento, incluyendo los períodos de descanso; retirándose inmediatamente al término del entrenamiento. Durante el período de entrenamiento no se modificó el %1RM, sólo la presión de restricción.

3.1.5.2 EF tradicional con el 70% 1RM (70%T)

Este protocolo corresponde a un EF tradicional de media sentadilla en prensa Smith orientado al aumento del trofismo y FM^{2, 289}. La velocidad de movimiento fue controlada por un sistema de audio pregrabado, sólo desarrollándose sentadillas durante las sesiones de entrenamiento; las seis primeras sesiones se realizaron 12 repeticiones, y a partir de la sexta sesión se aumentó el número de repeticiones a 15, mientras los otros parámetros de carga se conservaron iguales.

Como medida preventiva de salud, en ambos entrenamientos se monitorizó la presión arterial durante todo el período de intervención, al inicio y al término de todas las sesiones, incluyendo las sesiones de medición donde se evaluaron las variables de interés. Las sesiones fueron supervisadas por el mismo investigador, lo que permitió un correcto seguimiento a los participantes, coherencia entre las sesiones y control de los protocolos. Durante el período de intervención, se instruyó y recordó frecuentemente a los participantes de no realizar otras actividades (entrenamientos o deportes) que interfirieran en las variables estudiadas. El control de las sesiones de ejercicios y las mediciones pre y post-intervención, fueron realizadas por distintos investigadores.

3.1.6 Materiales

Para la evaluación del RM en media sentadilla se requirió una prensa Smith para sentadillas y discos metálicos, marca Vernón, modelo Professional Line.

La MC se registró con una balanza clínica marca Seca® modelo 700, con una precisión de 50 grs.

Los saltos (SJ y CMJ) se realizaron sobre una plataforma de contacto marca Axonjump® modelo C.

Para la intervención del grupo 20%R se utilizaron los manguitos de restricción DNO® Mazaguira, de fabricación nacional.

Para el calentamiento durante las sesiones de evaluación y entrenamiento se usó un tapiz rodante SportsArt Modelo 6320 (0,2 – 22 km/hr / -3 – 22%) y accesorios de gimnasio como colchonetas y cinturón de levantamiento de pesas. Todos los materiales se pueden ver en el Anexo 5.

Para el ingreso de datos y análisis de los saltos se usó el software para Windows® 10 y el Axonjump 4.0 del fabricante de la plataforma. Se creó una base de datos en Excel (Microsoft Office 2013) y el procesamiento y análisis estadístico con el programa Stata 12.0.

3.1.7 Análisis Estadístico

En el análisis descriptivo se utilizó la media y desviación estándar. Para verificar la distribución normal de la muestra se utilizó la prueba de Shapiro - Wilk. La determinación de las interacciones entre los grupos se realizó mediante un análisis de modelo fijo de medidas repetidas de dos factores (grupo x tiempo), incluyendo pruebas conjuntas multigrado de libertad y profundizando en las interacciones con pruebas de efectos simples. En cada caso se consideró un nivel de significación de 0,05. Finalmente, para estimar el tamaño del efecto (TE) de cada intervención se utilizó la prueba “d de Cohen” ($= \frac{[\text{promedio término} - \text{promedio inicio}]}{[\text{desviación estándar inicio}]}$), clasificando su efecto como $d < 0,35$: trivial; $d \geq 0,35$: pequeño; $d \geq 0,8$: moderado; $d \geq 1,5$: grande²⁹⁰. Al ser muestras pequeñas, se incluyen además el porcentaje de cambio entre el inicio y término de la intervención ($= \Delta\% = \frac{[\text{final} - \text{inicial}]}{[\text{inicial}]} * 100$) y el número y porcentaje de sujetos por grupo que modificó favorablemente el rendimiento de cada variable de estudio. Todo el análisis se realizó mediante el software Stata, versión 12.0.

3.2 Experimento n°2: fuerza máxima y biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.

3.2.1 Participantes

La selección de los sujetos se realizó mediante muestreo por conveniencia; fueron reclutados varones de población universitaria, mediante una invitación abierta por diversos medios informativos. Treinta y cinco voluntarios se ofrecieron a participar concediendo su firma en el consentimiento informado (**Anexo 1**). Se verificaron los criterios de participación del estudio, procediendo a aplicar un cuestionario sobre el historial médico (**Anexo 3**), la cuantificación del nivel de actividad física mediante el IPAQ – Short Version²⁸³ (**Anexo 4**) y una evaluación en salud.

Los criterios de inclusión consideraron:

- ser estudiante universitario
- ser deportista universitario recreacional²⁸⁴
- tener al menos 2 años de experiencia en EF

Los criterios de exclusión fueron:

- ser deportista de rendimiento²⁸⁴
- poseer diagnóstico de enfermedad metabólica, cardiorrespiratoria o hipertensión arterial.
- estar cursando algún cuadro infeccioso o inflamatorio independiente de la causa.
- poseer lesiones musculoesqueléticas u ortopédicas en fase aguda (menor a tres semanas).
- ser fumador o estar desarrollando algún tipo de dieta.

Los criterios de inclusión y exclusión posibilitaron la obtención de la muestra, quedando conformada por 27 participantes, formando tres grupos de nueve participantes cada uno; no obstante, en el desarrollo de las intervenciones se presentaron inasistencias reiteradas de algunos de ellos, determinando la exclusión de cuatro sujetos; quedando cada grupo con nueve, seis y ocho participantes, respetivamente. El estudio está inmerso en el proyecto titulado “Entrenamiento con

oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”, y contó con la aprobación de la Comisión de Ética de la Universidad Mayor, Chile (Anexo 2).

3.2.2 Tipo de diseño

La investigación es de tipo cuantitativo experimental, donde se comparan los resultados de tres intervenciones de entrenamiento. La asignación de las personas a los grupos de entrenamiento fue mediante aleatorización simple en: EF con RPFS al 20% 1RM (20%R), EF tradicional sin RPFS, al 70% 1RM (70%T) y EF tradicional sin RPFS, al 20% 1RM (20%T), utilizando como criterio de aleatorización el nivel de FMax de cuádriceps (1RM). La Tabla 6 resume las características de los grupos de intervención.

Tabla 6. Característica de la muestra (media (DS)), según grupo de entrenamiento.

	N	Edad (años)	IMC (kg/m ²)	PS (mm Hg)	PD (mm Hg)	IPAQ (mets/min/sem)
20%R	9	22.21 (1.49)	25.77 (2.78)	118.38 (7.74)	75.88 (8,46)	3625.56 (1118.50)
70%T	6	22.02 (2.46)	24.75 (4.30)	120.33 (11,27)	72.00 (6,57)	3643.50 (1948.37)
20%T	8	23.00 (1.81)	25.42 (3.14)	125.88 (7,14)	79.25 (13,13)	3585.31 (838.36)
<i>p</i>		0.575	0.847	0.226	0.427	0.997

IMC: Índice de masa corporal; PS: presión sistólica; PD: presión diastólica; IPAQ: International Physical Activity Questionnaire

3.2.2.1 Aproximación al diseño experimental

Los tres grupos completaron un programa de EF durante 12 sesiones, distribuidas en 4 semanas. Al iniciar y terminar el programa se midieron las variables de interés: 1RM de cuádriceps (1RMQ) y 1RM de isquiotibiales (1RMI); además, antes del inicio de la primera sesión, y antes y después del término de la última sesión se midió la concentración sérica de CK y PCRus. Durante la recolección de datos se utilizó una técnica de enmascaramiento simple ciego.

3.2.3 Variables del diseño.

3.2.3.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima.

1. 1RMQ: como indicador de FMax de ambos cuádriceps.
2. 1RMI: como indicador de FMax de ambos isquiotibiales.

En ambos casos corresponde a la 1RM en kgs., donde se aplicó un test de resistencias progresivas submáximas y se estimó el 1RM de acuerdo a lo planteado por Brzycki²⁹¹.

3.2.3.2 Variables derivadas de biomarcadores séricos de DMIE e inflamación.

1. CK sérica, como marcador de DMIE.
2. PCRus sérica, como marcador sistémico de inflamación.

Las muestras se obtuvieron por medio de punción venosa y posterior determinación bioquímica por métodos estándares.

3.2.4 Procedimientos

3.2.4.1 Evaluaciones

La recolección de datos utilizó una técnica de enmascaramiento simple ciego, donde los evaluadores desconocían la asignación de los participantes en los grupos de intervención. La evaluación de las variables dependientes de FMax y los biomarcadores séricos tuvieron un esquema temporal diferente, en cada caso se explican a continuación y se pueden visualizar en la Figura 4.

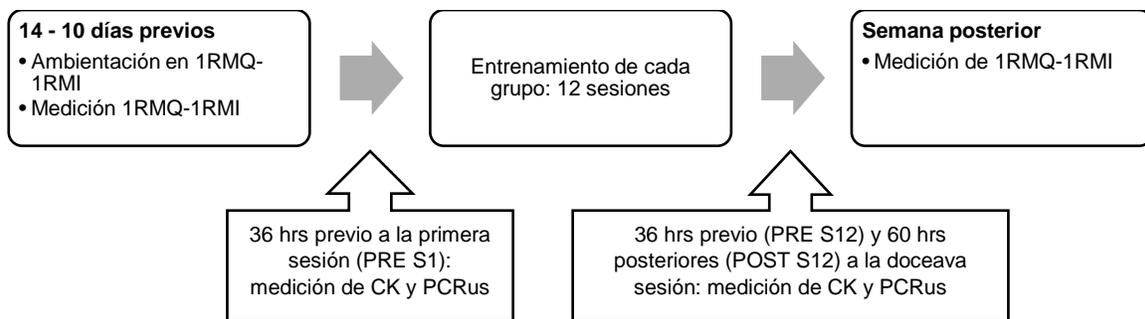


Figura 4. Esquema temporal de los procedimientos de evaluación. 1RMQ: una resistencia máxima de cuádriceps; 1RMI: una resistencia máxima de isquiotibiales; PRE S1: previo a la primera sesión; PRE S12: previo a la sesión doce; POST S12: posterior a la sesión doce; CK: creatin kinasa; PCRus: Proteína-C Reactiva ultrasensible.

3.2.4.2 FMax: 1RMQ – 1RMI

Todos los participantes asistieron a sesiones previo al inicio y luego de terminadas las intervenciones para la evaluación de la FMax; en ambos momentos se contempló dos días de valoración, separados por 72 horas entre sí, las cuales se ejecutaron entre diez días antes y una semana después del periodo en intervención, de acuerdo al siguiente esquema:

1. Catorce días previos al inicio de las intervenciones, los participantes se ambientaron en las pruebas de media sentadilla en prensa Smith (1RMQ) y en curl de femorales en una camilla para isquiotibiales (1RMI).
2. Diez días previo al inicio y una semana después de terminados los programas de entrenamiento, en dos sesiones diferentes, se procedió a realizar las evaluaciones de 1RMQ y 1RMI, separadas por 72 hrs. entre sí.

3.2.4.3 Biomarcadores séricos de DMIE e inflamación

Las muestras venosas se obtuvieron en tres momentos: 36 hrs. antes del inicio (Pre S1), 36 hrs. antes del término (Pre S12) y 60 hrs. después del término (Post S12) de las intervenciones. La primera muestra se consideró el registro basal de cada participante, y las restantes se utilizaron para visualizar el efecto acumulativo de la carga de entrenamiento, en Pre S12 con recuperación parcial, y

en Post S12 una vez terminada las intervenciones. Los ensayos bioquímicos permitieron la determinación de CK y la PCRus.

3.2.4.4 Protocolos de medición.

1RM (1RMQ – 1RMI): se estimó la FMax en función del número de repeticiones⁸⁸ ejecutadas con una carga submáxima en la prensa Smith para los cuádriceps y camilla de femorales para los isquiotibiales. Los test se aplicaron con cargas progresivas durante un máximo de cinco series de intentos, donde en cada uno de ellos se buscaba realizar no más de cinco repeticiones con el fin de predecir el 1RM y ser más precisos en la estimación de la FMax. Las repeticiones se consideraron válidas si el evaluado podía desplazar la carga en el rango definido, o sea, 0°-90°-0° de extensión, flexión y extensión de rodillas, respectivamente; ayudándose de la escala RPE-OMNI²⁹² para ajustar el aumento de carga (Anexo 6). El protocolo consistió en un calentamiento general de 3-5 minutos de trote para luego realizar:

- 2 series de 10 repeticiones con 1 min pausa, con una carga cómoda, usando al término de las series la escala RPE-OMNI que debía tener un registro menor a 4. Estas series sirvieron de calentamiento y preparación para el test propiamente.
- Luego se hizo el aumento gradual de las cargas, de 1 a 10 kgs., dependiendo del grupo muscular a evaluar. La indicación era “debe realizar una serie de hasta cinco repeticiones” para estimar el 1RM, esto tiene por propósito minimizar la fatiga en las siguientes pruebas de 1RM²⁸⁸.
- Si lograba realizar una mayor cantidad de repeticiones se le indicaba detenerse y se dio cinco minutos de pausa, prosiguiendo posteriormente con un nuevo aumento de carga.
- Al término de cada serie se preguntó con la escala RPE-OMNI la percepción del esfuerzo, esta orientó en las decisiones para el siguiente aumento de carga.
- Con el fin de evitar la fatiga muscular, el evaluador se focalizó en no realizar más de cinco series durante el test.

- En la última serie el valor de RPE-OMNI estuvo cercano a 8, haciendo inferir que la percepción de la carga levantada fue alta, pero no máxima. Ahí se registró la carga levantada y el número de repeticiones ejecutadas correctamente. Para estimar la 1RM, estos valores se ingresaron a la siguiente ecuación:

$$1RM = (100 \times \text{kg levantados en el último levantamiento válido}) / (102,78 - 2,78 \times N^{\circ} \text{ de repeticiones})^{291}.$$

En el caso de la prensa Smith (1RMQ), el evaluado ejecutaba las series de media sentadilla, que implicaba colocar la barra sobre los hombros en el trapecio, ligeramente por encima y posterior al músculo deltoides; y desde una posición bípeda, permitir que las caderas y las rodillas se flexionen lentamente hasta que los muslos estén paralelos al piso; y luego invertir el movimiento, extendiendo caderas y rodillas hasta alcanzar la posición inicial, enfatizando en la mantención de la espalda plana, talones en el suelo y rodillas alineadas sobre los pies²⁸⁷. En el plano frontal, la separación de éstos se ajustó al ancho o levemente superior al ancho de los hombro, con los dedos apuntando ligeramente hacia afuera²⁸⁸. La ejecución de la sentadilla en prensa Smith, permitió a los participantes un adelantamiento de los pies desde las barras guías verticales de la prensa, donde los talones podían desplazarse anteriormente hasta 15 cm. (6 pulgadas)²⁸⁸ (Anexo 6).

Sobre la camilla de femorales (1RMI) se realizaba un curl de femorales bilateral, en este caso la posición de inicio es en pronación (boca abajo), con caderas en flexión de 20°, rodillas en extensión (180°) y la carga posicionada tras sus maléolos; la secuencia de movimiento en rodillas fue de extensión completa, luego a flexión de 90° y retorno a la extensión completa, mediante una rápida acción excéntrico-concéntrico²⁹³ (Anexo 7).

Las pruebas de 1RM se realizaron en el mismo laboratorio, en la misma secuencia y fueron supervisadas por el mismo evaluador, dado su alta experiencia en el EF en fitness y deportes. Se autorizó el uso de cinturón de levantamiento de pesas, con la condición de los que optaran por él, debían usarlo durante las sesiones de entrenamiento. El ETM (absoluto y relativo) del evaluador para el 1RM de media sentadilla en prensa Smith, siendo de 2,74 kg. y 3,39%, respectivamente;

este fue obtenido en un grupo de 14 varones de similares características al del estudio, utilizando el mismo protocolo en dos ocasiones y separados por una semana entre ellas.

El valor de 1RMQ se utilizó como criterio para la aleatorización de los grupos, y ambos 1RM para prescribir las intensidades de las cargas individuales (%RM) del EF en cada grupo muscular, por grupo de intervención.

3.2.4.5 Determinaciones de CK y PCRus.

Obtención y procesamiento de muestras.

Las muestras de sangre se obtuvieron por medio de punción venosa desde la zona del antebrazo, utilizando procedimientos adecuados de flebotomía. A cada individuo se le extrajeron 4 ml de sangre total en un contenedor sin anticoagulante mediante sistema de extracción al vacío y respetando consideraciones de limpieza de zona de punción, tiempo de ligadura y mezcla de tubos. No fue necesaria preparación previa mediante ayuno previo a la toma de muestra. Posteriormente a partir de las muestras de sangre se obtuvo suero mediante centrifugación a 3000 rpm durante 8 minutos. Lo sueros separados fueron rotulados adecuadamente y almacenados a -20 ° C hasta el momento del análisis bioquímico.

Análisis bioquímicos

Las determinaciones de la actividad enzimática de CK total (CK-Nac) se realizaron mediante ensayo fotométrico cinético UV (EC 2.7.3.2; Human, Alemania) utilizando el equipo semiautomatizado Humalyzer 3000. Todas las cuantificaciones fueron calibradas con el material de referencia AUTOCAL (Human, Alemania) y controladas en su calidad con dos sueros controles en diferente nivel para así validar concentraciones en rango normal y patológico. La determinación de PCRus se realizó mediante ensayo inmunoturbidimétrico (Spinreact), utilizando también calibradores y control de calidad asociado al kit reactivo.

3.2.5 Intervenciones

Todos los participantes ejecutaron un entrenamiento de media sentadilla en prensa Smith y curl de femorales bilateral durante 12 sesiones en 4 semanas,

distribuidos en 3 días alternos, en horario de 17:00 y 20:00 hrs. El calentamiento fue el mismo para todos los grupos y consistió en 8 minutos de trote (8-11 km/hr) y 3 minutos de elongación para los músculos extensores de extremidad inferior. Las características específicas de cada protocolo se describen a continuación y son resumidas en la Tabla 7.

Tabla 7. Programas de entrenamiento para cada grupo.

Grupo	20%R	70%T	20%T
% carga	20% 1RM con RPFS	70% 1RM (sin RPFS)	20% 1RM (sin RPFS)
Series	3	3	3
Repeticiones	Al fallo muscular, pero como máximo 30 repeticiones	12-15 repeticiones	Máximo 30 repeticiones
Micro Pausa*	30 segundos	60 segundos	30 segundos
Macro Pausa**	60 segundos	120 segundos	60 segundos
Presión de restricción	160-180 mm Hg	-----	-----
Ritmo de movimiento	2" concéntrico 2" excéntrico	1" concéntrico 1" excéntrico	2" concéntrico 2" excéntrico

1RM: una resistencia máxima; RPFS: restricción parcial del flujo sanguíneo; 20%R: entrenamiento con RPFS con el 20% 1RM; 70%T: entrenamiento tradicional con el 70% 1RM; 20%T: entrenamiento tradicional con el 20% 1RM.

* es el periodo de descanso que ocurre entre cada serie del mismo ejercicio, en este caso en las sentadillas o en el curl de femorales.

** es el periodo de descanso que ocurre entre el cambio de ejercicio, en este caso al cambiar entre las sentadillas a los curls de femorales.

3.2.5.1 EF con RPFS con el 20% 1RM (20%R).

Se desarrollaron ambos ejercicios con RPFS siguiendo recomendaciones técnicas previas^{55, 65}; para aplicar la restricción se usó un manómetro de presión y dos manguitos neumáticos de 5,5 cm. de ancho y 145 cm. de largo para cada extremidad inferior, los cuales se instalaron en el muslo, 1cm. por debajo del pliegue glúteo. La velocidad de movimiento fue guiada por un audio pregrabado. Luego del calentamiento, los manguitos se instalaron sin generar presión en los tejidos, fijándolos con velcro para mantenerlos en su lugar, e inflando los manguitos progresivamente a 160 ó 180 mm Hg, respectivamente, manteniendo la presión de

insuflación constante durante toda la sesión, incluyendo los períodos de micro y macro pausa, y retirándose inmediatamente al término del EF. Durante todo el período de intervención no se modificó el %1RM, solo la presión de restricción.

3.2.5.2 EF tradicional con el 70% 1RM (70%T).

Se utilizó un entrenamiento de sobrecarga en ambos grupos musculares, siguiendo las recomendaciones en relación al aumento del trofismo y fuerza muscular^{2, 289}. La velocidad de movimiento fue controlada por un sistema de audio pregrabado; a partir de la 6ª sesión se aumentó el número de repeticiones y manteniendo los otros parámetros de entrenamiento.

3.2.5.3 EF tradicional con el 20% 1RM (20%T).

Este protocolo es una variante al entrenamiento con 20%R, aplicando las mismas variables del entrenamiento, pero sin la restricción aplicada por los manguitos neumáticos. Este grupo también entrenó bajo las mismas condiciones de prescripción de los otros participantes del estudio.

Como medida preventiva de salud, se monitorizó la presión arterial durante todo el período de intervención, al inicio y al término de todas las sesiones, incluyendo las sesiones de medición de las variables. Las sesiones fueron supervisadas por el mismo investigador, lo que permitió un correcto seguimiento a los participantes, coherencia entre las sesiones y control de los protocolos. Durante el período de intervención, se instruyó y recordó frecuentemente a los participantes de no realizar otras actividades (entrenamientos o deportes) que interfirieran en las variables estudiadas. El control de las sesiones de ejercicios y las mediciones de FMax y biomarcadores fueron realizados por tres distintos investigadores.

3.2.6 Materiales

Para la evaluación del RM en media sentadilla se requirió una prensa Smith para sentadillas y discos metálicos, marca Vernón, modelo Professional Line.

Para la intervención del grupo 20%R se utilizaron los manguitos de restricción DNO® Mazaguira, de fabricación nacional.

Para la evaluación de los marcadores de daño muscular e inflamación sistémica se utilizó material de enfermería apropiado para punción venosa, y para la cuantificación bioquímica tubos al vacío Act. Coagulation Improve 4mL, agujas multipropósito MS Needle Improve 21Gx1½, adaptadores de tubos al vacío Needle Holder, equipo semiautomatizado Humalyzer 3000, AUTOCAL Calibrator 5 mL, Humatrol N (valores normales) 5 mL, Humatrol P (valores patológicos) 5 mL, CK - NAC LiquiUV, CRP ULTRASENSITIVE LATEX CONTROL y PROTEINA C REACTIVA ULTRASENSIBLE test.

Para el calentamiento durante las sesiones de evaluación y entrenamiento se usó un tapiz rodante SportsArt Modelo 6320 (0,2 – 22 km/hr / -3 – 22%) y accesorios de gimnasio como colchonetas y cinturón de levantamiento de pesas.

Para el ingreso de los datos se creó una base de datos en Excel (Microsoft Office 2013) y el procesamiento y análisis estadístico con el programa Stata 12.0.

3.2.7 Análisis Estadístico

En el análisis descriptivo se utilizó la media y desviación estándar. Para verificar la distribución normal de la muestra se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk. La determinación de las interacciones entre los grupos se realizó mediante un análisis de modelo fijo de medidas repetidas de dos factores (grupo x tiempo), en dos momentos para RMQ y RMI y en tres para CK y PCRus, considerando de referencia la medición inicial de 70%T, incluyendo además pruebas conjuntas multigrado de libertad y profundizando en las interacciones con pruebas de efectos simples. En cada caso se consideró un nivel de significación de 0,05. Finalmente, para estimar el TE de cada intervención se utilizó la prueba “d de Cohen” (= [promedio término – promedio inicio]/[desviación estándar inicio]), clasificando su efecto como $d < 0,35$: trivial; $d \geq 0,35$: pequeño; $d \geq 0,8$: moderado; $d \geq 1,5$: grande²⁹⁰. Al ser muestras pequeñas, se incluyen además el porcentaje de cambio entre el inicio y término de la intervención ($=\Delta\% = ([\text{final} - \text{inicial}]/\text{inicial}) * 100$) y el porcentaje y número de sujetos por grupo que modificó positivamente cada variable de estudio. Todo el análisis se realizó mediante el software Stata, versión 12.0.

RESULTADOS

4 RESULTADOS

4.1 Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.

4.1.1 Resultados descriptivos de las variables de estudio.

A continuación, se presentan los resultados descriptivos de las variables de interés.

4.1.1.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio.

En la Tabla 8 se aprecian los valores de FMax (1RM), MC y FR, de toda la muestra y de cada grupo de estudio, tanto al inicio y término de las intervenciones.

Tabla 8. Resultados descriptivos de las variables derivadas de Fuerza Máxima Relativa.

GRUPO		1RM (kgs)		MC (kgs)		1RM/MC ratio		1RM/MC ^{0,67} ratio	
		Inicio	Término	Inicio	Término	Inicio	Término	Inicio	Término
Total de la muestra	<i>N</i>	22	22	22	22	22	22	22	22
	<i>Promedio</i>	113.41	122.69	80.77	80.31	1.43	1.57	1.27	1.35
	<i>DS</i>	11.14	9.62	13.58	14.69	0.20	0.26	0.12	0.15
	<i>Mínimo</i>	99.90	108.43	56.60	55.60	1.16	1.18	1.10	1.12
	<i>Máximo</i>	137.75	144.10	103.50	105.80	1.77	1.95	1.46	1.56
	<i>Mediana</i>	110.10	120.11	81.00	79.50	1.45	1.51	1.28	1.32
20%R	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12	12
	<i>Promedio</i>	117.04	126.86	83.48	81.93	1.41	1.57	1.26	1.35
	<i>DS</i>	12.85	10.42	9.85	11.86	0.16	0.23	0.10	0.13
	<i>Mínimo</i>	99.90	112.41	66.20	64.90	1.17	1.33	1.11	1.21
	<i>Máximo</i>	137.75	144.10	95.50	97.60	1.66	1.85	1.40	1.51
	<i>Mediana</i>	115.00	125.46	83.05	81.05	1.42	1.55	1.26	1.34
70%T	<i>n</i>	10	10	10	10	10	10	10	10
	<i>Promedio</i>	109.05	117.68	77.52	78.36	1.45	1.56	1.28	1.34
	<i>DS</i>	7.00	5.65	17.04	17.99	0.25	0.29	0.15	0.17
	<i>Mínimo</i>	99.90	108.43	56.60	55.60	1.16	1.18	1.10	1.12
	<i>Máximo</i>	120.10	125.10	103.50	105.80	1.77	1.95	1.46	1.56
	<i>Mediana</i>	110.00	118.14	76.20	77.20	1.45	1.51	1.28	1.32

1RM: resistencia máxima levantada; *n*: número de participantes; *DS*: desviación estándar; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM

En ella se observa, que en promedio, al terminar las intervenciones, en ambos entrenamientos hubo un aumento del 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio, a excepción de la MC del total de la muestra y el grupo 20%R, donde disminuyó.

4.1.1.2 Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV Y PSAP (%)

En la Tabla 9 se observan los valores de SJ, CMJ y PSAP, de toda la muestra y de cada grupo de estudio, tanto al inicio y término de las intervenciones. Al terminar la intervención, en promedio, en el total de la muestra y en ambos entrenamientos existió un aumento en SJ-TV y CMJ-TV y una disminución del PSAP.

Tabla 9. Resultados descriptivos de las variables derivadas de Fuerza Explosiva.

GRUPO		SJ-TV (mseg)		CMJ-TV (mseg)		PSAP (%)	
		Inicio	Término	Inicio	Término	Inicio	Término
Total de la muestra	<i>n</i>	22	22	22	22	22	22
	<i>Promedio</i>	474.64	512.00	544.00	555.64	32.72	18.57
	<i>DS</i>	32.13	30.51	34.80	37.07	19.62	15.57
	<i>Mínimo</i>	427.00	470.00	494.00	510.00	10.21	-4.54
	<i>Máximo</i>	546.00	578.00	602.00	626.00	73.23	60.58
	<i>Mediana</i>	474.00	502.00	552.00	552.00	27.47	17.46
20%R	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12
	<i>Promedio</i>	465.33	492.00	533.33	553.33	32.36	26.92
	<i>DS</i>	21.36	12.71	29.29	35.97	18.22	15.75
	<i>Mínimo</i>	430.00	470.00	494.00	518.00	10.21	8.19
	<i>Máximo</i>	498.00	506.00	570.00	626.00	63.60	60.58
	<i>Mediana</i>	464.00	496.00	536.00	544.00	28.74	22.94
70%T	<i>n</i>	10	10	10	10	10	10
	<i>Promedio</i>	485.80	536.00	556.80	558.40	33.16	8.55
	<i>DS</i>	39.97	28.30	38.00	40.11	22.18	7.62
	<i>Mínimo</i>	427.00	494.00	510.00	510.00	11.96	-4.54
	<i>Máximo</i>	546.00	578.00	602.00	610.00	73.23	20.11
	<i>Mediana</i>	480.00	542.00	560.00	560.00	21.73	9.06

SJ-TV: tiempo de vuelo del Squat Jump; CMJ-TV: tiempo de vuelo del Counter Movement Jump; *n*: número de participantes; *DS*: desviación estándar; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM

4.1.2 Análisis de normalidad de las variables de estudio.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de normalidad Shapiro-Wilk de las diferentes variables objeto de comparación.

4.1.2.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio.

En la Tabla 10 se observan las variables de 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio. De acuerdo al análisis, todas las variables poseen una distribución normal.

Tabla 10. Pruebas de normalidad derivadas de la fuerza máxima y relativa de ambos protocolos de entrenamiento.

Variable	Grupo	z	p
1RM (kgs)	20%R	-1.337	0.909
	70%T	-1.790	0.963
MC (kgs)	20%R	1.541	0.062
	70%T	0.956	0.169
1RM/MC ratio	20%R	1.090	0.138
	70%T	0.619	0.268
1RM/MC ^{0,67} ratio	20%R	0.925	0.178
	70%T	0.873	0.191

1RM: resistencia máxima levantada en una repetición (kg); MC: masa corporal; 1RM/MC ratio: 1 Repetición máxima / Masa corporal (razón); 1RM/MC^{0,67} ratio: 1 Repetición máxima / Masa corporal (razón) elevado a la potencia de 0,67; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; z: prueba estadística; p: significancia estadística.

4.1.2.2 Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV Y PSAP (%)

En la Tabla 11 se presentan las variables SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%). De acuerdo a lo observado, todas las variables poseen una distribución normal.

Tabla 11. Pruebas de normalidad derivadas de la fuerza explosiva de ambos protocolos de entrenamiento.

Variable	Grupo	z	p
SJ-TV (mseg)	20%R	-3.297	0.999
	70%T	-1.294	0.902
CMJ-TV (mseg)	20%R	0.702	0.241
	70%T	-1.340	0.910
PSAP (%)	20%R	1.116	0.132
	70%T	1.474	0.070

SJ-TV: tiempo de vuelo del Squat Jump (milisegundos); CMJ-TV: tiempo de vuelo del Counter Movement Jump (milisegundos); PSAP: Porcentaje de aumento de pre-estiramiento; z: prueba estadística; p: significancia estadística

4.1.3 Análisis comparativo de las variables de estudio.

4.1.3.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima y Relativa: 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio.

En la Tabla 12, Gráfico 1 y Gráfico 2 se presentan los resultados e interacciones de las variables de 1RM, MC, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio. Sólo se presentan interacciones significativas en RM ($p < 0.05$) (grupo), y RM, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ($p < 0.05$) (tiempo). Ambos grupos tuvieron interacciones significativas (intragrupo) en RM, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio ($p < 0.05$).

Tabla 12. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima y relativa de ambos protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).

Variable	Grupo	Inicio	Termino	Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo (p<0.05)	Tiempo x grupo (p<0.05)
1RM (kgs)	20%R	117.04 (12.85)	126.86 (10.42)	0.024* - 0.000# - 0.713	0.000**
	70%T	109.06 (7.00)	117.68 (5.65)		0.000**
MC (kgs)	20%R	83.48 (9.85)	81.93 (11.86)	0.432 - 0.594 - 0.073	0.084
	70%T	77.52 (17.04)	78.36 (17.99)		0.393
1RM/MC ratio	20%R	1.41 (0.16)	1.57 (0.23)	0.882 – 0.000# – 0.349	0.000**
	70%T	1.45 (0.25)	1.56 (0.29)		0.014**
1RM/MC^{0.67} ratio	20%R	1.26 (0.10)	1.35 (0.13)	0.905 – 0.000# - 0.345	0.000**
	70%T	1.28 (0.15)	1.34 (0.17)		0.015**

20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; *: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo) al término del entrenamiento; #: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (tiempo) al término del entrenamiento; &: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo x tiempo) al término del entrenamiento; **: Cambios significativos entre el inicio y el final del entrenamiento.

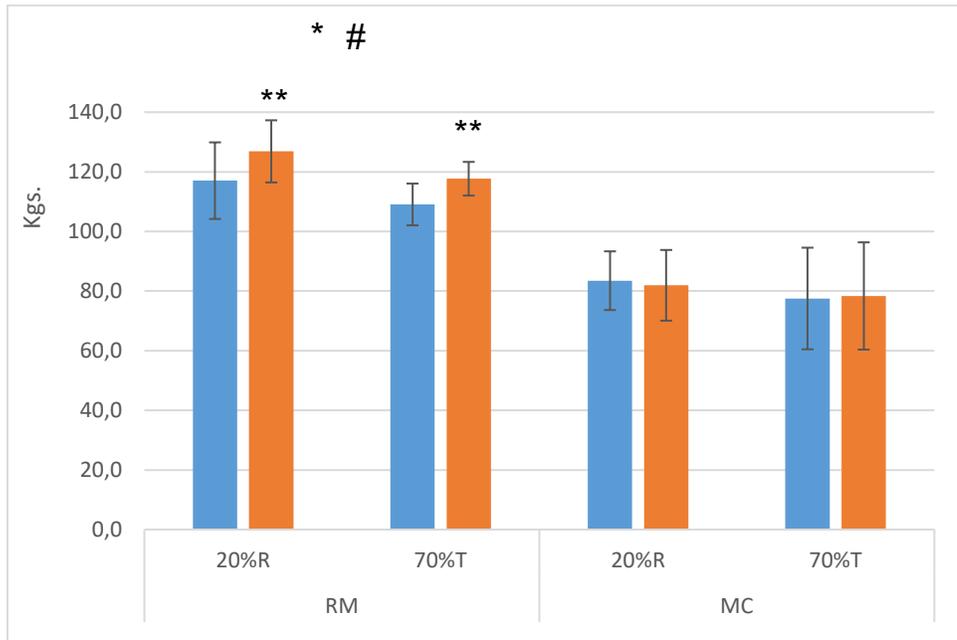


Gráfico 1. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima: 1RM y MC.

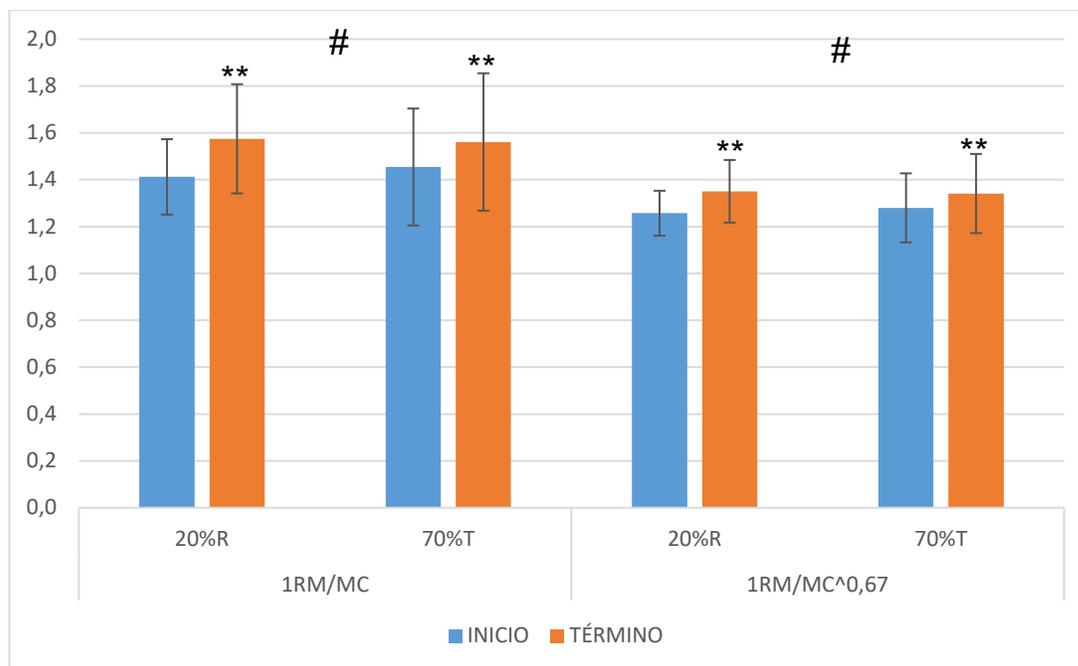


Gráfico 2. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza relativa: 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67} ratio.

En la Tabla 13 y Gráfico 4 se presentan el tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos de las variables de 1RM, MC y 1RM/MC ratio. El TE es pequeño en 1RM de 20%R y en 1RM/MC de 70%T y 1RM/MC^{0,67} de 70%T, y moderado en 1RM de 70%T, en 1RM/MC de 20%R y 1RM/MC^{0,67} de 20%R, solo en la MC el TE es trivial. A excepción de la MC de 20%R, todos los porcentajes de cambio de las intervenciones aumentan. Se observa un mayor porcentaje de sujetos del grupo 70%T que respondieron favorablemente en las medidas de 1RM, 1RM/MC ratio y 1RM/MC^{0,67}, en cambio en la MC se observan más en el grupo 20%R¹

¹ Para efectos de la metodología planteada, debe entenderse un efecto favorable aumentar la FMax y FR y disminuir la MC al finalizar el entrenamiento.

Tabla 13. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima y relativa, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.

Variable	Tipo entrenamiento	TE (d)	Δ pre – post (%)	Participantes que respondieron favorablemente	
				Número	%
1RM (kgs)	20%R	0.76 [†]	8.39	8	66.6
	70%T	1.23 ^{††}	7.91	10	100
MC (kgs)	20%R	-0.16	-1.86	10	83.3
	70%T	0.05	1.08	2	20.0
1RM/MC	20%R	1.01 ^{††}	11.50	8	66.6
	70%T	0.43 [†]	7.36	8	80
1RM/MC ^{0.67}	20%R	0.93 ^{††}	7.43	8	66.6
	70%T	0.41 [†]	4.79	7	70

20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; TE: entre el inicio y el final de la capacitación †: pequeño; ††: moderado; Δ pre – post (%): porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones.

4.1.3.2 Variables derivadas de la Fuerza explosiva: SJ-TV, CMJ-TV Y PSAP (%)

En la Tabla 14 y Gráfico 3 se observan las variables SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%). Se presentan interacciones significativas en SJ-TV ($p < 0.05$) (grupo); SJ-TV, CMJ-TV y PSA ($p < 0.05$) (tiempo); y CMJ-TV y PSA ($p < 0.05$) (grupo x tiempo). Ambos grupos tuvieron interacciones significativas (intragrupo) en SJ-TV, CMJ-TV en 20%R y PSAP en 70%T ($p < 0.05$).

Tabla 14. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza explosiva de ambos protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).

Variable	Grupo	Inicio	Termino	Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo ($p < 0.05$)	Tiempo x grupo ($p < 0.05$)
SJ-TV (mseg)	20%R	465.33 (21.36)	492.00 (12.71)	0.000* - 0.000# - 0.106	0.007**
	70%T	485.80 (39.97)	536.00 (28.30)		0.000**
CMJ-TV (mseg)	20%R	533.33 (29.29)	553.33 (35.97)	0.329 – 0.019# - 0.045&	0.001**
	70%T	556.80 (38.00)	558.40 (40.11)		0.813
PSAP (%)	20%R	32.36 (18.22)	26.92 (15.75)	0.304 – 0.000# - 0.000&	0.304
	70%T	33.16(22.18)	8.55 (7.62)		0.000**

20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; *: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo) al término del entrenamiento; #: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (tiempo) al término del entrenamiento; &: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo x tiempo) al término del entrenamiento; **: Cambios significativos entre el inicio y el final del entrenamiento.

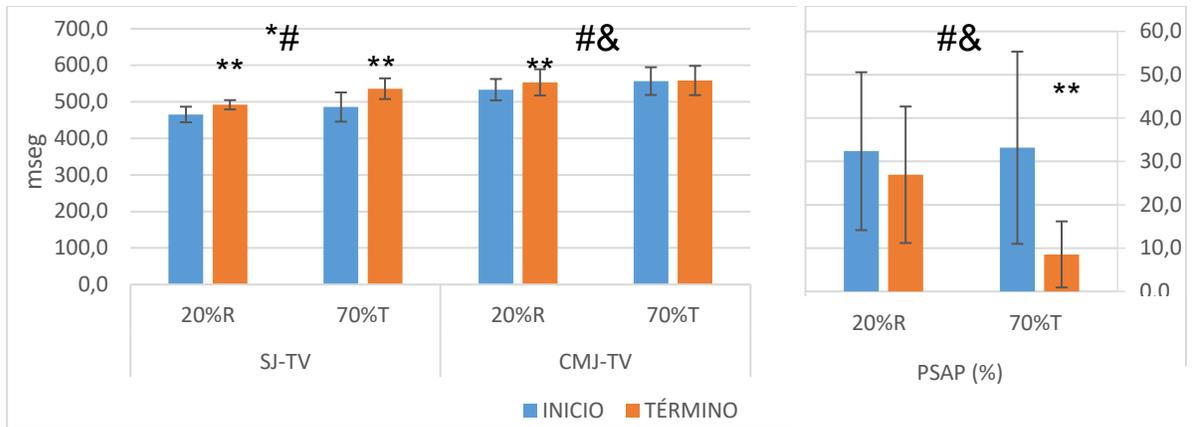


Gráfico 3. Resultados e interacciones de las variables derivadas de la fuerza explosiva: SJ, CMJ, PSAP.

En la Tabla 15 y Gráfico 4 se presentan el tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos de las variables de SJ-TV, CMJ-TV y PSAP (%). El TE es pequeño en CMJ-TV de 20%R, y moderado en SJ-TV de 20%R y 70%T, y en PSAP (%) 70%T, solo en CMJ-TV de 70%T el TE es trivial. Todos los porcentajes de cambio aumentan en ambas intervenciones, a excepción de PSAP en ambos grupos. Se observan más sujetos del grupo 20%R que respondieron favorablemente en las tres variables^{II}

^{II} Para efectos de la metodología planteada, debe entenderse un efecto favorable aumentar los TV de SJ y CMJ y, dado su gran valor de inicio, disminuir el PSAP al finalizar el entrenamiento.

Tabla 15. Resultados de las variables derivadas de la fuerza relativa, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.

Variable	Tipo entrenamiento	TE (d)	Δ pre – post (%)	Participantes que respondieron favorablemente	
				Número	%
SJ-TV (mseg)	20%R	1.25 ^{††}	5.73	10	83.3
	70%T	1.26 ^{††}	10.33	8	80
CMJ-TV (mseg)	20%R	0.68 [†]	3.75	8	66.6
	70%T	0.04	0.29	4	40
PSAP (%)	20%R	-0.30	-16.81	11	91.6
	70%T	-1.11 ^{††}	-74.22	8	80

20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; TE: entre el inicio y el final de la capacitación †: pequeño; ††: moderado; †††: grande; Δ pre – post (%): porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones.

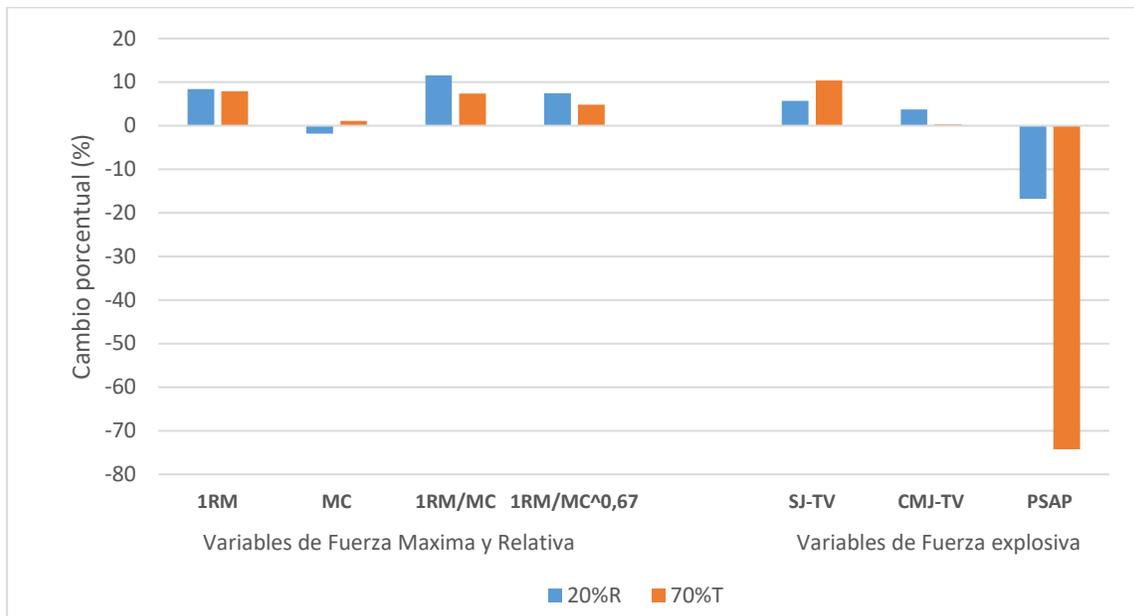


Gráfico 4. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de la fuerza máxima, relativa y explosiva.

4.2 Experimento n° 2: fuerza máxima biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.

4.2.1 Resultados descriptivos de las variables de estudio.

A continuación, se presentan los resultados descriptivos de las variables de interés seleccionadas.

4.2.1.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.

Tabla 16. Resultados descriptivos de las variables derivadas de la Fuerza Máxima.

GRUPO		1RMQ (kg)		1RMI (kg)	
		Inicio	Término	Inicio	Término
Total de la muestra	<i>n</i>	23	23	23	23
	<i>Promedio</i>	117.66	121.19	92.76	100.97
	<i>DS</i>	15.37	14.74	25.77	22.58
	<i>Mínimo</i>	90.00	97.95	57.18	64.30
	<i>Máximo</i>	160.00	164.58	166.48	158.14
	<i>Mediana</i>	115.10	118.14	87.80	100.82
20%R	<i>n</i>	9	9	9	9
	<i>Promedio</i>	124.02	132.24	94.41	106.31
	<i>DS</i>	17.79	15.07	26.57	25.71
	<i>Mínimo</i>	100.00	112.51	70.50	74.12
	<i>Máximo</i>	160.00	164.58	150.60	158.14
	<i>Mediana</i>	124.00	132.20	87.80	106.30
70%T	<i>n</i>	6	6	6	6
	<i>Promedio</i>	111.54	117.68	84.17	101.76
	<i>DS</i>	9.02	5.36	13.18	24.61
	<i>Mínimo</i>	100.00	108.53	61.94	70.50
	<i>Máximo</i>	124.00	125.00	105.45	128.81
	<i>Mediana</i>	110.13	117.92	85.06	98.58
20%T	<i>n</i>	8	8	8	8
	<i>Promedio</i>	115.08	111.38	84.43	94.35
	<i>DS</i>	15.19	11.19	20.12	24.34
	<i>Mínimo</i>	90.00	97.95	57.18	64.30
	<i>Máximo</i>	133.72	136.29	166.48	137.49
	<i>Mediana</i>	112.55	110.59	82.48	91.36

1RMQ: resistencia máxima levantada en cuádriceps (kgs), 1RMI: resistencia máxima levantada en isquiotibiales (kgs); *n*: número de participantes; *DS*: desviación estándar; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20% 1RM

En la Tabla 16 se presentan los valores de FMax (1RMQ y 1RMI) de toda la muestra y de cada grupo de estudio, tanto al inicio como al término de las intervenciones.

En ella se observa, que en promedio, al terminar las intervenciones, en el total de la muestra y en los grupos 20%R y 70%T existe un aumento de 1RMQ y 1RMI, en cambio, en 20%T las mediciones se mantienen sin cambios.

4.2.1.2 Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.

Tabla 17. Resultados descriptivos de las variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.

GRUPO		CK (U/L)			PCRus (mg/L)		
		Pre SS1	Pre SS12	Post SS12	Pre SS1	Pre SS12	Post SS12
Total de la muestra	<i>n</i>	23	23	23	23	23	23
	<i>Promedio</i>	70.0	82.5	81.8	0.3	0.5	0.3
	<i>DS</i>	35.1	46.5	49.9	0.2	0.5	0.2
	<i>Mínimo</i>	31.0	37.0	38.0	0.1	0.1	0.1
	<i>Máximo</i>	176.0	177.0	189.0	0.7	2.0	1.0
	<i>Mediana</i>	57.0	67.0	63.0	0.2	0.5	0.2
20%R	<i>n</i>	9	9	9	9	9	9
	<i>Promedio</i>	75.3	104.9	112.4	0.3	0.6	0.3
	<i>DS</i>	48.6	53.4	65.0	0.2	0.3	0.2
	<i>Mínimo</i>	41.0	44.0	45.0	0.1	0.2	0.2
	<i>Máximo</i>	176.0	177.0	189.0	0.6	1.2	0.6
	<i>Mediana</i>	58.0	91.0	84.0	0.3	0.5	0.2
70%T	<i>n</i>	6	6	6	6	6	6
	<i>Promedio</i>	74.8	75.3	65.2	0.4	0.6	0.4
	<i>DS</i>	30.8	46.4	24.4	0.3	0.8	0.3
	<i>Mínimo</i>	41.0	42.0	40.0	0.1	0.1	0.2
	<i>Máximo</i>	118.0	167.0	98.0	0.7	2.0	1.0
	<i>Mediana</i>	67.5	62.0	61.0	0.3	0.1	0.2
20%T	<i>n</i>	8	8	8	8	8	8
	<i>Promedio</i>	60.3	62.8	59.9	0.3	0.4	0.3
	<i>DS</i>	18.4	29.5	24.4	0.2	0.3	0.2
	<i>Mínimo</i>	31.0	37.0	38.0	0.1	0.1	0.1
	<i>Máximo</i>	91.0	111.0	91.0	0.6	1.0	0.7
	<i>Mediana</i>	56.5	53.5	46.5	0.2	0.4	0.2

CK: Creatin kinasa; U/L: unidades internacionales/litro; PCRus: Proteína-C Reactiva ultrasensible; mg/L: milígramo/litro; n: número de participantes; DS: desviación estándar; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20% 1RM.

En la Tabla 17 es posible observar los valores de CK y PCRus de toda la muestra y de cada grupo de estudio, tanto al inicio (Pre SS19, como al finalizar las intervenciones (Pre SS12 y Post SS12).

Para la CK, en promedio, la conducta es que previo al término la intervención (Pre SS12) en el total de la muestra y en 70%T y 20%T existió un aumento para luego, en Post SS12, acercarse a los valores basales. En cambio, en 20%R el aumento continúa durante las mediciones Pre SS12 y Post SS12. La PCRus tuvo el mismo comportamiento en el total de la muestra y los tres grupos, aumentando en Pre SS12 y retornando a valores basales en Post SS12.

4.2.2 Análisis de normalidad de las variables de estudio.

A continuación, se observan los resultados de las pruebas de normalidad Shapiro-Wilk de las diferentes variables de estudio.

4.2.2.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.

En la Tabla 18 se observan las variables de 1RMQ y 1RMI. De acuerdo al análisis, todas las variables en los tres grupos poseen una distribución normal.

Tabla 18. Pruebas de normalidad derivadas de las variables de fuerza máxima de los tres protocolos de entrenamiento.

Variable	Grupo	z	p
1RMQ (kg)	20%R	-0.534	0.703
	70%T	-0.663	0.746
	20%R	-0.200	0.579
1RMI (kg)	20%R	1.348	0.089
	70%T	-0.628	0.735
	20%R	0.713	0.238

1RMQ: Resistencia máxima levantada en cuádriceps (kg), 1RMI: resistencia máxima levantada en isquiotibiales (kg); 20%R: entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: entrenamiento tradicional al 20% 1RM; z: prueba estadística; p: significancia estadística

4.2.2.2 Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.

En la Tabla 19 se observan las variables de CK y PCRus. De acuerdo a ésta, todas ellas presentan una distribución normal, a excepción de la CK del grupo 20%R y la PCRus del grupo 20%T.

Tabla 19. Pruebas de normalidad derivadas de las variables de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica en los tres protocolos de entrenamiento.

Variable	Grupo	z	p
CK (U/L)	20%R	2.841	0.002*
	70%T	-0.975	0.835
	20%R	-1.061	0.856
PCRus (mg/L)	20%R	0.074	0.471
	70%T	-0.962	0.832
	20%T	1.914	0.028*

CK: Creatin kinasa; U/L: unidades internacionales/litro; PCRus: Proteína-C Reactiva ultrasensible; mg/L: milígramo/litro; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20% 1RM; z: Prueba estadística; p: significancia estadística.

4.2.3 Análisis comparativo de las variables de estudio.

4.2.3.1 Variables derivadas de la Fuerza Máxima: 1RMQ y 1RMI.

En la Tabla 20 y Gráfico 5 se presentan los resultados e interacciones de las variables de 1RMQ y 1RMI. Estos indican que en 1RMQ y en 1RMI existieron diferencias significativas en la interacción del tiempo ($p < 0.05$), y no en las interacciones grupo y grupo x tiempo ($p > 0.05$). Las interacciones significativas (intragrupo) de 1RMQ se presentaron en 20%R y 70%T ($p < 0.05$); y en 1RMI en los tres grupos de intervención ($p < 0.05$).

Tabla 20. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de la fuerza máxima de los tres protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).

Variable	Grupo	Inicio	Termino	Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo p<0.05	Tiempo x Grupo p<0.05
1RMQ (kg)	20%R	124.02 (17.79)	132.24 (15.07)	0.09 – 0.01# – 0.07	0.01**
	70%T	111.54 (9.02)	117.68 (5.36)		0.03**
	20%T	115.08 (15.19)	111.38 (11.19)		0.75
1RMI (kg)	20%R	94.41 (24.57)	106.31 (25.71)	0.96 - 0.00# - 0.48	0.00**
	70%T	84.17 (13.18)	101.76 (24.61)		0.00**
	20%T	84.43 (20.12)	94.35 (24.34)		0.00**

20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20%; *: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo) al término del entrenamiento; #: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (tiempo) al término del entrenamiento; **: Cambios significativos entre el inicio y el final del entrenamiento.

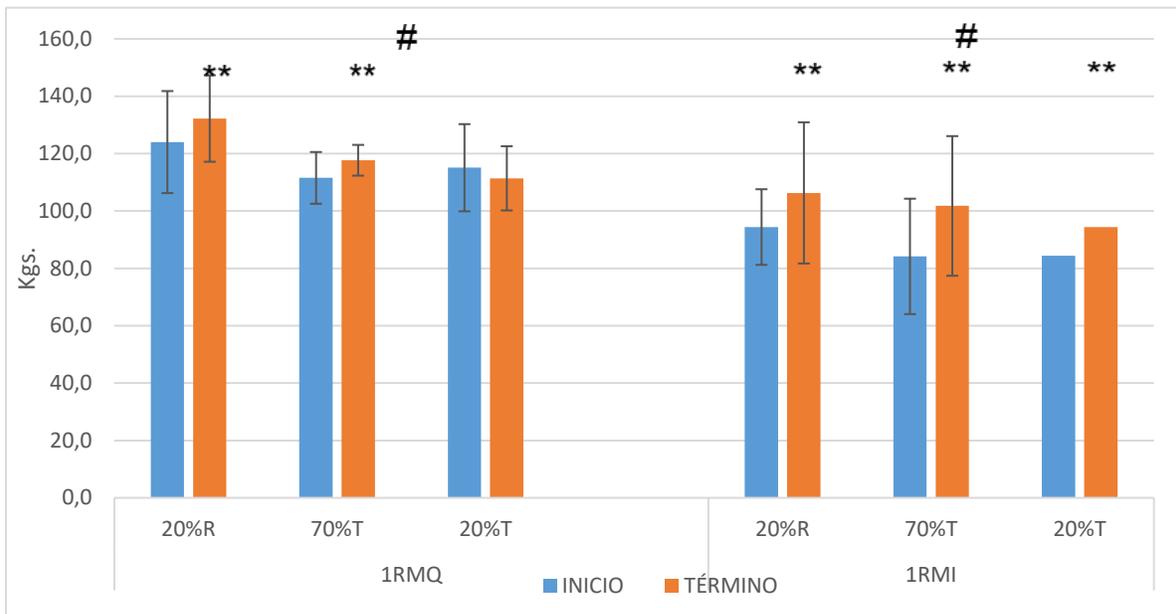


Gráfico 5. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima: 1RMQ y 1RMI.

En la Tabla 21 y Gráfico 6 se presentan el tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos de las variables de 1RMQ y 1RMI. El TE es pequeño en 1RMQ de 20%R, 1RMQ de 70%T, 1RMI de 20%R y en 1RMI de 20%T; y moderado en 1RMI de 70%T. Sólo en 20%T, el TE es trivial. A excepción de los resultados de 20%T, todos los porcentajes de

cambio de las intervenciones aumentan, específicamente más en 20%R de 1RMQ y 70%T en 1RMI. Donde mayor porcentaje de sujetos respondieron favorablemente en las medidas de 1RMQ y 1RMI fue en el grupo 70%T, seguido de 20%R y finalmente 20%T.^{III}

Tabla 21. Resultados de las variables derivadas de la fuerza máxima de cuádriceps (1RMQ) e isquiotibiales (1RMI), incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.

Variable	Tipo entrenamiento	TE (d)	Δ pre – post (%)	Participantes que respondieron favorablemente	
				Número	%
1RMQ (kgs)	20%R	0.46 [†]	6.62	7	77.7
	70%T	0.68 [†]	5.51	5	83.3
	20%T	-0.24	-3.22	3	37.5
1RMI (kgs)	20%R	0.45 [†]	12.61	9	100.0
	70%T	1,34 ^{††}	20.91	6	100.0
	20%T	0.50 [†]	11.80	6	75.0

1RMQ: resistencia máxima de cuádriceps (kgs.); 1RMI: resistencia máxima de isquiotibiales; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; TE: entre el inicio y el final de la capacitación †: pequeño; ††: moderado; Δ pre – post (%): porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones.

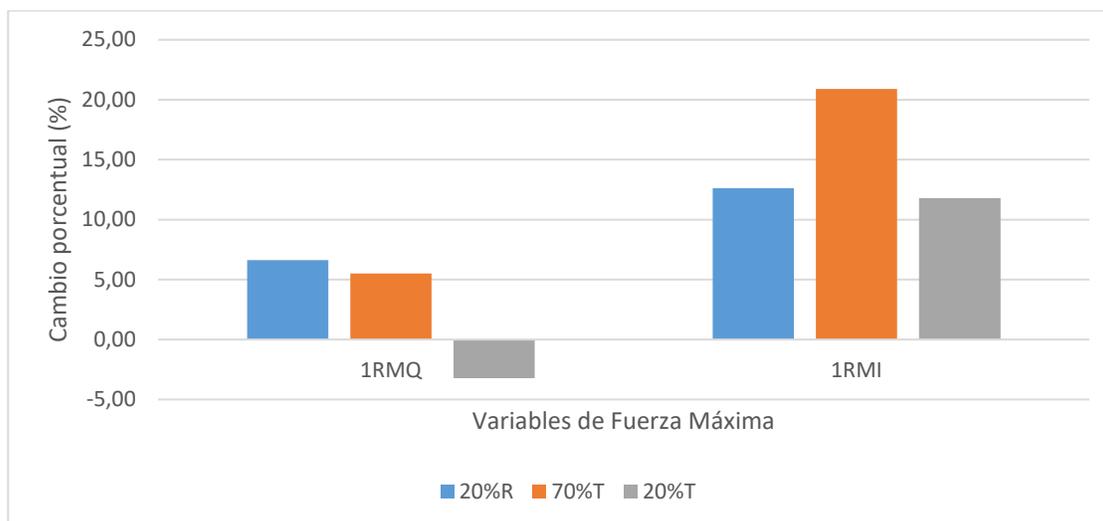


Gráfico 6. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de la fuerza máxima.

^{III} Para efectos de la metodología planteada, debe entenderse un efecto favorable aumentar la FMax de cuádriceps e isquiotibiales al finalizar el entrenamiento.

4.2.3.2 Variables derivadas de los biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica: CK y PCRus.

En la Tabla 22 y Gráfico 7 se presentan los resultados e interacciones de las variables CK y PCRus. En la CK, los resultados de mayor relevancia indican que existieron diferencias significativas en la interacción grupo x tiempo ($p=0.02$), ocurriendo en Post S12 entre 20%R Y 70%T ($p=0.01$). No se observaron diferencias significativas en la condición grupo ($p=0.13$) y tiempo ($p=0.17$). Al analizar cada grupo, se observan estas diferencias solo en 20%R ($p=0.01$), ocurriendo entre Pre S1 y Pre S12 ($p=0.01$) y entre Pre S1 y Post S12 ($p=0.01$). En cambio, la PCRus sólo existen diferencias significativas en la interacción tiempo ($p=0.01$). En las interacciones grupo ($p=0.54$) y grupo x tiempo ($p=0.97$) no se observaron diferencias significativas. El análisis por grupo estas diferencias se presentan en 20%R ($p=0.03$) entre Pre S1 y Pre S12 ($p=0.01$).

Tabla 22. Resultados e Interacciones de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica en los tres protocolos de entrenamiento (Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo).

Variable	Grupo	Pre S1	Pre S12	Post S12	Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo $p<0.05$	Tiempo x Grupo $p<0.05$
CK (U/L)	20%R	75.33 (48.61)	104.89 (53.43)	112.44 (64.98)	0.13 – 0.17 – 0.02& 20%R vs 70%T. Post S12 ($p=0.01$)	20%R ($p=0.01$)
	70%T	74.83 (30.82)	75.33 (46.44)	65.17 (24.35)		Pre S1 vs Pre S12 ($p=0.01$)
	20%T	60.25 (18.38)	62.75 (29.52)	59.88 (24.35)		Pre S1 vs Post S12 ($p=0.01$)
PCRus (mg/L)	20%R	0.29 (0.16)	0.58 (0.31)	0.34 (0.19)	0.54 - 0.01# - 0.97	20%R ($p=0.03$)
	70%T	0.38 (0.26)	0.60 (0.81)	0.38 (0.33)		Pre S1 vs Pre S12 ($p=0.01$)
	20%T	0.25 (0.15)	0.41 (0.30)	0.25 (0.21)		

CK: creatin kinasas; U/L: unidades internacionales/litro; PCRus: Proteína-C Reactiva ultrasensible; mg/L: miligramo/litro; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20%; Pre S1: previo a la sesión 1; Pre S12: previo a la sesión 12; Post S12: posterior a la sesión 12; *: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (grupo) al término del entrenamiento; #: Cambios significativos entre las interacciones de dos factores (tiempo) al término del entrenamiento.

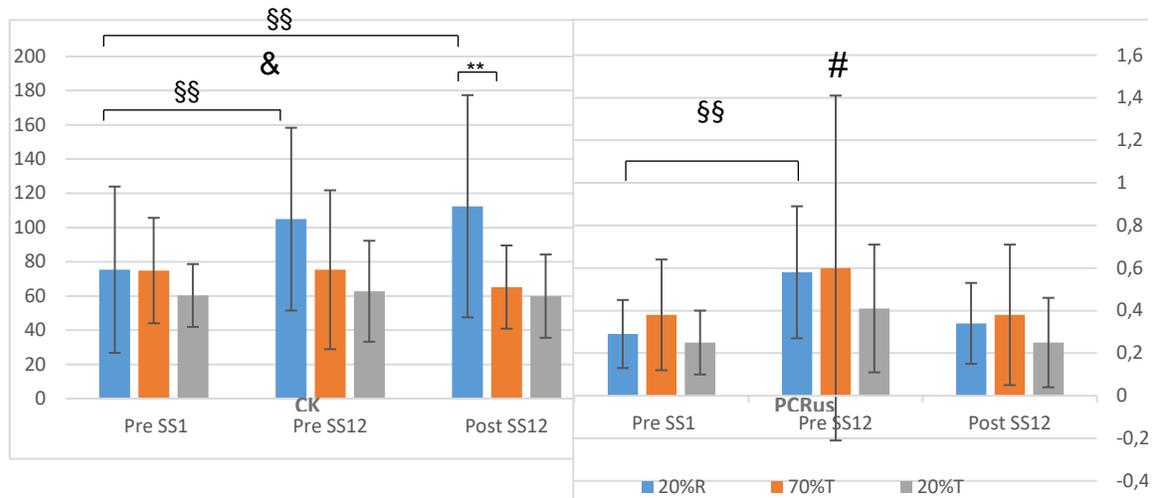


Gráfico 7. Resultados de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica: CK – PCRus

En la Tabla 23 y Gráfico 8 se presentan el tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos de las variables de CK y PCRus. La magnitud del TE observado en ambos biomarcadores fue siempre mayor en 20%R que en las restantes intervenciones. La CK, solo presenta un TE pequeño en 20%R al comparar Pre S1 vs Pre S12, y Pre S1 vs Post S12; los demás grupos de intervención en sus diferentes comparaciones, solo presentan TE triviales. La PCRus sólo presenta un TE al comparar Pre S1 vs Pre S12, grande en 20%R, y moderado en 70%T y 20%T; las demás interacciones son triviales. Al igual que en los valores absolutos, ambos biomarcadores, al comparar Pre S1 vs Pre S12, tienden a aumentar, principalmente en 20%R, para luego, en Pre S1 vs Post S12, disminuir y retornar hacia los valores basales, a excepción de 20%R, que sigue en aumento. Donde más sujetos respondieron favorablemente en las medidas de CK y PCRus fue en el grupo 70%T, seguido de 20%T y finalmente 20%R.^{IV}

^{IV} Para efectos de la metodología planteada, debe entenderse un efecto favorable tener los valores de CK y PCRus lo más cerca de los valores basales (Pre S1), aumentando lo menos posible.

Tabla 23. Resultados de las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica: CK - PCRus, incluyendo tamaño del efecto, porcentaje promedio de cambio al término de las intervenciones, número de participantes y porcentaje de participantes que respondieron favorablemente a los entrenamientos.

Variable	Grupo	TE Pre S1 – Pre S12	TE Pre S1 – Post S12	$\Delta\%$ Pre S1 – Pre S12	$\Delta\%$ Pre S1 – Post S12	Participantes que respondieron favorablemente			
						Pre S1 – Pre S12		Pre S1 – Post S12	
						Número	%	Número	%
CK (U/L)	20%R	0.61 [†]	0.76 ^{††}	39.23	49.26	2	22.2	1	11.1
	70%T	0.02	-0.31	0.67	-12.92	4	66.6	5	83.3
	20%T	0.14	-0.02	4.15	-0.62	3	37.5	5	62.5
PCRus (mg/L)	20%R	1.79 ^{‡‡}	0.34	100.00	19.23	2	22.2	4	44.4
	70%T	0.82 ^{††}	0.00	56.52	0.00	4	66.6	4	66.6
	20%T	1.07 ^{††}	0.00	65.00	0.00	5	62.5	5	62.5

CK: creatin kinasa; U/L: unidades internacionales/litro; PCRus: Proteína-C Reactiva ultrasensible; mg/L: miligramo/litro; 20%R: Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo al 20% 1RM; 70%T: Entrenamiento tradicional al 70% 1RM; 20%T: Entrenamiento tradicional al 20% 1RM; TE Pre S1 – Pre S12: tamaño del efecto entre previo a la sesión 1 y previo a la sesión 12; TE Pre S1 – Post S12: tamaño del efecto entre previo a la sesión 1 y posterior a la sesión 12; Categorías de TE: †: pequeño; ††: moderado; ‡‡: grande; Δ Pre S1 – Pre S12 (%): porcentaje promedio de cambio entre previo a la sesión 1 y previo a la sesión 12; Δ Pre S1 – Post S12 (%): porcentaje promedio de cambio entre previo a la sesión 1 y posterior a la sesión 12.

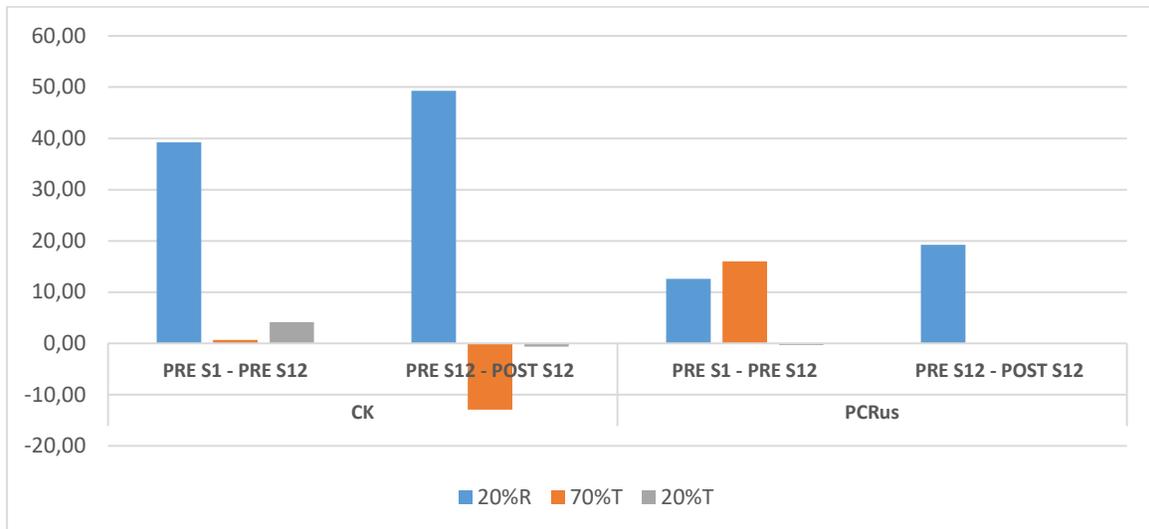


Gráfico 8. Porcentajes de cambio (%) en las variables derivadas de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica. Se comparan las mediciones realizadas en la última sesión (PRE S12 y POST S12) vs la primera sesión (PRE S1).

DISCUSIÓN

5 Discusión

El abordaje de este apartado considera los resultados de cada estudio, que responden a las hipótesis y objetivos del estudio.

5.1 Experimento n°1: fuerza máxima, relativa y explosiva.

El estudio demostró que en ambos entrenamientos aumenta el 1RM, 1RM/MC y $1RM/MC^{0,67}$, sin presentar diferencias significativas entre ellos; no obstante, los mayores TE se dan en 70%T para 1RM (FMax) y en 20%R para 1RM/MC y $1RM/MC^{0,67}$ (FR). En relación a la FE, el SJ-TV también aumentó de forma equivalente en los dos entrenamientos, el CMJ-TV también aumento, pero con diferencias significativas a favor de 20%R, en cambio el PSAP disminuyó, y los cambios significativos se observaron en 70%T. El TE de SJ-TV es similar en ambos grupos, para CMJ-TV es mayor en 20%R y en PSAP es mayor en 70%T.

En relación a los resultados obtenidos se pueden sostener parcialmente las hipótesis planteadas, donde se acepta la H1₄ dado el mayor aumento en el TV del CMJ en el entrenamiento con RPFS, se rechaza totalmente la H1₁, H1₃ y H1₅, pues en el cambio en 1RM y SJ-TV es mayor en 70%T y disminuye el PSAP, y en las demás hipótesis de FR y FE; se rechazan parcialmente, pues a pesar de no existir diferencias significativas entre los grupos, la magnitud de los cambios observados en 1RM/MC y $1RM/MC^{0,67}$ es mayor en RPFS.

5.1.1 Fuerza Máxima

La FMax está estrechamente relacionada con otros dominios de la capacidad física del ser humano, por ello, el EF permite mejorías en actividades deportivas y funcionales, las cuales deben considerar la relación dosis-respuesta de los ejercicios de fuerza y los períodos de tiempo asociados, así como la magnitud de los cambio registrados; el interés de esta investigación está en comprobar algunas modificaciones en las MF con el EF con RPFS. En períodos de intervención menores a cuatro semanas, los resultados obtenidos en el 1RM del grupo 20%R (9,82 kg. - 8,39%) son menores a las mejoras porcentuales obtenidas en varones saludables que van de 14% (27 kg.)⁷⁵ a 16,8%⁷⁶, pero similares a poblaciones

deportivas, tales como atletas, con 9,6% (20 kg.)⁷⁸, o rugbistas, que se han observado entre 4,5% (7,8 kg.)⁵⁹ a 8,9% (14,1 kg.)⁷⁷. Estas adaptaciones en FM se han observado anteriormente en periodos de tiempo similar^{276,294}, y aun cuando se continúa discutiendo las implicancias y mecanismos inductores en la fuerza y trofismo muscular con RPFS, existe evidencia que indica aumento de la señalización anabólica y síntesis proteica en solo una sesión de ejercicios con esta modalidad^{222,227}.

En 70%T aumentó el 1RM en un 7,91% (8,62 kg.), si bien hemos observado en otros trabajos mejorías más pronunciadas, estas han sido en periodos de entrenamiento más prolongados: 9,4 kg. en seis semanas²⁹⁵ o 28,9 kg en doce semanas²⁹⁶, asumimos que estas mejorías en la FM se deben principalmente a las adaptaciones neurales del EF⁹². Aun cuando no existen diferencias entre ambos tipos de entrenamiento, el mayor incremento del TE fue en 70%T, lo que concuerda con una revisión que compara las ganancias de fuerza entre ambas metodologías de entrenamiento⁵⁰; no obstante, debe tenerse en cuenta que la medición de la FMax mediante 1RM obedece al principio de la especificidad, donde el EF de alta intensidad promovería mayores adaptaciones de fuerza, mientras que en el EF de baja intensidad las adaptaciones serían de RMusc³⁹. Interesantemente el volumen de entrenamiento (total de repeticiones x kg levantados) de este grupo es mayor en al menos 500kg por sesión, lo cual contribuye a explicar este comportamiento; así si dos sujetos tienen 1RM de 100 kg., y uno se asigna a 70%T y el otro a 20%R, tendríamos que el primero partiría entrenando con un volumen sesión de 2520 kg (3 series x 12 repeticiones x 70kg) y llegaría a la doceava sesión con 3150 kg (3 series x 15 repeticiones x 70kg), mientras el segundo realizaría como máximo 1800 kg (3 series x 30 repeticiones x 20 kg) en toda la duración de la intervención. Es auspicioso obtener estos resultados con un EF y RPFS en solo cuatro semanas de entrenamiento, dado las menores intensidades relativas de carga y volumen aplicadas.

5.1.2 Fuerza Relativa

Existe una interacción en el tiempo en la FR, donde ambos entrenamientos demuestran que son efectivos en aumentarla, no obstante, los mayores incrementos porcentuales y en TE se observan en 20%R, con un 11,5% en 1RM/MC y 7,43% en 1RM/MC^{0,67} y TE moderado. Es frecuente que los resultados de estudios con RPFS reporten los valores absolutos de FMax (1RM), no obstante creemos que no incorporar en el análisis la FR puede ser un error, dado que durante la sentadilla se requiere la FM para levantar la MC y la carga de la barra, en este contexto la carga a levantar o el PC se incrementan a una mayor tasa que la FM ejercida contra el sistema de carga o peso, lo que podría proporcionar índices de rendimiento negativos¹³². Con la información disponible para una población joven se estimó la FR de dos entrenamientos de baja intensidad (20% 1RM) con y sin RPFS aplicado a futbolistas durante 4 semanas, en los cuales se incrementó la fuerza (1RM) y trofismo muscular, con cambios significativos a favor de RPFS, en términos de FR, lo cambios corresponden a un aumento de un 8,73 – 4,94% (1RM/MC ratio=1,72 a 1,87 - 1RM/MC^{0,67} ratio= 1,44 a 1,52) vs sólo un 5,74 – 3,27% en el grupo sin RPFS (1RM/BM ratio=1,67 a 1,75 - 1RM/MC^{0,67} ratio= 1,41 a 1,55)⁷⁷. Estos resultados son menores a los reportados en nuestro estudio (11,5%), probablemente debido a que las características de la población intervenida (deportistas recreacionales vs futbolistas) y a la diferencia en los parámetros de entrenamiento, sin embargo, el tiempo de intervención de ambos estudios fue el mismo, concordando con observaciones previas de este tipo de entrenamiento en el incremento de la FM en sólo cuatro semanas²⁷⁶. No obstante, los resultados que obtuvimos deben interpretarse cuidadosamente debido a que el aumento de la FR es dependiente del aumento del 1RM o de la disminución de MC, nuestros resultados indican que el 1RM aumentó en ambos grupos (9,8 kg en 20%R y 8,6 kg en 70%T), pero existió una disminución de la MC en 20%R (-1,55 kg vs. 0,84 kg) que induciría este incremento; aunque pueda ser especulativo, existe evidencia que el entrenamiento con RPFS incrementa el gasto energético, lo que podría contribuir en esta modificación del PC²⁹⁷.

5.1.3 Fuerza explosiva

El entrenamiento con RPFS ha demostrado ser eficiente en aumentar el rendimiento MF relacionadas con la FE, como en pruebas de velocidad^{56, 59} o tasa de desarrollo de la fuerza⁵⁶, sin embargo, la información es contradictoria en cuanto a modificaciones en el test de Bosco. En el presente estudio se observó que mejoran los rendimientos de los TV en ambos saltos, principalmente en el SJ (TE moderado vs pequeño del CMJ). Los resultados de los estudios que consideraron como indicador de potencia muscular al salto vertical son contradictorios, Madarame et al.²⁹⁸ no encontraron cambios significativos en la altura del CMJ al comparar un entrenamiento de 10 semanas con y sin RPFS al 30% 1RM y 200-250 mm Hg de PR; otros investigadores tampoco observaron incrementos en la altura de salto en el grupo con RPFS al comparar un entrenamiento de salto con y sin RPFS desarrollados durante 4 semanas y 200 mm Hg de PR, al contrario, los rendimientos de SJ y CMJ y la FM de extensores de rodilla fueron superiores en el grupo sin RPFS²⁹⁹; en cambio, en otro modelo experimental, si han observado mejorías en la altura del salto vertical, aunque sin diferencias entre un entrenamiento con RPFS y un EF de alta intensidad en condición de hipoxia⁵⁷, situación similar al tomar la potencia del CMJ como variable de interés y comparar dos grupos que entrenaron al 70% 1RM, con y sin RPFS a 180 mm Hg de PR⁵⁹, o como en otro diseño, que utilizó un modelo de medidas repetidas con RPFS unilateral y 200 mm Hg de PR, donde comprobó una mayor incremento del rendimiento del SJ o CMJ en la fase de recuperación⁵⁸, empero estos resultados, los mismos autores definen estos cambios como “poco claros”^{57, 58}. Las causas que pueden sustentar estos resultados estarían en las metodologías de intervención, que son diferentes y no comparables, incluyendo diversos instrumentos para medir el rendimiento de salto (potencia o altura de salto, o tipo de salto), o con las diferencias de las variables propias del EF con RPFS (tipo, modalidad, presiones o duración de la restricción, etc.), población de intervención, %1RM, tipo de ejercicio, formato de distribución de las series y repeticiones, pausas de recuperación, frecuencia de entrenamiento semanal, duración del período de intervención, tipo de cadena cinética usada durante el entrenamiento y otras variables específicas de cada protocolo de intervención⁵⁷⁻

^{59,298}. Al focalizarnos en algunos parámetros relativos a la prescripción del ejercicio, observamos que en nuestro trabajo se aplicaron dos PR fijas en todos los participantes (160 - 180 mmHg), lo que puede influenciar en las diferencias con otros estudios, dado que condiciona las respuestas anabólicas⁵¹, y las adaptaciones musculares, especialmente cuando se compara con PR individualizadas²⁵⁶. Otro factor que consideramos relevante es la velocidad de contracción del músculo o el tiempo bajo tensión, donde parece haber una zona óptima de duración de las repeticiones que a su vez conlleva un tiempo prolongado bajo tensión de éstas junto con un número relativamente significativo de repeticiones que favorecerían una adecuada acumulación de metabolitos en el músculo y los beneficios neuromusculares y metabólicos relacionados del EF con RPFS³⁰⁰, condición que también se ha observado en ejercicios de fuerza de baja intensidad sin RPFS realizados al fallo muscular³⁰¹. Finalmente, las adaptaciones de FE también se relacionan con el transcurso del tiempo y se pueden visualizar según el momento de realizada la medición, un reciente trabajo que evaluó las modificaciones en la fuerza rápida indicó que las ganancias de ésta no se manifestaron antes de los 12 días posteriores al cese de la sesión de ejercicio final, y que previo a ello, sólo en 5 días de recuperación, no hubo modificaciones o incluso se vieron afectados negativamente³⁰².

El PSAP se relaciona a cambios producidos en el CEA, la diferencia en el rendimiento de SJ y CMJ puede estar principalmente relacionada con la mayor absorción de holgura muscular y la acumulación de alta estimulación producida durante la fase de contramovimiento del CMJ⁴⁵. Hasta ahora, no hemos encontrado estudios que hayan abordado la relación entre SJ y CMJ ligado a la modalidad con RPFS, nuestros resultados indicaron un significativo incremento de SJ-TV en ambos grupos (TE moderado), y una mayor magnitud de cambio en el grupo 70%T (5,7% vs 10,3%); en cambio, en CMJ-TV, sólo se produjo un aumento significativo en 20%R (3,8%, TE moderado); estas diferencias generaron diferentes valores de PSAP al término de la intervención (20%R: -16,8% vs 70%T: -74,2%). Parece ser que el SJ es crucial para el rendimiento deportivo de alta intensidad, donde las recomendaciones del entrenamiento se orientan a intentar minimizar la diferencia

entre estos saltos, pues, generalmente no hay tiempo suficiente para realizar un gran contramovimiento durante la mayoría de las situaciones deportivas³⁰³. En nuestro caso, los rendimientos de altura de salto obtenidos no son elevados (SJ (cm): 20%R: 26,6-29,7 y 70%T: 29,1-35,3; CMJ (cm): 20%R: 35,0-37,7 y 70%T: 38,18-38,41) lo que podría indicar, que aun con las modificaciones positivas obtenidas en la FMax y FR, existe aún un déficit en la 1RM y en las variables de FR, que debiera propiciarse como plan de mejora; pues como se ha indicado, un mejor rendimiento del salto se relaciona con una mayor FM y la tasa de desarrollo de la fuerza de extremidades inferiores³⁰⁴. Estos datos de PSAP sugieren una gran compliance o distensibilidad muscular al inicio de ambos protocolos, situación que se revierte parcialmente en HL-RT al finalizar las intervenciones, donde el aumento proporcional de los TV de ambos saltos en el 20%R mantendría elevada la holgura muscular, en cambio, el mayor aumento en el SJ-TV (10,3%) y la nula modificación de CMJ-TV (0,3%), denotaría una positiva reducción de la holgura muscular en HL-RT. Al respecto, parece ser que una mayor diferencia entre el SJ y CMJ no es necesariamente mejor, pues reflejaría una capacidad deficiente para reducir el grado de holgura muscular y aumento rápido de la estimulación en el SJ⁴⁵. Aun cuando existen diferencias metodológicas con este estudio, Kubo et al.³⁰⁵, notaron diferencias en la relación FM - rigidez tendínea al comparar dos protocolos, uno con RPFS (20% 1RM) y otro de alta intensidad (80% 1RM), usando un ejercicio dinámico unilateral de predominancia excéntrica en cadena cinética abierta de extremidad inferior, observando un aumento de la fuerza y tamaño muscular en ambos grupos, pero sólo de la tensión específica y rigidez del complejo tendón-aponeurosis en el grupo de alta intensidad, sugiriendo que este último es eficaz en mejorar el rendimiento en ejercicios tipo CEA, donde el estrés mecánico del ejercicio de alta intensidad contribuye en la adaptación de la rigidez del tendón, y el estrés metabólico y mecánico producido en el ejercicio con RPFS se relacionan con la hipertrofia muscular. En este sentido, el comportamiento de las estructuras musculares parece responder de forma diferente a las características propias de ambos tipos de entrenamientos, especialmente a la carga o tensión mecánica aplicada (% 1RM), pues de acuerdo a nuestro resultados, aun cuando ambos

entrenamientos aumentan la FR y los SJ-TV, la menor carga mecánica utilizada durante la 20%R no lograría modificar la holgura muscular y aproximar las diferencias de rendimientos de los saltos SJ y CMJ, contrariamente a lo observado en 70%T. No obstante, dado los rendimientos observados inicialmente en ambos saltos, valdría la pena prestar atención a las mejoras de FMax y FR previo a profundizar en la FE relacionada al salto, dado que para aumentar las alturas de salto se requiere una alta producción de fuerza^{36,304} y FR, especialmente en personas menos experimentadas³².

5.1.4 Fuerza relativa y Fuerza explosiva

La FMax y la FE tienen alta importancia en actividades que requieren saltar con carga adicional o cuando el sujeto debe desplazar su propia MC²⁸; valores referenciales de 1RM/MC ratio en deportistas están en 1,7 – 2,0^{38, 148} y en 1,3 en deportistas recreacionales¹⁴⁹, lo cual es coherente con los resultados obtenidos en esta investigación e indican que la metodología propuesta en el EF con RPFS estuvo correctamente orientada a la mejora de la FMax, lo interesante y anexo es que también permitió mejorías en la FE. Hasta ahora no hemos visualizado una propuesta efectiva de prescripción con RPFS orientado a la FE y el salto, no obstante creemos necesario recordar que, un individuo no puede poseer un alto nivel de potencia sin antes ser relativamente fuerte¹⁰⁶, y después seguir las recomendaciones generales del entrenamiento deportivo, que sostiene que la primera estrategia sería aumentar la FM, para luego incorporar actividades tipo CEA, con énfasis en acciones relacionadas a la capacidad contráctil (SJ) o elástica (CMJ) del músculo, y finalmente ejercicios pliométricos de amplio espectro⁴⁴. Dentro de los métodos de entrenamiento tradicionales, la evidencia sugiere que la mejor manera de aumentar el salto vertical es a través de la combinación de un entrenamiento pliométrico y el de sobrecarga con pesas⁴⁷, que deben ejecutarse con alta velocidad o carga mecánica, no obstante, a partir de nuestros resultados, el EF con RPFS podría usarse como alternativa en la mejora de la FR y salto vertical en poblaciones activas recreacionales o no de elite, y ser usado cuando los métodos tradicionales no sean una alternativa eficiente de carga que facilite la adaptación del músculo, como por ejemplo, en personas con bajos niveles de FMax y FR, pero que

requieren aumentar rápidamente el rendimiento de la capacidad contráctil; o durante la periodización, cuando haya que bajar la intensidad de carga y mantener niveles de explosividad acordes con un buen rendimiento deportivo, realizando una alternancia de cargas entre el EF de alta intensidad y el EF de baja intensidad con RPFS, coherentemente estructurado en un amplio intervalo de tiempo.

5.2 Experimento n° 2: fuerza máxima biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica.

El experimento demostró que en los tres tipos de EF aumentó la FM de ambos grupos musculares, excepto en la 1RMQ de 20%R, donde se mantuvo sin cambios, tampoco se presentaron diferencias significativas al comparar los grupos con el 70%T, aunque los mayores TE se observaron en éste. La CK tiene una conducta distinta en cada grupo, en 20%R aumenta significativamente durante la intervención, en cambio, en los otros EF la magnitud de los cambios son menores y predomina la estabilidad; produciéndose diferencias significativas entre los grupos 20%R y 70%T al terminar las intervenciones (Post S12). En la PCRus, el comportamiento de los grupos es el mismo, produciéndose diferencias significativas en el factor tiempo, donde se observó un aumento previo a terminar el entrenamiento (Pre S12), para luego disminuir (Post S12); no obstante, la magnitud de los cambios solo produce diferencias significativas al interior de 20%R entre la condición basal (Pre S1) y previo a terminar el entrenamiento (Pre S12). En ambos biomarcadores, la magnitud del TE es mayor en 20%R en los dos momentos de comparación utilizados.

5.2.1 Fuerza muscular

La FMax (1RM) de cuádriceps ya fue analizada previamente en el experimento 1; a excepción de 1RMI, en el caso del grupo 20%R (RPFS) el cambio porcentual fue de 12,6% (11,9 kg.), estando bajo los 18,3% (7,9 kg.) obtenido en varones no entrenados³⁰⁶ o el 22,6% de varones saludables⁷⁶. Interesantemente, todos los grupos aumentaron la 1RMI (11.80 a 20.91%), inclusive con porcentajes y TE mayores a lo observado en la 1RMQ, esto también lo han observado otros autores, atribuyéndolo a que al inicio de la intervención los isquiotibiales estaban relativamente débiles³⁰⁷, este hallazgo puede ser coherente con lo informado por los participantes en la anamnesis, donde solo cuatro de ellos realizaban entrenamiento de esta musculatura más de una vez por semana, el resto solo lo hacían una vez por semana, esporádicamente o no lo entrenaban, y cuando lo realizaron fue con cargas moderadas o autocarga (peso corporal).

5.2.2 Biomarcadores de DMIE e Inflamación sistémica.

En función de estos resultados obtenidos se pueden sostener parcialmente las hipótesis planteadas, rechazándose la hipótesis H1₆ que indica el DMIE aumentaría en menor medida después de un EF de baja intensidad de carga con RPFS (20%R), cuando se compara con el EF tradicional de alta intensidad de carga (70%T), y aceptando parcialmente las hipótesis H1₇, H1₈ y H1₉, pues a pesar de no existir diferencias significativas entre los grupos en cuestión, la magnitud de los cambios observados en los biomarcadores es mayor en RPFS.

Diversas investigaciones sobre EF han usado estos marcadores para medir la respuesta aguda y crónica al ejercicio^{191, 202, 308, 309}. En el caso de la metodología con RPFS, la mayoría de los estudios, indican que no propician un mayor aumento en DMIE e inflamación que los EF tradicional.

En mediciones realizadas sólo en una sesión (interacciones agudas), las modificaciones en marcadores de DMIE e inflamación posterior al término de éstas han sido de baja magnitud, sugiriéndose que los ejercicios con RPFS no propician un aumento mayor de DMIE e inflamación que el EF tradicional^{215, 279}. En el caso de respuestas adaptativas al entrenamiento, la mayoría de los protocolos indican que el entrenamiento con RPFS no propicia un aumento mayor de DMIE e inflamación que otro tipo de entrenamientos. Estos programas han usado personas sin un entrenamiento previo al inicio de la experimentación y comparando principalmente modelos de baja intensidad, con y sin RPFS; en el caso de este estudio se aborda una población joven y activa. Otras diferencias observadas en los distintos protocolos son propias de la metodología de intervención, tales como: diseños para miembro superior e inferior, los grupos musculares intervenidos, el tipo de cadenas cinéticas ejecutadas, el número de ejercicios incluidos, el tipo de series realizadas (al fallo muscular o fijas: 30+15+15+15 repeticiones), el tiempo de pausa entre series o ejercicios, la PR, etc. Las tablas 24 y 25 resumen los principales resultados del comportamiento de la CK o PCR en relación el entrenamiento con RPFS.

Tabla 24. Modificaciones en la CK y PCRus en el entrenamiento con RPFS comparado con EF de baja intensidad sin RPFS.

N - Sexo – Edad	Nivel de entrenamiento	Duración del Entrenamiento	Protocolo usado	PR y Ancho del manguito	Biomarcadores y resultados de interés
10H. 23-38 5 RPFS 5 CONTROL <small>(realiza mismo protocolo sin RPFS)</small>	Físicamente activos, pero sin EF previo por un año	6 días, 2 veces al día, 2 semanas	20% 1RM Cadencia: _____ Series: 30-15-15-15 Pausa: 30"	100-160 mm Hg _____	CK, mioglobina No fueron elevados en promedio, pero mostraron gran variabilidad Cambios NS ³¹⁰
19H. 61-84 9 RPFS 10 CONTROL <small>(realiza mismo protocolo sin RPFS)</small>	Físicamente activos, pero sin EF previo por un año	12 semanas, 2 veces por semana	20-30% 1RM Cadencia: 1"CC-1"CE (Leg Extension) 1,3"CC-1,3"CE (Leg Press) Series: 30-20-15-10 P°: 30" + 90" entre ejercicios	120-270 mm Hg 50 mm.	FDP, D-dimer, CK CK tiende a disminuir Cambios NS ³¹¹
14M. 61-85 7 RPFS 7 CONTROL <small>(realiza mismo protocolo sin RPFS)</small>	Recreativas. Con leve experiencia en EF o sedentarias	12 semanas, 2 veces por semana + 12 semanas de desentrenamiento	20-30% 1RM Cadencia: 1,2"CC-1,2"CE Series: 30-15-15-15 P°: 30" + 90" entre ejercicios	120-270 mm Hg 30 mm.	FDP, D-dimer, CK, dROM, BAP Cambios NS en coagulación daño muscular y estrés oxidativo ²⁷⁷
17 H+M 61 – 85 9 RPFS (2H-7M): 71,8 (6,2) 8 CONTROL (1H-7M) - 68,0 (5,1) <small>(realiza mismo protocolo sin RPFS)</small>	Sanos (libres de enfermedades crónicas manifiestas) Sin en entrenamiento 6 meses previo al inicio	12 semanas, 2 días por semana	Banda elástica color verde para H y amarilla para M. Cadencia: 1,2"CC-1,2"CE Series: 30-15-15-15 P°: 30" + 90" entre ejercicios	120-270 mm Hg 30 mm	FDP, D-dimer, CK Cambios NS Entrenamiento con RPFS + banda elástica permite ganancias de FM y trofismo y no afectaron negativamente la rigidez arterial ²⁶²
16H 21.7 8 RPFS 8 CONTROL <small>(realiza mismo protocolo sin RPFS)</small>	Deportistas recreacionales, pero sin EF por un año previo.	6 días, 2 veces al día	20% 1RM Cadencia: 2"CC-2"CE Series: 30-15-15-15 P°: 30"	200 mm Hg _____	CK, Mioglobina, IL-6 Cambios NS en ambos grupos ³¹²

N: Número; CK: Creatin quinasa; H: Hombres; M: Mujeres; P°: Pausa; PR: Presión de restricción; RPFS: Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo; EF: Entrenamiento de fuerza; NS: No significativo; CC: Contracción concéntrica; CE: Contracción excéntrica; FDM: dilatación mediada por flujo de la arteria braquial; dROM: Derivados de metabolitos de especies reactivas de oxígeno; BAP: potencial biológico antioxidante; NS: no significativo; FM: Fuerza máxima; IL-6: Interleuquina 6, mm: Milímetros; mm Hg: Milímetros de mercurio

Tabla 25. Modificaciones en la CK y PCRus en el entrenamiento con RPFS comparado con EF de alta intensidad sin RPFS.

N - Sexo – Edad	Nivel de entrenamiento	Duración del Entrenamiento	Protocolo usado	PR y Ancho del manguito	Biomarcadores y resultados de interés
30 M 61-86 10 RPFS 10 EF -AI 10 CON EF-AI: banda elástica de alta resistencia CONTROL: sin ejercicio.	Físicamente activas. Sin en entrenamiento 6 meses previo al inicio	12 semanas, 2 veces por semana	Cadencia: Squat: 1,3"CC-1,3"CE Leg Ext 1"CC-1"CE Series: 30-15-15-15 P°: 30"+90" inter-ejercicio	160-200 mm Hg 50 mm.	FDP, D-dimer, CK: Cambios NS La RPFS aumenta el área muscular de muslo y FM, y no disminuye la función vascular ²⁷⁸
36H 56,6 (0,6) 13 RPFS 13 EF-AI 10 CON EF-AI: 80% 1RM CONTROL: sin ejercicio.	Sin en entrenamiento 4 meses previo al inicio	6 semanas, tres veces por semana.	20% 1RM Cadencia: 2"CC-2"CE Series: 30-15-15-15 P°: 30"	160-240 mm Hg 50 mm. Ajustes de presión según nivel de PSE La PR se quitó entre ambos ejercicios	CK, IL-6 Cambios NS en ambos grupos ³¹³
20 H 10RPFS: 23(2) 10HIT: 24(3) EF-AI: 70% 1RM	Sanos de actividad recreativa, sin EF 1 año previo al inicio	1 semana RPFS: 7 sesiones EF-AI: 3 sesiones Volúmenes igualados	20% 1RM Cadencia: 1,5"CC-1,5"CE Series: 4 al fallo muscular concéntrico P°: 30"en RPFS y 90" en EF-AI	100 mm Hg 13,5 cm de ancho	CK, GSH, TAC, MCP-1, IL-6, TFN-α Cambios NS, tanto en primera y última sesión. Diferencias NS vs EF-AI ⁸³
16 (14H, 2M) 18 – 30 9 RPFS (8H-1M) 7 HIT (6H-1M)	Sanos (sin antecedentes de enfermedad crónica o enfermedad aguda 3 meses previos) Sin EF (>1 día/sem) o que participara en otro tipo de ejercicios regulares (>60 min/sem),	4 semanas, 3 días por semana	RPFS: 30% 1RM Cadencia: 2"CC-2"CE Series: 3 al falla volitivo P°: 90"	1,3 x PS en reposo mm Hg 60 mm.	FDP, D-dimer, fibrinógeno, tPA antígeno, PCRus Cambios NS El EF con RPFS y EF-AI son eficaces en

EF-AI: 80% 1RM CONTROL: sin ejercicio.	durante el último año	Ajuste de carga para mantener un rango 30 – 50 repeticiones EF-AI: 80% 1RM al fallo volitivo	el aumento de la fuerza. No alteran la rigidez vascular, conducción nerviosa periférica, la función de coagulación sanguínea e inflamación ²⁷⁶ .
---	--------------------------	--	--

N: Número; CK: Creatin quinasa; PCRus: Proteína C reactiva ultra sensible; H: Hombres; M: Mujeres; P°: Pausa; PR: Presión de restricción; RPFS: Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo; EF: Entrenamiento de fuerza; NS: No significativo; EF-AI: Entrenamiento de fuerza de alta intensidad; CC: Contracción concéntrica; CE: Contracción excéntrica; PS: Presión sistólica; FDM: dilatación mediada por flujo de la arteria braquial; dROM: Derivados de metabolitos de especies reactivas de oxígeno; BAP: potencial biológico antioxidante; IL-6: Interleuquina 6; GSH: Glutacion; TAC: Capacidad antioxidante total; MCP-1: Proteína quimiotáctica de monocitos 1; TNF- α : factor de necrosis tumoral alfa; tPA antígeno: Antígeno del activador tisular del plasminógeno; NS: no significativo; FM: Fuerza máxima; mm: Milímetros; mm Hg: Milímetros de mercurio

Al comparar la CK y PCR en protocolos de baja intensidad con y sin RPFS^{262,277,310-312}, y de alta intensidad vs baja intensidad con RPFS^{83,276,278,313}, es evidente una alta diversidad en las variables intervinientes, tales como datos demográficos, condición física previa al inicio de la intervención, factores propios de la prescripción del ejercicio y de la RPFS. En el EF de baja intensidad con y sin RPFS se observa que en todos los casos no existen diferencias significativas entre los grupos, y la tendencia de la CK es a disminuir luego de finalizado la intervención en el entrenamiento con RPFS, en cambio en el EF de baja intensidad se observa una conducta heterogénea, en aumento o disminución. Estos resultados difieren parcialmente de los nuestros, donde tampoco hay cambios significativos entre ambos grupos, pero la conducta en 20%R es al aumento, en cambio en 20%T el comportamiento es mantenerse estable. En el EF de alta intensidad vs baja intensidad con RPFS, la CK, no presenta diferencias significativas entre los grupos, aunque las mayores modificaciones se observan en el EF de alta intensidad; y en el caso de la PCRus tampoco existen diferencias significativas entre los protocolos, aunque aquí los mayores valores se dan en RPFS²⁷⁶. Nuestro estudio coincide con no encontrar diferencias y la tendencia al aumento en la PCRus, pero difiere en CK,

donde si se observan diferencias significativas al término de los entrenamientos, siendo más altos los valores con RPFS. Estas diferencias podrían explicarse porque la magnitud del daño histológico en las fibras musculares no necesariamente coincide con la magnitud de los síntomas³¹⁴ o con el comportamiento en el tiempo de los biomarcadores asociados a DMIE³¹⁵; a las diferencias metodológicas ya comentadas, pero también por la conjugación de los factores propios del EF con RPFS, pues se ha observado que estos indicadores parecen variar de acuerdo a la intensidad, duración o número de series^{312,316,317}, tiempo de muestreo o modo de ejercicio³¹³, ejecución de series al fallo vs fijas³¹⁸ o con compresión continua vs intermitente²⁸⁰; otro factor influyente podría estar en las características de la población estudiada, que es joven y activa. Estos factores pueden determinar la magnitud de la tensión específica o el entorno metabólico de los músculos entrenados, lo que se puede reflejar en las diferencias de magnitud de los biomarcadores evaluados, no obstante, se debe considerar que los valores obtenidos se encuentran en un rango de normalidad para una situación de reposo^{186,319}. El estrés mecánico y metabólico producidos por el EF son causantes del DMIE¹⁸⁰, pero también inducen la activación inicial que produce la hipertrofia muscular¹⁷⁰. El estrés mecánico se genera con ejercicios de sobrecarga mayores al 65% 1RM y el estrés metabólico con ejercicios de baja carga realizados hasta el fallo muscular¹⁶⁶; en el EF con RPFS se vislumbran ambas acciones, y aun cuando esta modalidad se lleva a cabo con menor carga, la intensidad se considera alta, pues aumentan y se acumulan metabolitos y hormonas, pero sin generar estrés mecánico, lo que puede explicar la ausencia de DMIE²¹¹, especialmente porque se evita el alargamiento muscular bajo tensión¹⁷⁵.

Incluir una medición mientras se desarrollaban los EF (Pre S12) tenía como propósito observar el efecto acumulativo de la carga de entrenamiento con recuperación parcial (<48 hrs) sobre estos marcadores, observándose que solo el protocolo con RPFS produjo cambios significativos de la CK y PCRus con la condición basal, sugiriendo que 70%T y 20%T parecieran haber tolerado de mejor forma el estrés del EF, adaptándose y produciendo un menor aumento en las concentraciones de estos biomarcadores mientras avanza el período de

entrenamiento³²⁰, y donde además el músculo esquelético se adapta al DMIE y queda protegido de estímulos perjudiciales posteriores, fenómeno conocido como “efecto de combate repetido”³²¹; esta observación no la hemos visualizado en otros estudios, y aunque es difícil comprobar si estas diferencias en los biomarcadores se deban a condiciones especiales del EF con RPFS, como la compresión muscular inducida por el manguito de restricción, los cambios obtenidos en los biomarcadores son relativamente de baja magnitud^{186,319}, aludiendo que el EF con RPFS genera un mayor estrés en la célula muscular, pero no propicia DMIE e inflamación en comparación a los otros protocolos usados.

Los efectos del DMIE sobre la fuerza, el dolor y la hinchazón muscular están bien caracterizados, por el contrario, mucho menos se sabe sobre cómo afecta la inflamación intramuscular y los aspectos moleculares de la adaptación o remodelación muscular¹⁸², más aun durante el entrenamiento con RPFS. Parece relevante la presencia de DMIE e inflamación, la modificación del entorno celular podría facilitar respuestas y adaptaciones musculares orientadas al desarrollo de la fuerza e hipertrofia; recientemente se ha indicado que, en varones saludables, jóvenes y entrenados recreativamente, en un período de entrenamiento de alta frecuencia de tres semanas no parece haber daño celular general (daño muscular, inflamación o estrés oxidativo medido por marcadores plasmáticos), pero si signos de inflamación tisular y estrés o reorganización focal de la membrana miocelular, dado el aumento agudo observado en las proteínas de choque térmico - heat shock proteins (HSP27) y macrófagos de las líneas pro (MP-M1) y anti-inflamatorio (MP-M2), los cuales estarían involucrados en la proliferación y aumento del contenido de células satélites miogénicas, favoreciendo una adaptación hipertrófica⁸³. En este contexto, los procesos de daño e inflamación muscular³²², así como la activación muscular inducida por fatiga a nivel metabólico³²³ estarían relacionadas y generarían un entorno que favorezca adaptaciones anabólicas, además la regeneración y reparación del tejido muscular posterior al DMIE se llevan a cabo por programas de transcripción proteica asociados o promovidos por procesos inflamatorios, la actividad de las células satélites, la producción de IGF-1 y la

inflamación celular³²⁴, todos mecanismos de adaptación hipertrófica y de FM ligados a la RPFS.

En conjunto con los resultados de ambos experimentos, se sugiere usar programas de ejercicios con RPFS como alternativa de entrenamiento para optimizar las MF tales como la FMax, FR y FE en población activa con orientación recreativa. Nuestros hallazgos permiten sostener que las mejoras en la FMax pueden transferirse a la FE medida como capacidad de salto, pero utilizando una menor intensidad mecánica y volumen relativo de carga. En personas con características similares a la muestra de estudio y que sean aptos para desarrollar un entrenamiento de fuerza, un esquema de entrenamiento recomendado sería partir con ejercicios con RPFS y luego de un período de tiempo cercano a las cuatro semanas, pasar a ejercicios de fuerza de alta intensidad (>65% 1RM).

Además, aunque la presencia de biomarcadores de DMIE e inflamación sistémica estén más elevados en el entrenamiento con RPFS que en los modelos tradicionales de EF, siguen siendo de baja magnitud y no se asociaría a daño muscular; especialmente porque al producirse DMIE de forma controlada favorecerían adaptaciones anabólicas ligadas al desarrollo de la fuerza.

CONCLUSIONES

6 Conclusiones

Expuestos los resultados y discutidos los mismos, hemos llegado a las siguientes conclusiones:

En relación al experimento n°1:

1. El entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo demostró ser tan eficaz como el entrenamiento de fuerza de alta intensidad al aumentar la fuerza máxima y fuerza relativa de la musculatura extensora de extremidad inferior en cuatro semanas de entrenamiento.
2. Los aumentos en fuerza máxima y relativa de ambos tipos de entrenamiento facilitaron el incremento de forma significativa del tiempo de vuelo del SJ, no así en el tiempo de vuelo del CMJ, donde solo hubo un incremento con el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo.
3. El porcentaje de aumento de pre-estiramiento (PSAP) solo disminuyó en el entrenamiento de fuerza de alta intensidad.
4. Las mejoras en la fuerza máxima, relativa y explosiva logradas con el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo parecen estar ligadas a mejoras en la capacidad contráctil y elástica del músculo.

En relación al experimento n°2:

5. Los tres tipos de entrenamiento de la fuerza propiciaron aumentos equivalentes en la fuerza máxima de cuádriceps e isquiotibiales, a excepción de los músculos cuádriceps de las personas que desarrollaron entrenamiento de fuerza de baja intensidad.
6. El biomarcador de daño muscular, Creatin kinasa, aumenta en mayor magnitud en el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo en relación a ambos entrenamientos de fuerza tradicional; no obstante, solo difiere estadísticamente en relación al entrenamiento de alta intensidad.
7. El biomarcador de inflamación sistémica, proteína-C reactiva ultrasensible, no difiere entre los tres tipos de entrenamientos, sólo promueve un aumento

significativo de este biomarcador en el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo en el transcurso del tiempo.

8. Aun cuando solo en el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo pareciera provocar un mayor estrés miocelular que los otros tipos de entrenamiento, no indicarían daño muscular inducido por ejercicio.
9. En función de los resultados obtenidos, nos inclinamos por sugerir al entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo como una alternativa válida para desarrollar diversas manifestaciones de la fuerza; además generaría alteraciones miocelulares, que de acuerdo a la literatura, serían necesarias para facilitar las adaptaciones fisiológicas ligadas al desarrollo de la fuerza.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'G. M. A.', enclosed in a thin black rectangular border.

FIRMA

LIMITACIONES Y PROYECCIONES DE LA INVESTIGACIÓN

7 Limitaciones y proyecciones de la investigación.

Una vez concluido el proceso de experimentación y redacción de la investigación, creemos oportuno añadir diversas consideraciones en relación a las limitaciones del estudio. A continuación se enumeran.

1. Usar una presión de restricción fija vs una individualizada puede haber permitido obtener resultados diferentes o afinar los existentes.
2. No contabilizar de forma precisa el volumen de entrenamiento, si bien es cierto que tenemos una aproximación y la literatura nos respalda en cuanto a su comportamiento habitual; su inclusión pudo permitir haber detallado de mejor forma los resultados obtenidos.
3. El tamaño de la muestra es pequeño y determinado por conveniencia; para homogeneizar la muestra y evitar riesgos, se aplicaron criterios de exclusión rigurosos que fue restando potenciales participantes; no obstante, los grupos de intervención, especialmente del experimento n°1 se asemejan a los comúnmente publicados y permite confiar en los resultados obtenidos. Muestras de mayor tamaño facilita la validez en los resultados.
4. Aun cuando los principales resultados son de interés, estos no son transferibles a otras poblaciones, no obstante, pueden permitir hipotetizar efectos y variantes coherentes del EF.

En cuanto a las proyecciones, creemos pertinente:

1. Profundizar las adaptaciones producidas en la FR y FE, tanto en poblaciones deportivas como en otras; en esto, puede ser relevante aplicar intervenciones a personas en condiciones de hipomovilidad o adultos mayores.
2. Juzgamos también que es necesario indagar más en las modificaciones de los diferentes parámetros del entrenamiento ligados a RPFS, así como impulsar la generación de un algoritmo que facilite la toma de decisiones en la selección de las personas que puedan verse beneficiado con esta metodología, de tal forma de minimizar los riesgos y acrecentar los beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

8 Referencias Bibliograficas.

1. Kendall B, Eston R. Exercise-induced muscle damage and the potential protective role of estrogen. *Sports Med.* 2002; 32(2):103-23.
2. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I-M, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43(7):1334-59.
3. Williams MA, Haskell WL, Ades PA, Amsterdam EA, Bittner V, Franklin BA, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation.* 2007; 116(5):572-84.
4. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, et al. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(5 Suppl):S60-79.
5. Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS. Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2004; 59(1):M48-M61.
6. Moran J, Sandercock G, Ramirez-Campillo R, Clark CCT, Fernandes JFT, Drury B. A meta-analysis of resistance training in female youth: Its effect on muscular strength, and shortcomings in the literature. *Sports Med.* 2018; 48(7):1661-71.
7. Harries SK, Lubans DR, Callister R. Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2012; 15(6):532-40.

8. Shaw BS, Shaw I, Brown GA. Resistance exercise is medicine: Strength training in health promotion and rehabilitation. *Int J Rehabil Res.* 2015; 22(8):385-9.
9. Nguyen C, Lefevre-Colau M-M, Poiraudeau S, Rannou F. Rehabilitation (exercise and strength training) and osteoarthritis: a critical narrative review. *Ann Phys Rehabil Med.* 2016; 59(3):190-5.
10. Ivey FM, Prior SJ, Hafer-Macko CE, Katzel LI, Macko RF, Ryan AS. Strength Training for Skeletal Muscle Endurance after Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2017; 26(4):787-94.
11. De Hoyo M, Pozzo M, Sañudo B, Carrasco L, Gonzalo-Skok O, Domínguez-Cobo S, et al. Effects of a 10-week in-season eccentric-overload training program on muscle-injury prevention and performance in junior elite soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015; 10(1):46-52.
12. Liu C-j, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009; 3(3).
13. Smith JJ, Eather N, Morgan PJ, Plotnikoff RC, Faigenbaum AD, Lubans DR. The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2014; 44(9):1209-23.
14. Perales M, Santos-Lozano A, Ruiz JR, Lucia A, Barakat R. Benefits of aerobic or resistance training during pregnancy on maternal health and perinatal outcomes: A systematic review. *Early Hum Dev.* 2016; 94:43-8.
15. Jurca R, Lamonte MJ, Church TS, Earnest CP, Fitzgerald SJ, Barlow CE, et al. Associations of muscle strength and fitness with metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36(8):1301-7.
16. Cepal N. El envejecimiento y las personas de edad: indicadores sociodemográficos para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL; 2009.

17. Legetic B, Medici A, Hernández-Ávila M, Alleyne G, Hennis A. Las dimensiones económicas de las enfermedades no transmisibles en América Latina y el Caribe. 3ª ed. Washington, D.C. OPS: 2017.
18. Elizondo-Armendáriz JJ, Guillén Grima F, Aguinaga Ontoso I. Prevalencia de actividad física y su relación con variables sociodemográficas y estilos de vida en la población de 18 a 65 años de Pamplona. *Rev. Esp. Salud Publica.* 2005; 79(5):559-67.
19. Martínez MA, Leiva AM, Petermann F, Garrido A, Díaz X, Álvarez C, et al. Factores asociados a sedentarismo en Chile: evidencia de la Encuesta Nacional de Salud 2009-2010. *Rev Med Chil.* 2018; 146(1):22-31.
20. Gale CR, Martyn CN, Cooper C, Sayer AA. Grip strength, body composition, and mortality. *Int J Epidemiol.* 2007; 36(1):228-35.
21. Jackson AW, Lee DC, Sui X, Morrow Jr JR, Church TS, Maslow AL, et al. Muscular strength is inversely related to prevalence and incidence of obesity in adult men. *Obesity.* 2010; 18(10):1988-95.
22. FitzGerald SJ, Barlow CE, Kampert JB, Morrow Jr JR, Jackson AW, Blair SN. Muscular fitness and all-cause mortality: prospective observations. *J Phys Act Health.* 2004; 1(1):7-18.
23. Volaklis KA, Halle M, Meisinger C. Muscular strength as a strong predictor of mortality: a narrative review. *Eur J Case Rep Intern Med.* 2015; 26(5):303-10.
24. Artero EG, Lee D-c, Lavie CJ, España-Romero V, Sui X, Church TS, et al. Effects of muscular strength on cardiovascular risk factors and prognosis. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2012; 32(6):351-8.
25. Brill PA, Macera CA, Davis DR, Blair SN, Gordon N. Muscular strength and physical function. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(2):412-6.
26. Burton LA, Sumukadas D. Optimal management of sarcopenia. *Clin Interv Aging.* 2010; (5):217-28.

27. Cawthon PM, Fox KM, Gandra SR, Delmonico MJ, Chiou CF, Anthony MS, et al. Do muscle mass, muscle density, strength, and physical function similarly influence risk of hospitalization in older adults? *J Am Geriatr Soc.* 2009; 57(8):1411-9.
28. Kraska JM, Ramsey MW, Haff GG, Fethke N, Sands WA, Stone ME, et al. Relationship between strength characteristics and unweighted and weighted vertical jump height. *Int J Sports Physiol Perform.* 2009; 4(4):461-73.
29. Fleck S, Kraemer W. *Designing resistance training programs.* 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
30. Smilios I, Sotiropoulos K, Christou M, Douda H, Spaias A, Tokmakidis SP. Maximum power training load determination and its effects on load-power relationship, maximum strength, and vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2013; 27(5):1223-33.
31. Kobal R, Nakamura F, Kitamura K, Abad CC, Pereira L, Loturco I. Vertical and depth jumping performance in elite athletes from different sports specialties. *Sci Sports.* 2017; 32(5):e191-e6.
32. Peterson MD, Alvar BA, Rhea MR. The contribution of maximal force production to explosive movement among young collegiate athletes. *J Strength Cond Res.* 2006; 20(4):867-73.
33. Tillin NA, Pain MT, Folland JP. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Exp. Physiol.* 2012; 97(5):630-41.
34. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 2002; 93(4):1318-26.
35. Bompa TO. Músculos, contracción muscular y fuerza. *Periodización de la fuerza. La nueva onda en el entrenamiento de la fuerza. 1: Los fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Biosystem servicio educativo; 1995. p. 28-32.*

36. Baker D. Improving Vertical Jump Performance Through General, Special, and Specific Strength Training: A Brief Review. *J Strength Cond Res.* 1996; 10(2):131-6.
37. Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(1):140-7.
38. Nuzzo JL, McBride JM, Cormie P, McCaulley GO. Relationship between countermovement jump performance and multijoint isometric and dynamic tests of strength. *J Strength Cond Res.* 2008; 22(3):699-707.
39. Ratamess NAA, Brent A.; Evetoch, Tammy K.; Housh, Terry J.; Kibler, W. Ben; Kraemer, William J.; and Triplett N. Travis. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009; 41(3):687-708.
40. Hwang P, Willoughby DS. Mechanisms Behind Blood Flow Restricted Training and its Effect Towards Muscle Growth. *J Strength Cond Res.* En prensa 2017.
41. Schoenfeld BJ, Peterson MD, Ogborn D, Contreras B, Sonmez GT. Effects of Low- vs. High-Load Resistance Training on Muscle Strength and Hypertrophy in Well-Trained Men. *J Strength Cond Res.* 2015; 29(10):2954-63.
42. Morton RW, Oikawa SY, Wavell CG, Mazara N, McGlory C, Quadriatero J, et al. Neither load nor systemic hormones determine resistance training-mediated hypertrophy or strength gains in resistance-trained young men. *J Appl Physiol.* 2016; 121(1):129-38.
43. Schoenfeld BJ, Wilson JM, Lowery RP, Krieger JW. Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci.* 2016; 16(1):1-10.
44. Carlson K, Magnusen M, Walters P. Effect of Various Training Modalities on Vertical Jump. *Res Sports Med.* 2009; 17(2):84-94.

45. Van Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with practical applications. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(7):2011-20.
46. Chmielewski T, Myer G, Kauffman D, Tillman S. Plyometric Exercise in the Rehabilitation of Athletes: Physiological Responses and Clinical Application. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2006; 36(5):308-319.
47. Perez-Gomez J, Calbet JA. Training methods to improve vertical jump performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 2013; 53(4):339-57.
48. Rossi FE, de Freitas MC, Zanchi NE, Lira FS, Cholewa JM. The role of inflammation and immune cells in blood flow restriction training adaptation: A review. *Front Physiol.* 2018; 9:1376.
49. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *J Sports Sci.* 2018; 36(2):123-130.
50. Lixandrao ME, Ugrinowitsch C, Berton R, Vechin FC, Conceicao MS, Damas F, et al. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load resistance training associated with blood-flow restriction: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018; 48(2):361-78.
51. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med.* 2014; 45(3):313-25.
52. Sieljacks P, Knudsen L, Wernbom M, Vissing K. Body position influences arterial occlusion pressure: implications for the standardization of pressure during blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2018; 118(2):303-12.
53. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev.* 2009; 37(2):78-85.

54. Laurentino GC, Ugrinowitsch C, Roschel H, Aoki MS, Soares AG, Neves Jr M, et al. Strength training with blood flow restriction diminishes myostatin gene expression. *Med Sci Sports Exerc.* 2012; 44(3):406-12.
55. Slysz J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2016; 19(8):669-75.
56. Behringer M, Behlau D, Montag JCK, McCourt ML, Mester J. Low-intensity sprint training with blood flow restriction improves 100-m dash. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(9):2462-72.
57. 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. *J Sports Sci Med.* 2013; 16(4):337-42.
58. Beaven CM, Cook CJ, Kilduff L, Drawer S, Gill N. Intermittent lower-limb occlusion enhances recovery after strenuous exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012; 37(6):1132-9.
59. Cook CJ, Kilduff LP, Beaven CM. Three weeks of occlusion training can improve strength and power in trained athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9(1):166-72.
60. Luebbers PE, Fry AC, Kriley LM, Butler MS. The Effects of a Seven-week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-trained Collegiate Athletes. *J Strength Cond Res.* 2014; 28(8):2270-80.
61. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 108(1):147.
62. 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. *J Appl Physiol.* 2000; 88(6):2097-106.

63. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, Riis S, Ringgard S, Vissing K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scand J Med Sci Sports*. 2015; 25(6):754-63.
64. Pearson SJ, Hussain SR. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med*. 2014; 45(2):187-200.
65. Fahs CA, Loenneke JP, Rossow LM, Tiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*. 2012; 1(1):14-22.
66. Thiebaud RS, Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Kim D, Abe T, et al. 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. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013; 33(5):344-52.
67. Yokokawa Y, Hongo M, Urayama H, Nishimura T, Kai I. Effects of low-intensity resistance exercise with vascular occlusion on physical function in healthy elderly people. *Biosci Trends*. 2008; 2(3):117-23.
68. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *J Geriatr Phys Ther*. 2010; 33(1):34-40.
69. Ozaki H, Sakamaki M, Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sugaya M, et al. Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2011; 66(3):257-63.
70. Ozaki H, Miyachi M, Nakajima T, Abe T. Effects of 10-weeks walk training with leg blood flow reduction on carotid arterial compliance and muscle size in the elderly adults. *Angiology*. 2011; 62(1):81-6.
71. Ozaki H, Loenneke JP, Abe T. Blood flow-restricted walking in older women: does the acute hormonal response associate with muscle hypertrophy? *Clin Physiol Funct Imaging*. 2015; 37(4):379-83.

72. Centner C, Wiegel P. Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2018; 49(1):95-108.
73. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017; 51:1003-11.
74. Kubota A, Sakuraba K, Sawaki K, Sumide T, Tamura Y. Prevention of disuse muscular weakness by restriction of blood flow. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40(3):529-34.
75. Yasuda T, Abe T, Sato Y, Midorikawa T, Inoue K, Ryushi T, et al. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 2005; 1(2):65-70.
76. Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Inoue K, Koizumi K, et al. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 2005; 1(1):6-12.
77. Yamanaka T, Farley RS, Caputo JL. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(9):2523-2529.
78. Abe T, Kawamoto K, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y. Eight days KAATSU-resistance training improved sprint but not jump performance in collegiate male track and field athletes. *Int. J. KAATSU Train.* 2005; 1(1):19-23.
79. Brandner CR, May AK, Clarkson MJ, Warmington SA. Reported side-effects and safety considerations for the use of blood flow restriction during exercise in practice and research. *Tech Orthop.* 2018; 33(2):114-21.
80. Loenneke J, Wilson J, Wilson G, Pujol T, Bembem M. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* 2011; 21(4):510-8.
81. Wernbom M, Paulsen G, Nilsen TS, Hisdal J, Raastad T. Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(6):2051-63.

82. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *J Strength Cond Res.* 2013; 27(11):3068-75.
83. Nielsen JL, Aagaard P, Prokhorova TA, Nygaard T, Bech RD, Suetta C, et al. Blood-flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat-shock proteins, but no apparent muscle damage. *J Physiol.* 2017; 595(14):4857-73.
84. Navarro Valdivielso F, Gonzalez Badillo, J, Requena Sánchez, B. La fuerza muscular, Análisis, desarrollo y pruebas de evaluación. In: Rodrigues García P, editor. *Ejercicio físico en las salas de acondicionamiento muscular: bases científico-médicas para una práctica segura y saludable.* Médica Panamericana ed. Madrid, España; 2008. p. 9-28.
85. González Badillo J, Ribas Serna J. La fuerza en relación al rendimiento deportivo. In: González Badillo J, Ribas Cerna J, editors. *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza.* Barcelona, España; 2002. p. 11-30.
86. Jaric S. Muscle strength testing. Use of normalisation for body size. *Sports Med.* 2002; 32(10):615-31.
87. Pancorbo Sandoval AE. Metodología para el desarrollo de la capacidad de fuerza en el deporte de competición. In: Pancorbo Sandoval AE, editor. *Medicina y ciencias del deporte y actividad física.* Madrid, España; 2008. p. 265-88.
88. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med.* 2016; 46(10):1419-49.
89. Andersen LL, Aagaard P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 96(1):46-52.
90. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116(6):1091-116.

91. Mahecha Matsudo S. Beneficios de la actividad física para la promoción de la salud. In: Mahecha Matsudo S, editor. *Actividad física y ejercicio en salud y enfermedad*. Santiago, Chile; 2017. p. 29-70.
92. Folland JP, Williams AG. Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007; 37(2):145-68.
93. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*. 2003; 89(6):555-63.
94. Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: the evidence. *Can Med Assoc J*. 2006; 174(6):801-9.
95. Warburton DE, Bredin SS. Reflections on physical activity and health: what should we recommend? *Can Med Assoc J*. 2016; 32(4):495-504.
96. Morra EA, Zaniqueli D, Rodrigues SL, El-Aouar LM, Lunz W, Mill JG, et al. Long-term intense resistance training in men is associated with preserved cardiac structure/function, decreased aortic stiffness, and lower central augmentation pressure. *J Hypertens*. 2014; 32(2):286-93.
97. Jorge RT, Souza MC, Chiari A, Jones A, Fernandes Ada R, Lombardi Junior I, et al. Progressive resistance exercise in women with osteoarthritis of the knee: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2015; 29(3):234-43.
98. Flansbjer U-B, Lexell J, Brogårdh C. Long-term benefits of progressive resistance training in chronic stroke: a 4-year follow-up. *J Rehabil Med*. 2012; 44(3):218-21.
99. Chou C-H, Hwang C-L, Wu Y-T. Effect of exercise on physical function, daily living activities, and quality of life in the frail older adults: A meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93(2):237-44.
100. Warburton DE, Gledhill N, Quinney A. Musculoskeletal fitness and health. *Can J Appl Physiol*. 2001; 26(2):217-37.

101. Lesinski M, Prieske O, Granacher U. Effects and dose–response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2016; 50(13):781-95.
102. Blagrove RC, Howatson G, Hayes PR. Effects of strength training on the physiological determinants of middle- and long-distance running performance: A systematic review. *Sports Med.* 2018; 48(5):1117-49.
103. Kraemer WJ RN. Physiology of resistance training: current issues. *Orthop. Clin. North Am.* 2000; 9(4):467-513.
104. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep.* 2002; 1(3):165-71.
105. De Villarreal ES-S, Requena B, Newton RU. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2010; 13(5):513-22.
106. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med.* 2011; 41(2):125-46.
107. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: training considerations. *Sports Med.* 2018; 48(4):1-21.
108. Haff G, Ruben R, Molinari M, Painter K, Ramsey MW, Stone ME, et al. The relationship between the eccentric utilization ratio, reactive strength, and pre-stretch augmentation and selected dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res.* 2010; 24:1.
109. McGuigan MR, Doyle TLA, Newton M, Edwards DJ, Nimphius S, Newton RU. Eccentric utilization ratio: effect of sport and phase of training. *J Strength Cond Res.* 2006; 20(4):992-5.
110. Rader EP, Baker BA. Inflammaging and the age-specific responsiveness to stretch-shortening contractions. *Exerc Sport Sci Rev.* 2017; 45(4):195-200.

111. Correa CS, Wilhelm EN, Cadore EL, Geremia J, Teixeira BC, de Oliveira ÁR, et al. Strength training with stretch-shortening cycle exercises optimizes neuromuscular economy during functional tasks in elderly women. *Sci Sports*. 2014; 29(1):27-33.
112. Nicol C, Avela J, Komi PV. The stretch-shortening cycle. A Model to Study Naturally Occurring Neuromuscular Fatigue. *Sports Med*. 2006; 36(11):977-99.
113. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. 2000; 33(10):1197-206.
114. Malisoux L, Francaux M, Nielens H, Theisen D. Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *J. Appl. Physiol*. 2006; 100(3):771-9.
115. Taube W, Leukel C, Gollhofer A. How neurons make us jump: the neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exerc Sport Sci Rev*. 2012; 40(2):106-15.
116. Canavan PK, Vescovi JD. Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Med Sci Sports Exerc*. 2004; 36(9):1589-93.
117. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res*. 2004; 18(3):551-5.
118. Suchomel TJ, Sole CJ, Stone MH. Comparison of methods that assess lower-body stretch-shortening cycle utilization. *J Strength Cond Res*. 2016; 30(2):547-54.
119. Tufano JJ, Walker S, Seitz LB, Newton RU, Häkkinen K, Blazeovich AJ, et al. Reliability of the reactive strength index, eccentric utilisation ratio, and pre-stretch augmentation in untrained, novice jumpers. *Strength Cond J*. 2013; 21(S2):31-3.
120. Walshe AD, Wilson G, Murphy A. The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1996; 73(3):332-9.

121. Kubo K, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol.* 1999; 87(6):2090-6.
122. Pearson SJ, McMahon J. Lower limb mechanical properties: determining factors and implications for performance. *Sports Med.* 2012; 42(11):929-40.
123. Brazier J, Maloney S, Bishop C, Read P, Turner AN. Lower extremity stiffness: considerations for testing, performance enhancement and injury risk. *J Strength Cond Res.* En prensa 2017.
124. Bosco C. Test de Bosco. In: Bosco C, editor. *La valoración de la fuerza por el test de Bosco.* Colección Deporte y Entrenamiento. Barcelona: Paidotribo; 1994. p. 35-138.
125. Bosco C, Komi P, Tihanyi J, Fekete G, Apor P. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983; 51(1):129-35.
126. Di Giminiani R SR. Center of gravity height calculation and average mechanical power during jump performance. *IJSS.* 2006; 13:78-84.
127. Cronin JB, Hing RD, McNair PJ. Reliability and Validity of a Linear Position Transducer for Measuring Jump Performance. *J Strength Cond Res.* 2004; 18(3):590-3.
128. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2011; 25(2):556-60.
129. Casartelli N, Müller R, Maffiuletti NA. Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(11):3186-93.
130. Vittori C. L'allenamento della forza nello sprint. *Atletica Studi.* 1990; 1(2):3-25.

131. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power. *Sports Med.* 2011; 41(1):17-38.
132. Aasa U, Jaric S, Barnekow-Bergkvist M, Johansson H. Muscle strength assessment from functional performance tests: role of body size. *J Strength Cond Res.* 2003; 17(4):664.
133. Barbat-Artigas S, Pion CH, Leduc-Gaudet J-P, Rolland Y, Aubertin-Leheudre M. Exploring the role of muscle mass, obesity, and age in the relationship between muscle quality and physical function. *J Am Med Dir Assoc.* 2014; 15(4):303.e13-e20.
134. Barbat-Artigas S, Rolland Y, Zamboni M, Aubertin-Leheudre M. How to assess functional status: a new muscle quality index. *J Nutr Health Aging.* 2012; 16(1):67-77.
135. Monteiro ER, Brown AF, Bigio L, Palma A, dos Santos LG, Cavanaugh MT, et al. Male relative muscle strength exceeds females for bench press and back squat. *J Exerc Physiol Online.* 2016; 19:79-86.
136. Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Carlock J, Cardinale M, Newton RU. Relationship of maximum strength to weightlifting performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37(6):1037-43.
137. Folland JP, Mc Cauley TM, Williams AG. Allometric scaling of strength measurements to body size. *Eur J Appl Physiol.* 2008; 102(6):739-45.
138. Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA, Schneider SM, Sieber CC, Topinkova E, Vandewoude M, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing.* 2018; 48(1):16-31.
139. Schaap LA, van Schoor NM, Lips P, Visser M. Associations of sarcopenia definitions, and their components, with the incidence of recurrent falling and fractures: the longitudinal aging study Amsterdam. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2017; 73(9):1199-204.

140. Koster A, Visser M, Schaap LA. Adiposity, Muscle mass, and muscle strength in relation to functional decline in older persons. *Epidemiol Rev.* 2012; 35(1):51-65.
141. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010; 39(4):412-423.
142. Clark BC, Taylor JL. Age-related changes in motor cortical properties and voluntary activation of skeletal muscle. *Curr Aging Sci.* 2011; 4(3):192-9.
143. Vigotsky AD, Bryanton MA, Nuckols G, Beardsley C, Contreras B, Evans J, et al. Biomechanical, anthropometric, and psychological determinants of barbell back squat strength. *J Strength Cond Res.* En prensa 2018.
144. Markovic G, Jaric S. Scaling of muscle power to body size: the effect of stretch-shortening cycle. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 95(1):11-9.
145. Latin RW, Berg K, Baechle T. Physical and performance characteristics of NCAA division I male basketball players. *J Strength Cond Res.* 1994; 8(4):214-8.
146. Challis JH. The appropriate scaling of weightlifting performance. *J Strength Cond Res.* 1999; 13(4):367-71.
147. Atkins SJ. Normalizing expressions of strength in elite rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2004; 18(1):53-8.
148. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res.* 2002; 16(1):75-82.
149. McGuigan MR, Newton MJ, Winchester JB, Nelson AG. Relationship between isometric and dynamic strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(9):2570-3.

150. Jaric S, Radosavljevic-Jaric S, Johansson H. Muscle force and muscle torque in humans require different methods when adjusting for differences in body size. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 87(3):304-7.
151. Jacobson B, Thompson BJ, Conchola E, Glass R. A comparison of absolute, ratio and allometric scaling methods for normalizing strength in elite American football players. *J Athl Enhanc.* 2013; 2(2): 1-5.
152. Batterham AM, George KP. Allometric modeling does not determine a dimensionless power function ratio for maximal muscular function. *J Appl Physiol.* 1997; 83(6):2158-66.
153. Cleather DJ. Adjusting powerlifting performances for differences in body mass. *J Strength Cond Res.* 2006; 20(2):412-21.
154. Wisløff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc.* 1998; 30:462-7.
155. Jaric S, Mirkov D, Markovic G. Normalizing physical performance tests for body size: a proposal for standardization. *J Strength Cond Res* 2005; 19(2):467-74.
156. Oba Y, Hetzler RK, Stickley CD, Tamura K, Kimura IF, Heffernan TPJ. Allometric scaling of strength scores in NCAA division I-A football athletes. *J Strength Cond Res.* 2014; 28(12):3330-7.
157. Helgerud J, Rodas G, Kemi O, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med.* 2011; 32(09):677-82.
158. Blackburn JR, Morrissey MC. The relationship between open and closed kinetic chain strength of the lower limb and jumping performance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1998; 27(6):430-5.
159. Carlock JM, Smith SL, Hartman MJ, Morris RT, Ciroslan DA, Pierce KC, et al. The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *J Strength Cond Res.* 2004; 18(3):534-9.

160. Gonzalez F. Ortopedia, actividad física y salud. In: Mahecha Matsudo S, editor. *Actividad física y ejercicio en salud y enfermedad*. Santiago, Chile; 2017. p. 243-51.
161. Taipale RS, Mikkola J, Vesterinen V, Nummela A, Häkkinen K. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol*. 2013; 113(2):325-35.
162. Channell BT, Barfield JP. Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J Strength Cond Res*. 2008; 22(5):1522-7.
163. Fisher J, Steele J, Smith D. Evidence-based resistance training recommendations for muscular hypertrophy. *Med Sport*. 2013; 17(4):217-35.
164. Fisher J, Steele J, Bruce-Low S, Smith D. Evidence-based resistance training recommendations. *Med Sport*. 2011; 15(3):147-62.
165. Van Roie E, Delecluse C, Coudyzer W, Boonen S, Bautmans I. Strength training at high versus low external resistance in older adults: effects on muscle volume, muscle strength, and force–velocity characteristics. *Exp Gerontol*. 2013; 48(11):1351-61.
166. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, Burd NA, Breen L, Baker SK, et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol*. 2012; 113(1):71-7.
167. Izquierdo M, González-Badillo J, Häkkinen K, Ibanez J, Kraemer W, Altadill A, et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*. 2006; 27(09):718-24.
168. Ozaki H, Loenneke JP, Buckner SL, Abe T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Med Hypotheses*. 2016; 88:22-6.

169. Ozaki H, Loenneke J, Thiebaud R, Abe T. Cycle training induces muscle hypertrophy and strength gain: strategies and mechanisms. *Acta Physiol Hung.* 2015; 102(1):1-22.
170. Schoenfeld BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med.* 2013; 43(3):179-94.
171. Carpinelli RN, Otto RM, Winett RA. A critical analysis of the ACSM position stand on resistance training: insufficient evidence to support recommended training protocols. *JEPonline.* 2004; 7(3):1-60.
172. Henneman E, Somjen G, Carpenter DO. Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol.* 1965; 28:560-80.
173. Carpinelli RN. The size principle and a critical analysis of the unsubstantiated heavier-is-better recommendation for resistance training. *J Exerc Sci Fit.* 2008; 6(2):67-86.
174. Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low-vs. high-load resistance training: a systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(12):3508-23.
175. Plattner K, Baumeister J, Lamberts RP, Lambert MI. Dissociation in changes in EMG activation during maximal isometric and submaximal low force dynamic contractions after exercise-induced muscle damage. *Journal of electromyography and kinesiology. J Electromyogr Kinesiol.* 2011; 21(3):542-50.
176. Flann KL, LaStayo PC, McClain DA, Hazel M, Lindstedt SL. Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? *J Exp Biol.* 2011; 214(4):674-9.
177. Friden J, Lieber RL. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol Scand.* 2001; 171(3):321-6.
178. Gleeson M. Biochemical and immunological markers of over-training. *J Sports Sci Med.* 2002; 1(2):31-41.

179. Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci.* 2019; 19(1):71-85.
180. Koch A, Pereira R, Machado M. The creatine kinase response to resistance exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2014; 14(1):68-77.
181. Goldspink G. Mechanical signals, IGF-I gene splicing, and muscle adaptation. *Physiology.* 2005; 20(4):232-8.
182. Peake JM, Neubauer O, Della Gatta PA, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol.* 2017; 122(3):559-70.
183. Vierck J, O'Reilly B, Hossner K, Antonio J, Byrne K, Bucci L, et al. Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell Biol Int.* 2000; 24(5):263-72.
184. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 2002; 81(11 Suppl):S52-69.
185. Lee EC, Fragala MS, Kavouras SA, Queen RM, Pryor JL, Casa DJ. Biomarkers in sports and exercise: Tracking health, performance, and recovery in athletes. *J Strength Cond Res.* 2017; 31(10):2920-37.
186. Brancaccio P, Maffulli N, Buonauro R, Limongelli FM. Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clin Sports Med.* 2008; 27(1):1-18.
187. Heled Y, Bloom MS, Wu TJ, Stephens Q, Deuster PA. CM-MM and ACE genotypes and physiological prediction of the creatine kinase response to exercise. *J Appl Physiol.* 2007; 103(2):504-10.
188. Do Carmo FC, Pereira R, Machado M. Variability in resistance exercise induced hyperCKemia. *Isokinet Exerc Sci.* 2011; 19(3):191-7.
189. Machado M, Koch AJ, Willardson JM, Pereira LS, Cardoso MI, Motta MK, et al. Effect of varying rest intervals between sets of assistance exercises on creatine

kinase and lactate dehydrogenase responses. *J Strength Cond Res.* 2011; 25(5):1339-45.

190. Machado M, Pereira R, Willardson JM. Short Intervals Between Sets and Individuality of Muscle Damage Response. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(11):2946-52.

191. Baird MF, Graham SM, Baker JS, Bickerstaff GF. Creatine-Kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab.* 2012; 2012:13.

192. Magal M, Dumke CL, Urbiztondo ZG, Cavill MJ, Triplett NT, Quindry JC, et al. Relationship between serum creatine kinase activity following exercise-induced muscle damage and muscle fibre composition. *J Sports Sci.* 2010; 28(3):257-66.

193. Christmas B, Taylor L, Smith A, Pemberton P, Siegler JC, Midgley AW. Reproducibility of measurement techniques used for creatine kinase, interleukin-6 and high-sensitivity C-reactive protein determination over a 48 h period in males and females. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 2018; 22(3):191-9.

194. Mougios V. Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med.* 2007; 41(10):674-8.

195. Smith C, Kruger MJ, Smith RM, Myburgh KH. The inflammatory response to skeletal muscle injury. *Sports Med.* 2008; 38(11):947-69.

196. Ma W, Xu T, Wang Y, Wu C, Wang L, Yang X, et al. The role of inflammatory factors in skeletal muscle injury. *Biotarget.* 2018; 2(4):1-6.

197. Kleiven Ø, Bjørkavoll-Bergseth M, Melberg T, Skadberg Ø, Bergseth R, Selvåg J, et al. High physical fitness is associated with reduction in basal-and exercise-induced inflammation. *Scand J Med Sci Sports.* 2018; 28(1):172-9.

198. Michigan A, Johnson TV, Master VA. Review of the relationship between C-reactive protein and exercise. *Mol Diagn Ther.* 2011; 15(5):265-75.

199. Córdova A. Los inmunomoduladores frente a la inflamación y daño muscular originados por el ejercicio. *Apunts Med Esport*. 2010; 45(168):265-70.
200. Nakajima T, Kurano M, Hasegawa T, Takano H, Iida H, Yasuda T, et al. Pentraxin3 and high-sensitive C-reactive protein are independent inflammatory markers released during high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 110(5):905-13.
201. McFarlin BK, Venable AS, Henning AL, Sampson JNB, Pennel K, Vingren JL, et al. Reduced inflammatory and muscle damage biomarkers following oral supplementation with bioavailable curcumin. *BBA Clinical*. 2016; 5:72-8.
202. Fedewa MV, Hathaway ED, Ward-Ritacco CL. Effect of exercise training on C reactive protein: a systematic review and meta-analysis of randomised and non-randomised controlled trials. *Br J Sports Med*. 2017; 51(8):670-6.
203. Beyer KS, Fukuda DH, Boone CH, Wells AJ, Townsend JR, Jajtner AR, et al. Short-term unilateral resistance training results in cross education of strength without changes in muscle size, activation, or endocrine response. *J Strength Cond Res*. 2016; 30(5):1213-23.
204. Larkin KA, Macneil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, Buford TW. Blood flow restriction enhances post-resistance exercise angiogenic gene expression. *Med Sci Sports Exerc*. 2012; 44(11):2077-83.
205. Ferguson RA, Hunt JEA, Lewis MP, Martin NRW, Player DJ, Stangier C, et al. The acute angiogenic signalling response to low-load resistance exercise with blood flow restriction. *Eur J Sport Sci*. 2018; 18(3):397-406.
206. Paton CD, Addis SM, Taylor LA. The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. *Eur J Appl Physiol*. 2017; 117(12):2579-85.
207. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*. 2010; 24(10):2857-72.

208. Takada S, Okita K, Suga T, Omokawa M, Kadoguchi T, Sato T, et al. Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions. *J Appl Physiol*. 2012; 113(2):199-205.
209. Bodine SC, Stitt TN, Gonzalez M, Kline WO, Stover GL, Bauerlein R, et al. Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nat Cell Biol*. 2001; 3:1014.
210. Tatsumi R, Liu X, Pulido A, Morales M, Sakata T, Dial S, et al. Satellite cell activation in stretched skeletal muscle and the role of nitric oxide and hepatocyte growth factor. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2006; 290(6):C1487-94.
211. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res*. 2013; 27(10):2914-26.
212. Castro FMPD, Aquino R, Berti JA, Gonçalves LGC, Puggina EF. Strength training with vascular occlusion: A review of possible adaptive mechanisms. *Hum Mov*. 2017; 18(2):3-14.
213. Jessee MB, Mattocks KT, Buckner SL, Dankel SJ, Mouser JG, Abe T, et al. Mechanisms of blood flow restriction: The new testament. *Tech Orthop*. 2018; 33(2):72-9.
214. Brandner CR, Warmington SA, Kidgell DJ. Corticomotor excitability is increased following an acute bout of blood flow restriction resistance exercise. *Front Hum Neurosci*. 2015; 9: 652.
215. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*. 2000; 88(1):61-5.
216. Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y. Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res*. 2012; 26(3):611-7.

217. Karabulut M, Cramer JT, Abe T, Sato Y, Bemben MG. Neuromuscular fatigue following low-intensity dynamic exercise with externally applied vascular restriction. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010; 20(3):440-7.
218. Loenneke JP, Abe T, Wilson JM, Ugrinowitsch C, Bemben MG. Blood flow restriction: how does it work? *Front Physiol.* 2012; 3:392-.
219. Velloso CP. Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *Br J Pharmacol.* 2008; 154(3):557-68.
220. Kadi F. Cellular and molecular mechanisms responsible for the action of testosterone on human skeletal muscle. A basis for illegal performance enhancement. *Br J Pharmacol.* 2008; 154(3):522-8.
221. Schiaffino S, Dyar KA, Ciciliot S, Blaauw B, Sandri M. Mechanisms regulating skeletal muscle growth and atrophy. *FEBS J.* 2013; 280(17):4294-314.
222. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol.* 2007; 103(3):903-10.
223. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *J Appl Physiol.* 2010; 108(5):1199-209.
224. Drummond MJ, Fujita S, Abe T, Takashi A, Dreyer H, Volpi E, et al. Human muscle gene expression following resistance exercise and blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40(4):691-8.
225. De Castro FMP, Aquino R, Berti JA, Gonçalves LGC, Puggina EF. Strength training with vascular occlusion: A review of possible adaptive mechanisms. *Hum Mov.* 2017; 18(2):3-14.
226. Hawke TJ, Garry DJ. Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *J Appl Physiol.* 2001; 91(2):534-51.

227. Wernbom M, Apro W, Paulsen G, Nilsen TS, Blomstrand E, Raastad T. Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction increased protein signalling and number of satellite cells in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol.* 2013; 113(12):2953-65.
228. Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, et al. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol.* 2012; 590(17):4351-61.
229. Loenneke J FC, Rossow L, Abe T, Bembem, M. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses.* 2012; 78(1):151-4.
230. Layne AS, Larkin-Kaiser K, MacNeil RG, Dirain M, Sandesara B, Manini TM, et al. Effects of blood-flow restriction on biomarkers of myogenesis in response to resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016; 42(1):89-92.
231. Freitas EDS, Poole C, Miller RM, Heishman AD, Kaur J, Bembem DA, et al. Time course change in muscle swelling: high-intensity vs. blood flow restriction exercise. *Int J Sports Med.* 2017; 38(13):1009-16.
232. Kim K. Interaction between HSP 70 and iNOS in skeletal muscle injury and repair. *J Exerc Rehabil.* 2015; 11(5):240-3.
233. Morton JP, Kayani AC, McArdle A, Drust B. The exercise-induced stress response of skeletal muscle, with specific emphasis on humans. *Sports Med.* 2009; 39(8):643-62.
234. Liu Y, Gampert L, Nething K, Steinacker JM. Response and function of skeletal muscle heat shock protein 70. *Front Biosci.* 2006; 11(3):2802-27.
235. Cumming KT, Paulsen G, Wernbom M, Ugelstad I, Raastad T. Acute response and subcellular movement of HSP27, alphaB-crystallin and HSP70 in human skeletal muscle after blood-flow-restricted low-load resistance exercise. *Acta Physiol (Oxf).* 2014; 211(4):634-46.

236. Lamb IR, Novielli NM, Murrant CL. Capillary response to skeletal muscle contraction: evidence that redundancy between vasodilators is physiologically relevant during active hyperaemia. *J Physiol*. 2018; 596(8):1357-72.
237. Wozniak AC, Anderson JE. Nitric oxide-dependence of satellite stem cell activation and quiescence on normal skeletal muscle fibers. *Dev Dyn*. 2007; 236(1):240-50.
238. McEwen JA, Owens JG, Jeyasurya J. Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in Blood flow restriction (BFR) rehabilitation? *Med Biol Eng Comput*. 2018.
239. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Mattocks KT, Abe T, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Front Physiol*. 2013; 4:249.
240. Weatherholt A, VanWye WR, Lohmann J, Owens J. The Effect of Cuff Width for Determining Limb Occlusion Pressure: A Comparison of blood flow restriction devices. *Isokinet Exerc Sci*. 2019; 12(3):136-43.
241. Cezar MA, De Sá CA, Da Silva V, Lopes S, Gonzaga GA, Da Silva ME. Effects of exercise training with blood flow restriction on blood pressure in medicated hypertensive patients. *Motriz: J Phys Ed*. 2016; 22(2):9-17.
242. Libardi C, Chacon-Mikahil M, Cavaglieri C, Tricoli V, Roschel H, Vechin F, et al. Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *Int J Sports Med*. 2015; 36(5):395-9.
243. Staunton CA, May AK, Brandner CR, Warmington SA. Haemodynamics of aerobic and resistance blood flow restriction exercise in young and older adults. *Eur J Appl Physiol*. 2015; 115(11):2293-302.
244. 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. *Contemp Clin Trials*. 2015; 43:217-22.

245. Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *Strength Cond J*. 2009; 31(3):77-84.
246. Abe T, Mouser JG, Dankel SJ, Bell ZW, Buckner SL, Mattocks KT, et al. A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff. *Scand J Med Sci Sports*. 2018; 29(3):329-335.
247. Loenneke JP, Thiebaud RS, Fahs CA, Rossow LM, Abe T, Bembem MG. Effect of cuff type on arterial occlusion. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013; 33(4):325-7.
248. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Sherk VD, Thiebaud RS, Abe T, et al. Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2012; 112(8):2903-12.
249. Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Abe T, Loenneke JP. The influence of cuff width, sex, and race on arterial occlusion: implications for blood flow restriction research. *Sports Med*. 2016; 46(6):913-21.
250. Brandner CJ. Vascular occlusion strength training: An alternative to high resistance strength training. *Aust Strength Cond*. 2012; 20(2):87-96.
251. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K-i, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol*. 2005; 95(1):65-73.
252. Downs ME, Hackney KJ, Martin D, Caine TL, Cunningham D, O'Connor DP, et al. Acute vascular and cardiovascular responses to blood flow-restricted exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2014; 46(8):1489-97.
253. Kim S, Sherk VD, Bembem MG, Bembem DA. Effects of short term low intensity resistance training with blood flow restriction on bone markers and muscle cross-sectional area in young men. *Isokinet Exerc Sci*. 2012; 5(2):6.
254. Rossow LM, Fahs CA, Loenneke JP, Thiebaud RS, Sherk VD, Abe T, et al. Cardiovascular and perceptual responses to blood-flow-restricted resistance

exercise with differing restrictive cuffs. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2012; 32(5):331-7.

255. Gualano B, Ugrinowitsch C, Neves M, Jr., Lima FR, Pinto ALS, Laurentino G, et al. Vascular occlusion training for inclusion body myositis: a novel therapeutic approach. *J Vis Exp*. 2010; 5(40):1894.

256. Laurentino GC, Loenneke JP, Teixeira EL, Nakajima E, Iared W, Tricoli V. The effect of cuff width on muscle adaptations after blood flow restriction training. *Med Sci Sports Exerc*. 2016; 48(5):920-5.

257. Noordin S, McEwen JA, Kragh Jr CJF, Eisen A, Masri BA. Surgical tourniquets in orthopaedics. *J Bone Joint Surg Am*. 2009; 91(12):2958-67.

258. Sato Y. The history and future of KAATSU training. *Int. J. KAATSU Train. Res*. 2005; 1(1):1-5.

259. Martín Hernández J. Respuestas y adaptaciones de la función y estructura musculares al entrenamiento oclusivo con resistencias de baja intensidad: Leon; 2013.

260. Colado JC, Garcia-Masso X, Triplett TN, Flandez J, Borreani S, Tella V. Concurrent validation of the OMNI-resistance exercise scale of perceived exertion with Thera-band resistance bands. *J Strength Cond Res*. 2012; 26(11):3018-24.

261. Colado JC, Garcia-Masso X, Triplett NT, Calatayud J, Flandez J, Behm D, et al. Construct and concurrent validation of a new resistance intensity scale for exercise with Thera-Band® elastic bands. *J Sports Sci Med*. 2014; 13(4):758-66.

262. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, Koshi H, Iida H, Masamune K, et al. Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2015; 70(8):950-8.

263. Bennett H, Slattery F. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review. *J Strength Cond Res*. 2019; 33(2):572-83.

264. Klika B, Jordan C. High-intensity circuit training using body weight: Maximum results with minimal investment. *ACSMs Health Fit J.* 2013; 17(3):8-13.
265. Romero-Arenas S, Martínez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis.* 2014; 4(5):256-63.
266. Gäbler M, Prieske O, Hortobágyi T, Granacher U. The effects of concurrent strength and endurance training on physical fitness and athletic performance in youth: A systematic review and meta-analysis. *Front Physiol.* 2018; 9:1057.
267. Natsume T, Ozaki H, Saito AI, Abe T, Naito H. Effects of electrostimulation with blood flow restriction on muscle size and strength. *Med Sci Sports Exerc.* 2015; 47(12):2621-7.
268. Gorgey AS, Timmons MK, Dolbow DR, Bengel J, Fugate-Laus KC, Michener LA, et al. Electrical stimulation and blood flow restriction increase wrist extensor cross-sectional area and flow mediated dilatation following spinal cord injury. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116(6):1231-44.
269. Slysz JT, Burr JF. The effects of blood flow restricted electrostimulation on strength and hypertrophy. *J Sport Rehabil.* 2018; 27(3):257-62.
270. Iversen E, Røstad V. Low-load ischemic exercise-induced rhabdomyolysis. *Clin J Sport Med.* 2010; 20(3):218-9.
271. Ozawa Y, Koto T, Shinoda H, Tsubota K. Vision loss by central retinal vein occlusion after kaatsu training: A case report. *Medicine.* 2015; 94(36):e1515-16.
272. Nakajima T, Iida H, Kurano M, Takano H, Morita T, Meguro K, et al. Hemodynamic responses to simulated weightlessness of 24-h head-down bed rest and KAATSU blood flow restriction. *Eur J Appl Physiol.* 2008; 104(4):727-37.
273. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, et al. Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *Int. J. KAATSU Train. Res.* 2006; 2(1):5-13.

274. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2016; 37(6):567-74.
275. Evans C, Vance S, Brown M. Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci*. 2010; 28(9):999-1007.
276. Clark B, Manini T, Hoffman R, Williams P, Guiler M, Knutson M, et al. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports*. 2011; 21(5):653-62.
277. Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Nakajima T. Effects of detraining after blood flow-restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older women. *SpringerPlus*. 2015; 4(1):348.
278. Yasuda T, Fukumura K, Tomaru T, Nakajima T. Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women. *Oncotarget*. 2016; 7(23):33595-607.
279. Madarame H, Kurano M, Fukumura K, Fukuda T, Nakajima T. Haemostatic and inflammatory responses to blood flow-restricted exercise in patients with ischaemic heart disease: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013; 33(1):11-7.
280. Neto GR, Novaes JS, Salerno VP, Goncalves MM, Batista GR, Cirilo-Sousa MS. Does a resistance exercise session with continuous or intermittent blood flow restriction promote muscle damage and increase oxidative stress? *J Sports Sci*. 2017; 36(1):104-10.
281. Goldfarb AH, Garten R, Chee P, Cho C, Reeves G, Hollander D, et al. Resistance exercise effects on blood glutathione status and plasma protein carbonyls: influence of partial vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 104(5):813-9.

282. Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Nakajima T. Effect of low-load resistance exercise with and without blood flow restriction to volitional fatigue on muscle swelling. *Eur J Appl Physiol*. 2015; 115(5):919-26.
283. Serón P, Muñoz S, Lanas F. Nivel de actividad física medida a través del cuestionario internacional de actividad física en población Chilena. *Rev Med Chil*. 2010; 138(10):1232-9.
284. Ley del Deporte 19712. Chile; 2001.
285. Brown LE, Weir JP. Asep procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol Online*. 2001; 4(3).
286. Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, De Ridder H. Basic measures. In: Stewart A, Marfell-Jones M, Olds T, De Riddler H, ed. by. *International standards for anthropometric assessment*. Lower Hutt: International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2012. p. 51-58.
287. Gullett JC, Tillman MD, Gutierrez GM, Chow JW. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *J Strength Cond Res*. 2009; 23(1):284-92.
288. Cotterman ML, Darby LA, Skelly WA. Comparison of muscle force production using the Smith machine and free weights for bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res*. 2005; 19(1):169-76.
289. Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2002; 34(2):364-80.
290. Rhea MR. Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *J Strength Cond Res*. 2004; 18(4):918-20.
291. Brzycki M. Strength testing-predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Am J Health Educ*. 1993; 64(1):88-90.

292. Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, Lenz B, Dixon C, Timmer J, et al. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35(2):333-41.
293. Sarabon N, Panjan A, Rosker J, Fonda B. Functional and neuromuscular changes in the hamstrings after drop jumps and leg curls. *J Sports Sci Med.* 2013; 12(3):431-8.
294. Abe T, Kearns CF, Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol.* 2006; 100(5):1460-6.
295. Cormie P, McCaulley GO, McBride JM. Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(6):996-1003.
296. Fatouros IG, Jamurtas AZ, Leontsini D, Taxildaris K, Aggelousis N, Kostopoulos N, et al. Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res.* 2000; 14(4):470-6.
297. Pfeiffer PdS, Cirilo-Sousa MS, Santos HHd. Effects of different percentages of blood flow restriction on energy expenditure. *Int J Sports Med.* 2019; 40(03):186-90.
298. Madarame H, Ochi E, Tomioka Y, Nakazato K, Ishii N. Blood flow-restricted training does not improve jump performance in untrained young men. *Acta Physiol Hung.* 2011; 98(4):465-71.
299. Horiuchi M, Endo J, Sato T, Okita K. Jump training with blood flow restriction has no effect on jump performance. *Biol Sport.* 2018; 35(4):343-8.
300. Alberti G, Cavaggioni L, Silvaggi N, Caumo A, Garufi M. Resistance training with blood flow restriction using the modulation of the muscle's contraction velocity. *Strength Cond J.* 2013; 35(1):42-7.

301. Burd NA, Andrews RJ, West DWD, Little JP, Cochran AJR, Hector AJ, et al. Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol*. 2012; 590(2):351-62.
302. Nielsen JL, Frandsen U, Prokhorova T, Bech RD, Nygaard T, Suetta C, et al. Delayed effect of blood flow–restricted resistance training on rapid force capacity. *Med Sci Sports Exerc*. 2017; 49(6):1157-67.
303. Van Hooren B, Bosch F. Influence of muscle slack on high-Intensity sport performance: A review. *Strength Cond J*. 2016; 38(5):75-87.
304. Vanezis A, Lees A. A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*. 2005; 48(11-14):1594-603.
305. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, et al. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Biomech*. 2006; 22(2):112-9.
306. Madarame H, Neya M, Ochi E, Nakazato K, Sato Y, Ishii N. Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med Sci Sports Exerc*. 2008; 40(2):258-63.
307. Golik-Peric D, Drapsin M, Obradovic B, Drid P. Short-Term Isokinetic Training Versus Isotonic Training: Effects on Asymmetry in Strength of Thigh Muscles. *J Hum Kinet*. 2011; 30:29-35.
308. Aboodarda SJ, George J, Mokhtar AH, Thompson M. Muscle strength and damage following two modes of variable resistance training. *J Sports Sci Med*. 2011; 10(4):635-42.
309. Kasapis C, Thompson PD. The effects of physical activity on serum C-reactive protein and inflammatory markers. *J Am Coll Cardiol*. 2005; 45(10):1563-9.
310. Yasuda T, Fujita S, Ogasawara R, Sato Y, Abe T. Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2010; 30(5):338-43.

311. Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Uchida Y, Iida H, Meguro M, et al. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(5):799-806.
312. Fujita T, Kurita K, Sato Y, Abe T. Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *Int. J. KAATSU Train. Res*. 2008; 4(1):1-8.
313. Karabulut M, Sherk VD, Bemben DA, Bemben MG. Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2013; 33(5):393-9.
314. Hyldahl RD, Hubal MJ. Lengthening our perspective: morphological, cellular, and molecular responses to eccentric exercise. *Muscle Nerve*. 2014; 49(2):155-70.
315. Damas F, Nosaka K, Libardi CA, Chen TC, Ugrinowitsch C. Susceptibility to Exercise-Induced Muscle Damage: a Cluster Analysis with a Large Sample. *Int J Sports Med*. 2016; 37(8):633-40.
316. Sieljacks P, Matzon A, Wernbom M, Ringgaard S, Vissing K, Overgaard K. Muscle damage and repeated bout effect following blood flow restricted exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2016; 116(3):513-25.
317. Abe T, Hinata S, Koizumi K, Sato Y. Day-to-day change in muscle strength and MRI-measured skeletal muscle size during 7 days KAATSU resistance training: A case study. *Int. J. KAATSU Train. Res*. 2005; 1(2):71-6.
318. Thiebaud RS, Yasuda T, Loenneke JP, Abe T. Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interv Med Appl Sci*. 2013; 5(2):53-9.
319. Pearson TA, Mensah GA, Alexander RW, Anderson JL, Cannon RO, Criqui M, et al. Markers of inflammation and cardiovascular disease. Application to clinical and public health practice: A statement for healthcare professionals from the centers for disease control and prevention and the American Heart Association. *Circulation*. 2003; 107(3):499-511.

320. McHugh MP. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2003; 13(2):88-97.
321. Hyldahl RD, Chen TC, Nosaka K. Mechanisms and Mediators of the Skeletal Muscle Repeated Bout Effect. *Exerc Sport Sci Rev*. 2017; 45(1):24-33.
322. Loenneke JP, Fahs CA, Thiebaud RS, Rossow LM, Abe T, Ye X, et al. The acute muscle swelling effects of blood flow restriction. *Acta Physiol Hung*. 2012; 99(4):400-10.
323. Dankel SJ, Mattocks KT, Jessee MB, Buckner SL, Mouser JG, Loenneke JP. Do metabolites that are produced during resistance exercise enhance muscle hypertrophy?. *Eur J Appl Physiol*. 2017; 117(11):2125-35.
324. MacNeil LG, Melov S, Hubbard AE, Baker SK, Tarnopolsky MA. Eccentric exercise activates novel transcriptional regulation of hypertrophic signaling pathways not affected by hormone changes. *PLoS one*. 2010; 5(5):e10695.

Anexos

Anexo 1. Consentimiento informado

- Experimento 1

<p style="text-align: center;">FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO</p> <p style="text-align: center;">PARA INVESTIGACIÓN</p>

Investigador: Carlos Vicente Bahamondes Ávila, Kinesiólogo, Mg. en Medicina y Ciencias del Deporte, Docente Escuela de Kinesiología. Universidad Mayor – Sede Temuco.

Este documento se dirige a:

(Nombre del participante)

Título de la Investigación: “Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”.

Patrocinante: Universidad Mayor, Escuela de Kinesiología Universidad Mayor–Sede Temuco.

Este formulario de consentimiento informado tiene la finalidad de ayudarle a tomar la decisión de participar en un estudio de investigación titulado: “Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”. Tómese su tiempo, lea este formulario minuciosamente, y discuta cualquier inquietud que usted tenga con el investigador principal a cargo del estudio, o algún miembro de su personal. Usted también podrá discutir su participación en la investigación con los demás miembros de su familia o cercanos que estime pertinente antes de tomar la decisión.

Usted ha sido invitado/a a participar en un proyecto de investigación que está estudiando el comportamiento de las diversas manifestaciones de la fuerza muscular en personas que realizan entrenamiento con oclusión sanguínea versus las que entrenan de forma tradicional. El propósito de este estudio es comparar las diferencias de fuerza máxima, fuerza relativa y fuerza explosiva de las personas que realizan entrenamiento con oclusión sanguínea versus el entrenamiento tradicional de hipertrofia. Se medirán los parámetros de la máxima resistencia levantada durante un intento de media sentadilla (1RM), la masa corporal, y dos diferentes tipos de saltos. Con mediciones se establecerán las comparaciones de fuerza máxima, fuerza relativa y fuerza explosiva.

El motivo por el cual usted ha sido elegido es porque cumple con los requisitos necesarios para participar de la intervención. Al participar en este estudio, usted está de acuerdo en completar las encuestas aplicadas en relación a su nivel de actividad física y estado de salud, realizar las mediciones antes y después del periodo de entrenamiento de 1RM, la masa corporal, y los dos tipos de saltos; y realizar uno de los dos tipos de entrenamiento (12 sesiones, 3 veces por semana, durante un mes), el cual será asignado al azar. La duración por sesión no sobrepasa los 30 minutos.

Usted consiente en que:

- 1) Su participación en este estudio es voluntaria, por lo que usted podrá rehusarse de participar o retirarse de la investigación en cualquier momento sin ser obligado(a) a dar razones y sin que esto perjudique su calidad de usuario(a). Si esto ocurriese, deberá informar al investigador responsable al momento del retiro.
- 2) Los datos obtenidos serán usados únicamente para el propósito de esta investigación y serán almacenadas por el equipo de investigador en la Universidad Mayor sede Temuco, en formato digital, en una base de datos codificada, de acceso restringido a los investigadores y anonimizada.

- 3) Si en el futuro sus datos desearan ser usadas para propósitos diferentes a los de esta investigación, deberá solicitársele un nuevo consentimiento informado.
- 4) Los posibles beneficios que tendrá en este estudio son:
 - a. Conocer su perfil neuromuscular de las manifestaciones de la fuerza relacionadas con las actividades de la vida diaria y como estas se modifican a partir de un programa de entrenamiento. A la vez usted estará haciendo una libre y generosa donación para la investigación que podrá ser beneficiosa para futuras generaciones.
 - b. Se espera que los resultados obtenidos permitan implementar protocolos de ejercicios para personas con debilidad muscular o sarcopenia basados en el entrenamiento con oclusión sanguínea.
 - c. Generar información que permita ayudar en la incorporación de este tipo de programa de ejercicios en la rehabilitación kinésica.
- 5) Esta investigación tiene los mismos riesgos que cualquier otro programa de entrenamiento físico, para ello los investigadores han tomado las medidas necesarias, evaluado previamente su estado de salud, y luego durante el entrenamiento, realizarán un calentamiento adecuado y consultarán constantemente sus percepciones en relación a la exigencia o cansancio y controlarán su presión arterial. En caso de alguna anomalía, se le solicitará detener la actividad.
- 6) Usted no recibirá ningún beneficio económico por la participación en este proyecto.
- 7) La duración total de este estudio será de siete semanas, incluidos los periodos de evaluación y entrenamiento.
- 8) Cualquier pregunta que quiera hacer con relación a su participación en este estudio deberá ser contestada por Investigador Principal: Carlos Vicente Bahamondes Ávila. Teléfono: 222336318
- 9) Los resultados de este estudio se incluirán en la tesis doctoral del Investigador Principal y podrán ser publicados, pero su identidad no será divulgada o

revelada, tomándose todas las medidas necesarias para proteger la confidencialidad de sus datos, a menos que sea solicitada por ley.

Al firmar a continuación acepto que:

- He leído y comprendido este formulario de consentimiento informado.
- Se me ha explicado el propósito de esta investigación, los procedimientos, los riesgos, los beneficios y los derechos que me asisten y que me puedo retirar de ella en el momento que lo desee.
- No estoy renunciando a ningún derecho que me asista.
- Firmo este documento voluntariamente, sin ser forzado a hacerlo.

Al momento de la firma recibiré una copia firmada y fechada de este formulario de consentimiento.

FIRMA DEL INVESTIGADOR

Nombre: Carlos Bahamondes Ávila

RUT: 12.060.713-8

Teléfono: 222336318

Fecha: _____

FIRMA DEL PARTICIPANTE

ó PROFESIONAL

RESPONSABLE

(O REPRESENTANTE LEGAL)

Nombre: _____

RUT: _____

Teléfono: _____

Fecha: _____

Experimento 2

<p style="text-align: center;">FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO</p> <p style="text-align: center;">PARA INVESTIGACIÓN</p>

Investigador: Carlos Vicente Bahamondes Ávila, Kinesiólogo, Mg. en Medicina y Ciencias del Deporte, Docente Escuela de Kinesiología. Universidad Mayor – Sede Temuco.

Este documento se dirige a: _____

(Nombre del participante)

Título de la Investigación: “Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”.

Patrocinante: Universidad Mayor, Escuela de Kinesiología Universidad Mayor–Sede Temuco.

Este formulario de consentimiento informado tiene la finalidad de ayudarle a tomar la decisión de participar en un estudio de investigación titulado: “Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica”. Tómese su tiempo, lea este formulario minuciosamente, y discuta cualquier inquietud que usted tenga con el investigador principal a cargo del estudio, o algún miembro de su personal. Usted también podrá discutir su participación en la investigación con los demás miembros de su familia o cercanos que estime pertinente antes de tomar la decisión.

Usted ha sido invitado/a a participar en un proyecto de investigación que está estudiando el comportamiento de la fuerza muscular y biomarcadores fisiológicos

en personas que realizan entrenamiento con oclusión sanguínea versus las que entrenan de forma tradicional. El propósito de este estudio es comparar las diferencias de fuerza máxima y biomarcadores de daño muscular e inflamación sistémica de las personas que realizan entrenamiento con oclusión sanguínea versus el entrenamiento tradicional de alta y baja intensidad de carga. Se medirán los parámetros de la máxima resistencia levantada durante un intento de media sentadilla (1RMQ) e Isquiotibiales (1RMI), y los biomarcadores sanguíneos de Creatin Kinasa y Proteína-C Reactiva ultrasensible. Con las mediciones se establecerán las comparaciones de estos indicadores de acuerdo a los tres tipos de entrenamiento.

El motivo por el cual usted ha sido elegido es porque cumple con los requisitos necesarios para participar de la intervención. Al participar en este estudio, usted está de acuerdo en completar las encuestas aplicadas en relación a su nivel de actividad física y estado de salud, realizar las mediciones antes y después del periodo de entrenamiento de 1RMQ y 1RMI, y la extracción de una muestra de sangre desde el antebrazo en tres momentos (al inicio, durante y al término del periodo de entrenamiento); y realizar alguno de los tres tipos de entrenamiento (12 sesiones, 3 veces por semana, durante un mes), el cual será asignado al azar. La duración por sesión no sobrepasa los 30 minutos.

Usted consiente en que:

- 10) Su participación en este estudio es voluntaria, por lo que usted podrá rehusarse de participar o retirarse de la investigación en cualquier momento sin ser obligado(a) a dar razones y sin que esto perjudique su calidad de usuario(a). Si esto ocurriese, deberá informar al investigador responsable al momento del retiro.
- 11) Los datos obtenidos serán usados únicamente para el propósito de esta investigación y serán almacenadas por el equipo de investigador en la

Universidad Mayor, en formato digital, en una base de datos codificada, de acceso restringido a los investigadores y anonimizada.

12) Si en el futuro sus datos desearan ser usadas para propósitos diferentes a los de esta investigación, deberá solicitársele un nuevo consentimiento informado.

13) Los posibles beneficios que tendrá en este estudio son:

- a. Conocer su fuerza máxima en los músculos de los muslos y saber cómo se modifican a partir de un programa de entrenamiento. También será posible establecer las modificaciones de los biomarcadores de daño muscular e inflamación puedan surgir con los diferentes tipos de entrenamiento. Con esto, usted estará haciendo una libre y generosa donación para la investigación que podrá ser beneficiosa para futuras generaciones.
- b. Se espera que los resultados obtenidos permitan implementar protocolos de ejercicios para personas con debilidad muscular o sarcopenia basados en el entrenamiento con oclusión sanguínea.
- c. Generar información que permita ayudar en la incorporación de este tipo de programa de ejercicios en la rehabilitación kinésica.

14) Esta investigación tiene los mismos riesgos que cualquier otro programa de entrenamiento físico, para ello los investigadores han tomado las medidas necesarias, evaluado previamente su estado de salud, y luego durante el entrenamiento, realizarán un calentamiento adecuado y consultarán constantemente sus percepciones en relación a la exigencia o cansancio y controlarán su presión arterial. En caso de alguna anomalía, se le solicitará detener la actividad. Como todo procedimiento de enfermería que involucre usar jeringas y agujas, existe un riesgo de infección o hematomas en el lugar de punción; para ellos se tomarán las medidas de esterilización y limpieza durante el procedimiento en el lugar de la punción.

- 15)Usted no recibirá ningún beneficio económico por la participación en este proyecto.
- 16)La duración total de este estudio será de siete semanas, incluidos los periodos de evaluación y entrenamiento.
- 17)Cualquier pregunta que quiera hacer con relación a su participación en este estudio deberá ser contestada por Investigador Principal: Carlos Vicente Bahamondes Ávila. Teléfono: 222336318
- 18)Los resultados de este estudio se incluirán en la tesis doctoral del Investigador Principal y podrán ser publicados, pero su identidad no será divulgada o revelada, tomándose todas las medidas necesarias para proteger la confidencialidad de sus datos, a menos que sea solicitada por ley.

Al firmar a continuación acepto que:

- He leído y comprendido este formulario de consentimiento informado.
- Se me ha explicado el propósito de esta investigación, los procedimientos, los riesgos, los beneficios y los derechos que me asisten y que me puedo retirar de ella en el momento que lo desee.
- No estoy renunciando a ningún derecho que me asista.
- Firmo este documento voluntariamente, sin ser forzado a hacerlo.

Al momento de la firma recibiré una copia firmada y fechada de este formulario de consentimiento.

FIRMA DEL INVESTIGADOR

Nombre: Carlos Bahamondes Ávila

RUT: 12.060.713-8

Teléfono: 222336318

Fecha: _____

FIRMA DEL PARTICIPANTE

ó PROFESIONAL

RESPONSABLE

(O REPRESENTANTE LEGAL)

Nombre: _____

RUT: _____

Teléfono: _____

Fecha: _____

Anexo 2. Carta de aprobación del comité de ética.



UNIVERSIDAD MAYOR
Comisión Institucional de Ética

Santiago

Sede Américo Vespucio
(Casa Central)
Av. Américo Vespucio Sur 357
Las Condes

Campus Huechunaba
Camino La Piedad 5750
Huechunaba

Sede Alameda
Av. Libertador Bdo. O'Higgins 2013
Santiago Centro

Sede del Claustro
Av. Portugal 351
Santiago Centro

Sede Manuel Montt
Manuel Montt 357
Providencia

Sede Santo Domingo
Santo Domingo 711
Santiago Centro

Conservatorio de Música
Asturias 322
Las Condes

Mesa Central
(2) 3281000

Temuco

Campus Av. Alemania
(Casa Central)
Av. Alemania 0201
Fono: (56-45) 205205

www.umayor.cl

CERTIFICADO DE RESOLUCIÓN

La Comisión Institucional de Ética para la Investigación de la Universidad Mayor, certifica que en la sesión de septiembre 2011 ha analizado y evaluado el proyecto de Investigación titulado "**Entrenamiento con oclusión sanguínea en la mejora de la fuerza muscular: valoración de potenciales efectos no deseados para una futura aplicación kinésica,**" presentado al concurso FIDUM 2011, por el académico Carlos Bahamondes Avila, de la Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, sede Temuco, de esta Universidad.

CONSIDERANDO:

- Que, esta Comisión debe evaluar los proyectos en base a la información proporcionada por el investigador responsable
- Que, la metodología presentada no transgrede las normas de ética y bioética, así como las buenas prácticas de investigación, establecidas a nivel institucional y nacional.
- Que, el consentimiento informado está correctamente formulado, cumpliendo con los requisitos establecidos para llevar a cabo los propósitos del proyecto

La Comisión ha resuelto aprobar la ejecución del mencionado proyecto.

Dr. JUAN GIACONI G.
Presidente de la Comisión Institucional
de Ética para la Investigación.



Santiago, 14 de septiembre de 2011
Acta 05E/2011

Anexo 3. Cuestionario de salud y PARQ

Evaluación en salud previa al entrenamiento con RPFs.

PREGUNTAR	SI	NO
1. ¿Tiene antecedentes de hipertensión arterial?		
2. ¿Tiene diabetes?		
3. ¿Tiene antecedentes de trombosis venosa profunda?		
4. ¿Tiene antecedentes de venas varicosas en las piernas?		
5. ¿Tiene un historial de inmovilidad prolongada?		
6. ¿Tiene antecedentes de fibrilación auricular o insuficiencia cardíaca?		
7. ¿Tiene antecedentes de tumor maligno?		
8. ¿Tiene antecedentes de usar esteroides adrenocorticales?		
9. ¿Tiene antecedentes de cuadriplejía?		
10. ¿Tiene antecedentes de niveles altos de hemoglobina?		
11. ¿Tiene antecedentes personales o familiares de trastornos de la coagulación?		
12. ¿Tiene antecedentes de embolia pulmonar?		
13. ¿Es fumador?		
14. ¿Tiene antecedentes de lesiones en las arterias o venas?		
15. ¿Tiene antecedentes de lesión neurológica?		
16. ¿Alguien en su familia tiene diabetes?		
17. Presenta lesiones musculoesqueléticas		
18. Presenta algún cuadro infeccioso o inflamatorio		

Además se mide:

- Presión arterial: _____ Clasificación: _____
- Peso: _____ Talla: _____ Cálculo índice de masa corporal: _____
- Colesterol total: _____ Colesterol LDL: _____
- Se registran los medicamentos: _____

PAR – Q

Instrucciones: Se deben contestar todas las preguntas. Debes encerrar **Si o No** según corresponda tu respuesta.

1. ¿Alguna vez el médico le ha dicho si usted tiene un problema en el corazón, y si solo debería hacer actividad física recomendado por un médico?

SI

NO

2. ¿Usted siente dolor en el pecho cuando hace actividad física?

SI

NO

3. ¿Le ha dolido el pecho en el último mes, cuando no está haciendo ejercicio?

SI

NO

4. ¿Usted pierde el equilibrio a causa de que se maree o alguna vez ha perdido el conocimiento?

SI

NO

5. ¿Tiene algún problema en las articulaciones (por ejemplo, en la espalda, rodillas, o cadera) que pueda empeorar por la actividad física?

SI

NO

6. ¿El médico actualmente le ha indicado tomar medicamentos para la presión arterial o el corazón?

SI

NO

7. ¿Sabe de cualquier otra razón por la cual usted no debería hacer actividad física?

SI

NO

Indique brevemente cual es esta razón:

Anexo 4. Cuestionario IPAQ

CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA (IPAQ)

Definición de actividad física: Se considera actividad física cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija gasto de energía.

Estamos interesados en averiguar acerca de los tipos de actividad física que hace la gente en su vida cotidiana. Las preguntas se referirán al tiempo que usted destinó a estar físicamente activo en los **últimos 7 días**. Por favor responda a cada pregunta aún si no se considera una persona activa. Por favor, piense acerca de las actividades que realiza en su trabajo (o estudios), como parte de sus tareas en el hogar o en el jardín, moviéndose de un lugar a otro, o en su tiempo libre para la recreación, el ejercicio o el deporte.

Piense en todas las actividades **intensas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades físicas **intensas** se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucho más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos seguidos**.

1. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos realizó actividades físicas **intensas** tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?

_____ **Días por semana**

Si no realizó ninguna actividad física intensa, entonces VAYA A LA PREGUNTA 3

2. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física intensa en uno de esos días?

_____ **Horas por día**

_____ **Minutos por día**

Piense en todas las actividades **moderadas** que usted realizó en los **últimos 7 días**. Las actividades **moderadas** son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos **10 minutos** seguidos.

3. Durante los **últimos 7 días**, ¿en cuántos días hizo actividades físicas **moderadas** como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar dobles de tenis? **No incluya caminar.**

_____ **Días por semana**

Si no realizó ninguna actividad física moderada, entonces VAYA A LA PREGUNTA 5

4. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física moderada en uno de esos días?

_____ **Horas por día**

_____ **Minutos por día**

Piense en el tiempo que usted dedicó a **caminar** en los **últimos 7 días**. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.

5. Durante los **últimos 7 días**, ¿En cuántos **caminó** por lo menos **10 minutos** seguidos?

_____ **Días por semana**

Si no realizó ninguna caminata, entonces VAYA A LA PREGUNTA 7.

6. Habitualmente, ¿cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?

_____ **Horas por día**

_____ **Minutos por día**

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted **sentado** durante los días hábiles de los **últimos 7 días**. Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que pasó sentado ante un escritorio, visitando amigos, leyendo, viajando en bus, o sentado o recostado mirando la televisión.

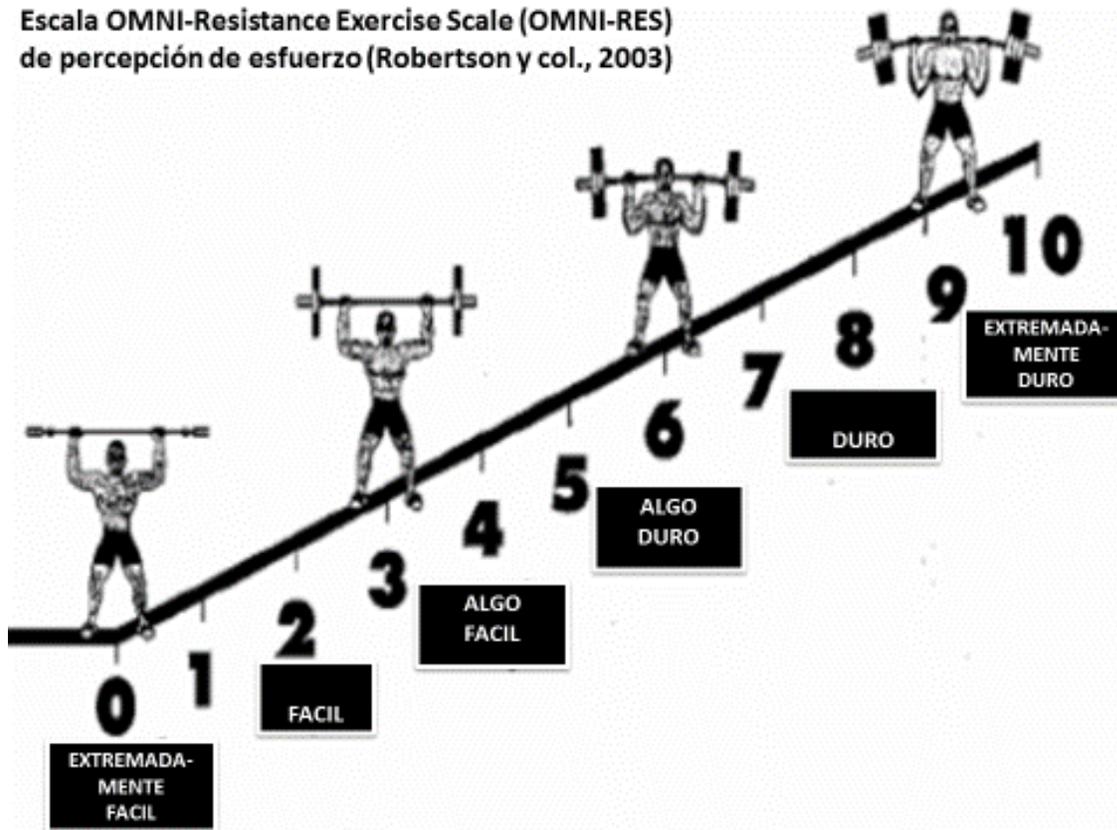
7. Durante los **últimos 7 días** ¿cuánto tiempo pasó **sentado** durante un **día hábil**?

_____ **Horas por día**

_____ **Minutos por día**

Anexo 5. Escala RPE OMNI

Escala OMNI-Resistance Exercise Scale (OMNI-RES)
de percepción de esfuerzo (Robertson y col., 2003)



Anexo 6. Protocolo de medición

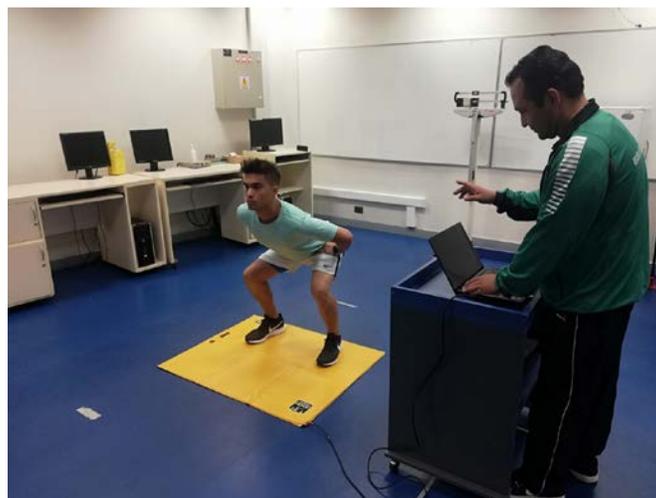
Medición de la:

a) Masa corporal

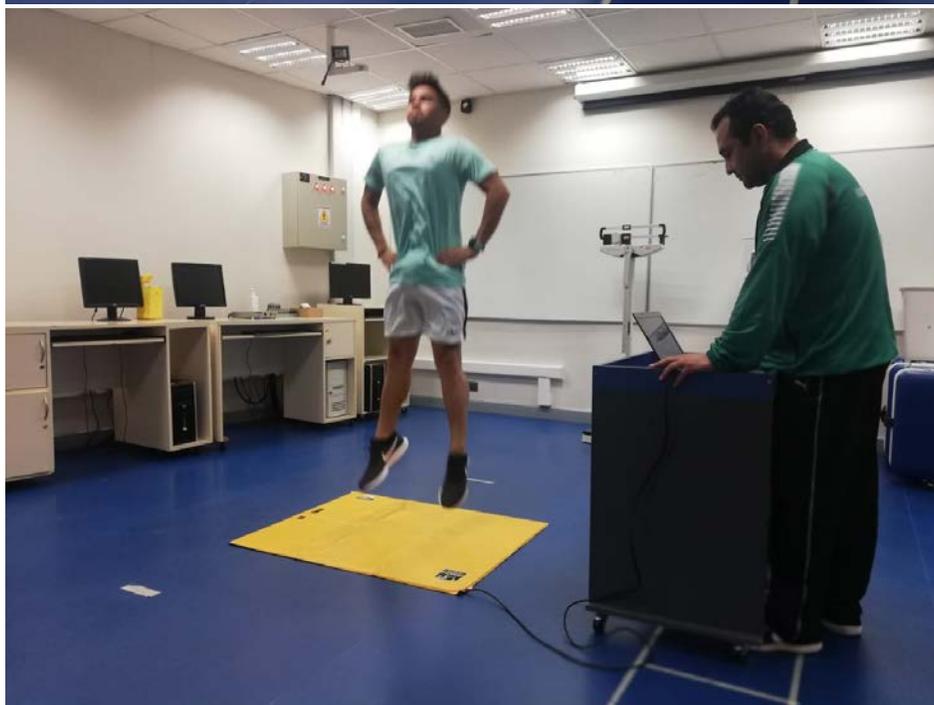
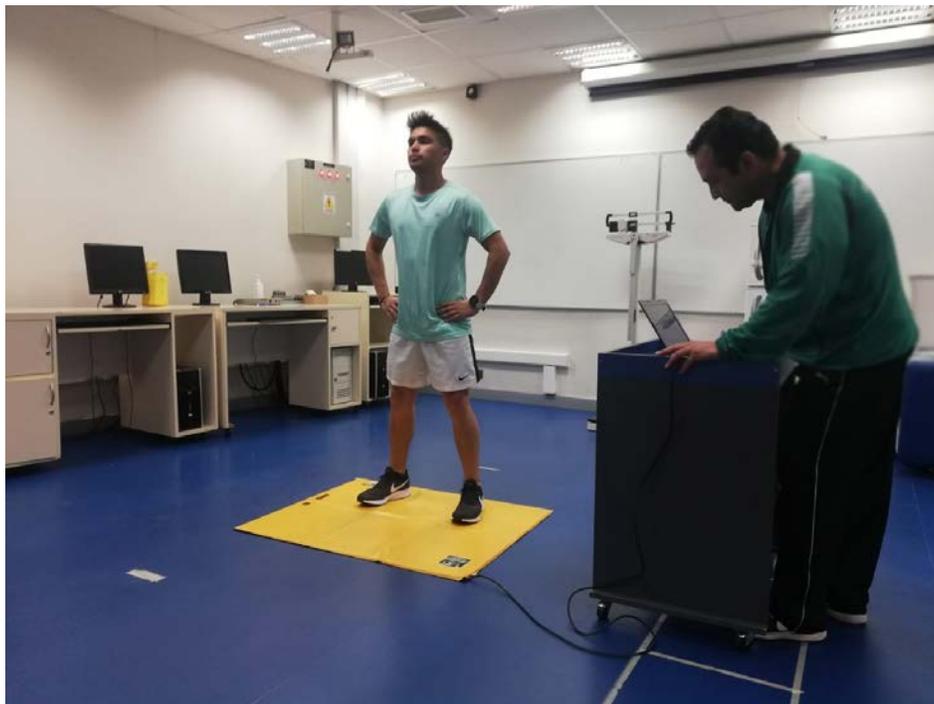


b) Evaluación de test de Bosco: Squat Jump, Counter Movement Jump

Squat Jump:



Counter Movement Jump:



c) Evaluación de FMax (1RM) de cuádriceps



d) Evaluación de Fmax (1RM) de isquiotibiales



Anexo 7. Entrenamiento con Restricción parcial del flujo sanguíneo

a) Cuádriceps



b) Isquiotibiales



Anexo 8. Indicadores de calidad:

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS DOCTORAL

- **Bahamondes-Avila C**, Lagos J, Bustos-M L, Alvarez-Castillo J, Berral-de-la-Rosa FJ, Salazar LA. Efectos de un Entrenamiento de Miembro Inferior con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en la Fuerza Muscular y Biomarcadores Sistémicos de Daño Muscular e Inflamación. *International Journal of Morphology*, 2018; 36(4):1210-5.
 - Área y Ranking JCR 2017: Biology and Biochemistry; Q4
 - Área y Ranking SJR 2017: Medicine and Anatomy; Q3.
 - <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=4500151504&tip=sid&clean=0>

Int. J. Morphol.,
36(4):1210-1215, 2018.

Efectos de un Entrenamiento de Miembro Inferior con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en la Fuerza Muscular y Biomarcadores Sistémicos de Daño Muscular e Inflamación

Effects of Lower Limb Training with Partial Restriction of Blood Flow on Muscle Strength and Systemic Biomarkers of Muscle Damage and Inflammation

Carlos Bahamondes-Avila^{1,2}; Jenny Lagos^{3,4}; Luis Bustos M.²; José Alvarez-Castillo⁴;
Francisco José Berral de la Rosa¹ & Luis A. Salazar³

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L. A. Efectos de un entrenamiento de miembro inferior con restricción parcial del flujo sanguíneo en la fuerza muscular y biomarcadores sistémicos de daño muscular e inflamación. *Int. J. Morphol.*, 36(4):1210-1215, 2018.

RESUMEN: El entrenamiento de fuerza, especialmente con alta intensidad de carga, permite aumentar la fuerza y trofismo muscular, pero también se asocia a daño muscular inducido por ejercicio (DMIE). Una nueva modalidad de entrenamiento, combina una baja intensidad de carga con la restricción parcial del flujo sanguíneo (RPFS) alrededor del músculo, siendo prometedor en cuanto al desarrollo de la fuerza y trofismo muscular. El objetivo del estudio fue comparar el rendimiento de fuerza máxima de los músculos cuádriceps e isquiotibiales (FM-Q y FM-I) y marcadores de daño muscular (CK) e inflamación sistémica (PCRus) entre un entrenamiento de baja intensidad de carga con RPFS, versus uno de alta y otro de baja intensidad de carga sin RPFS en jóvenes físicamente activos durante cuatro semanas de entrenamiento. Veintitrés participantes midieron la FM-Q y FM-I previo y al término de la intervención; además, antes del inicio de la primera sesión, y antes y después del término de la última sesión se midió la CK y PCRus. En los tres tipos de entrenamiento se produjeron aumentos equivalentes en la fuerza máxima, a excepción de la FM-Q del entrenamiento con baja intensidad sin RPFS. Solo en el entrenamiento con RPFS la CK y PCRus se modifican al finalizar la intervención, y aun cuando el estrés mioceular parece ser más alto que en los otros tipos de entrenamiento, no indicaría daño muscular.

PALABRAS CLAVE: Entrenamiento Kaatsu, Fuerza muscular, Daño muscular inducido por ejercicio.

INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de fuerza (EF) es una herramienta eficaz para estimular la hipertrofia y mejoras en la fuerza muscular (Kraemer *et al.*, 2002), pero que también se asocia a un proceso de daño muscular inducido por ejercicio (DMIE); dentro de los biomarcadores séricos, la presencia de la enzima creatinquinasa (CK), en su isoforma CK-MM, propia del tejido muscular, indica DMIE (Brancaccio *et al.*, 2008); asimismo, la proteína-C reactiva (PCR), producida en los hepatocitos en respuesta a la elevación de la interleucina 6, presenta una alta correlación con la inflamación sistémica (Michigan *et al.*, 2011).

Una modalidad de EF, que combina una baja intensidad de carga (20-30 % de una Repetición Máxima (RM))

con restricción parcial del flujo sanguíneo (RPFS) alrededor del músculo también ha evidenciado desarrollar la fuerza y el tamaño muscular, especialmente cuando se compara con el mismo ejercicio sin RPFS (Slysz *et al.*, 2016), igualmente es efectivo en aumentar la masa muscular comparado con EF de alta intensidad (cargas superiores al 65 % 1RM) (Lixandrão *et al.*, 2018).

Dos factores principales que causan DMIE son el estrés mecánico y metabólico (Baird *et al.*, 2012), siendo también los mismos mecanismos por los cuales el EF produce hipertrofia muscular (Schoenfeld, 2013). El estrés mecánico se genera con ejercicios de intensidad de carga sobre el 65 % 1RM (EAI) y el estrés metabólico cuando la

¹Escuela de Kinesiología, Universidad Mayor, Temuco, Chile.

²Doctorando en Ciencias, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

³Centro de Biología Molecular y Farmacogenética, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

⁴Escuela de Tecnología Médica, Universidad Santo Tomás, Temuco, Chile.

⁵Departamento de Salud Pública, CIGES, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

⁶Departamento de Educación, Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

⁷Departamento de Deporte e Informática, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España.

1210

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L. A. Efectos de un entrenamiento de miembro inferior con restricción parcial del flujo sanguíneo en la fuerza muscular y biomarcadores sistémicos de daño muscular e inflamación. *Int. J. Morphol.*, 36(4):1210-1215, 2018.

carga es de baja intensidad (EBI) y realizados hasta el fallo muscular (Mitchell *et al.*, 2012). En el caso del EF con RPFS existe un mayor estrés metabólico que mecánico, que cuya acción sinérgica mediaría otros mecanismos secundarios que favorecerían las adaptaciones en el desarrollo muscular y la fuerza (Pearson & Hussain, 2014), no obstante, la evidencia sobre DMIE e inflamación es controversial, existiendo información dispar en cuanto a un mayor DMIE al compararse con sesiones aisladas o periodos de EAI o EBI (Wernbom *et al.*, 2012).

El propósito del estudio fue comparar el rendimiento de fuerza máxima del músculo cuádriceps femoral (FM-Q) y músculos isquiotibiales (FM-I), y el comportamiento de marcadores por DMIE e inflamación entre un EBI con RPFS, versus uno EAI y EBI sin RPFS en jóvenes físicamente activos durante cuatro semanas de entrenamiento.

MATERIAL Y MÉTODO

Participantes: Fueron reclutados varones de población universitaria, mediante una invitación abierta. Treinta y cinco voluntarios se ofrecieron a participar; cada uno de ellos firmó un consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Mayor, Chile. Para verificar los criterios de participación del estudio, se procedió a aplicar un cuestionario sobre el historial médico, la cuantificación del nivel de actividad física mediante el International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), hábitos de entre-

namiento y una evaluación en salud. Los criterios de inclusión consideraron ser deportista universitario recreacional y tener al menos 2 años de experiencia en EF; y los criterios de exclusión, ser deportista de rendimiento, poseer diagnóstico de enfermedades metabólicas o cardiorrespiratorias, hipertensión arterial, presencia de algún cuadro infeccioso o inflamatorio independiente de la causa, lesiones musculoesqueléticas, fumadores o estar ejecutando algún tipo de dieta. Finalmente, la muestra fue de 27 participantes. La Tabla I resume las características de los grupos de intervención.

Diseño de la investigación: Se formaron tres grupos de entrenamiento, mediante aleatorización simple: EBI con RPFS (RPFS), EAI y EBI, utilizando como criterio la FM-Q. Al inicio y término, se midió la FM-Q y la FM-I; además, antes del inicio de la primera sesión, y antes y después del término de la última sesión se midió la concentración sérica de CK) y de proteína C reactiva ultrasensible (PCR-us). Cada grupo tuvo 9 participantes, pero debido a inasistencias reiteradas, 4 sujetos se excluyeron, quedando 9, 6 y 8, respectivamente.

Intervención: Todos los participantes ejecutaron un entrenamiento de media sentadilla en prensa Smith y curl de femorales bilateral durante 12 sesiones en 4 semanas, distribuidos en 3 días alternos, en horario de 17:00 y 20:00 horas. El calentamiento consistió en 8 minutos de trote (8-11 km/h) y 3 minutos de elongación de tipo estática. Las características específicas de cada protocolo se describen a continuación y son resumidos en la Tabla II.

Tabla I. Característica de la muestra (media+DS), según grupos de entrenamiento.

	N	Edad (años)	IMC (kg/m ²)	PS (mm Hg)	PD (mm Hg)	IPAQ (mets/min/sem)
RPFS	9	22,21±1,49	25,77±2,78	118,38±7,74	75,88±8,46	3625,56±1118,50
EAI	6	22,02±2,46	24,75±4,30	120,33±11,27	72,00±6,57	3643,50±1948,37
EBI	8	23,00±1,81	25,42±3,14	125,88±7,14	79,25±13,13	3585,31±838,36
<i>p</i>		0,575	0,847	0,226	0,427	0,997

Tabla II. Programas de entrenamiento para cada grupo.

Grupo	RPFS	EAI	EBI
% carga	20 % 1RM con RPFS	70 % 1RM	20 % 1RM
Series	3	3	3
Repeticiones	Al fallo muscular, como máximo 30	12 (1 ^o - 6 ^o sesión) 15 (7 ^o - 12 sesión)	Máximo 30
Micro Pausa*	30 segundos	60 segundos	30 segundos
Macro Pausa**	60 segundos	120 segundos	60 segundos
Presión de restricción (mm Hg)	160 (1 ^o - 6 ^o sesión) 180 (7 ^o - 12 ^o sesión)	----	----
Ritmo de movimiento	2 ^o concéntrico 2 ^o excéntrico	1 ^o concéntrico 1 ^o excéntrico	2 ^o concéntrico 2 ^o excéntrico

Abreviaturas: 1RM: resistencia máxima; RPFS: restricción parcial del flujo sanguíneo; EAI: entrenamiento de alta intensidad; EBI: entrenamiento de baja intensidad; * es el periodo de descanso que ocurre entre cada serie del mismo ejercicio, en este caso en la media sentadilla o en el curl de femorales. ** es el periodo de descanso que ocurre entre el cambio de ejercicio, en este caso entre la media sentadilla y el curl de femorales.

1211

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L. A. Efectos de un entrenamiento de miembro inferior con restricción parcial del flujo sanguíneo en la fuerza muscular y biomarcadores sistémicos de daño muscular e inflamación. *Int. J. Morphol.*, 36(4):1210-1215, 2018.

Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo (RPFS). Se desarrollaron ambos ejercicios con RPFS siguiendo recomendaciones técnicas previas (Slysz *et al.*); para aplicar la restricción se usó un manómetro de presión y dos manguitos neumáticos de 5,5 cm de ancho para cada miembro inferior, los cuales se instalaron en el muslo, 1 cm bajo el pliegue glúteo. La velocidad de movimiento fue guiada por un audio pregrabado. Luego del calentamiento, los manguitos se instalaron sin generar presión en los tejidos, fijándolos con velcro para mantenerlos en su lugar, inflándolos progresivamente a 160 ó 180 mmHg, respectivamente, manteniendo la presión constante durante toda la sesión, incluyendo los periodos de micro y macro pausa, y retirándose inmediatamente al término del entrenamiento. Durante todo el periodo de intervención no se modificó el %1RM, solo la presión de restricción.

Entrenamiento de alta intensidad (EAI). Se utilizó un entrenamiento de sobrecarga siguiendo las recomendaciones para conseguir un aumento del trefismo y fuerza muscular (Kraemer *et al.*).

Entrenamiento baja carga (EBI). Este protocolo es similar al entrenamiento con RPFS, pero sin la aplicación de los manguitos neumáticos.

CK y PCRus: Las muestras se obtuvieron por punción venosa en el antebrazo en tres momentos del plan de entrenamiento: 36 h antes del inicio (Pre S1), 36 h antes del término (Pre S12) y 60 h después del término (Post S12) de las intervenciones. A cada individuo se le extrajo 4 mL de sangre en un tubo sin anticoagulante. Los sueros fueron separados mediante centrifugación y almacenados a -20° C. Las cuantificaciones bioquímicas fueron realizadas en el analizador Humalyzer 3000 (Human, Alemania), utilizando control de calidad en dos niveles y calibradores. La actividad sérica de CK total se determinó mediante ensayo fotométrico cinético UV; y la concentración de PCRus se midió mediante ensayo inmunoturbidimétrico (Spinreact, S.A).

Análisis estadístico: el análisis descriptivo utilizó la media y desviación estándar; para verificar la distribución normal de la muestra se usó la prueba de Shapiro-Wilk; para las comparaciones en todas las variables, tanto al interior de los grupos, como entre ellos se realizó un análisis de modelo fijo de medidas repetidas de dos factores (grupo x tiempo), en dos momentos para FM-Q y FM-I y en tres para CK y PCRus, considerando de referencia la medición inicial de EAI. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. El software utilizado fue Stata, versión 11.0.

Variables: FM-Q y FM-I: Previo al inicio de las intervenciones, los participantes se ambientaron en las pruebas de media sentadilla en prensa Smith (FM-Q) y en curl de femorales en una camilla para músculos isquiotibiales (FM-I); luego, en dos sesiones diferentes, se procedió a realizar las evaluaciones de FM-Q y FM-I, separadas entre sí por 72 hrs. Las pruebas fueron supervisadas por un solo miembro del equipo de investigadores, especializado en el EF. Previamente, el evaluador confirmó su error técnico de medición (ETM) en la prueba de media sentadilla, estableciendo un ETM absoluto = 2,7 kg, ETM relativo = 3,4 % y un ICC para ambas medidas de 0,94. El test se aplicó con cargas progresivas submáximas durante un máximo de cinco intentos, en cada uno de ellos se buscaba realizar no más de cinco repeticiones, estas se consideraron válidas cuando se podía desplazar la carga en el rango definido, o sea, 0-90-0° de extensión, flexión y extensión de rodillas, respectivamente; con 5 minutos de pausa entre cada intento; de esta manera, se estimó la repetición máxima (1RM), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$1RM = (100 \times \text{kg levantados en el último levantamiento válido}) / (102,78 - 2,78 \times N^{\circ} \text{ de repeticiones}) \text{ (Brzycki, 1993).}$$

Este procedimiento determinó las cargas individuales de EF por grupo muscular y grupos de intervención: RPFS: 20 % 1RM, EAI: 70 % 1RM y EBI: 20 % 1RM.

1212

RESULTADOS

Los valores (media±DS) de la FM-Q y FM-I se presentan en la Tabla III. Los principales resultados indican que en la RM-Q existieron diferencias significativas solo en la interacción del tiempo ($p=0,01$), presentándose cambios significativos en los grupos RPFS ($p=0,01$) y EAI ($p=0,03$). Para el RM-I, también los resultados muestran diferencias significativas en el tiempo ($p=0,00$), en este caso en los tres grupos ($p=0,00$ para RPFS, 0,01 para HIT y 0,04 para LIT).

La CK se presenta en la Figura 1, los resultados de mayor relevancia indican que existieron diferencias significativas en la interacción grupo x tiempo ($p=0,0175$), ocurriendo en Post S12 entre RPFS e HIT ($p=0,002$). Al analizar cada grupo, se observan estas diferencias solo en RPFS ($p=0,0003$), ocurriendo entre Pre S1 y Pre S12 ($p=0,002$) y entre Pre S1 y Post S12 ($p=0,001$). La PCRus se muestra en la Figura 2, existiendo sólo diferencias significativas en la interacción tiempo ($p=0,0041$). El análisis por grupo estas diferencias se presentan en RPFS ($p=0,0331$) entre Pre S1 y Pre S12 ($p=0,014$) y entre Pre S12 y Post S12 ($p=0,047$). En las restantes interacciones no se observaron diferencias significativas.

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L. A. Efectos de un entrenamiento de miembro inferior con restricción parcial del flujo sanguíneo en la fuerza muscular y biomarcadores sistémicos de daño muscular e inflamación. *Int. J. Morphol.*, 36(4): 1210-1215, 2018.

Tabla III. Valores (media±DS) de fuerza máxima de músculos cuádriceps (FM-Q) e isquiotibiales (FM-I) obtenidas al inicio y término de los protocolos de entrenamiento, incluyendo los valores p.

Variable	Tipo entrenamiento	Inicio	Término	Grupo – Tiempo – Grupo x Tiempo $p<0,05$	Tiempo x Grupo $<0,05$
FM-Q (kg)	RPFS	123,17 ± 20,37	132,25 ± 17,40	0,09 – 0,01* – 0,07	0,01*
	EAI	109,05 ± 7,43	117,68 ± 5,99		0,03*
	EBI	111,98 ± 15,56	111,38 ± 13,25		0,75
FM-I (kg)	RPFS	94,41 ± 26,58	106,31 ± 25,72	0,96 – 0,00* – 0,48	0,00*
	EAI	84,17 ± 13,81	101,76 ± 24,62		0,00*
	EBI	84,44 ± 20,13	94,35 ± 24,34		0,00*

*: Cambios significativos.

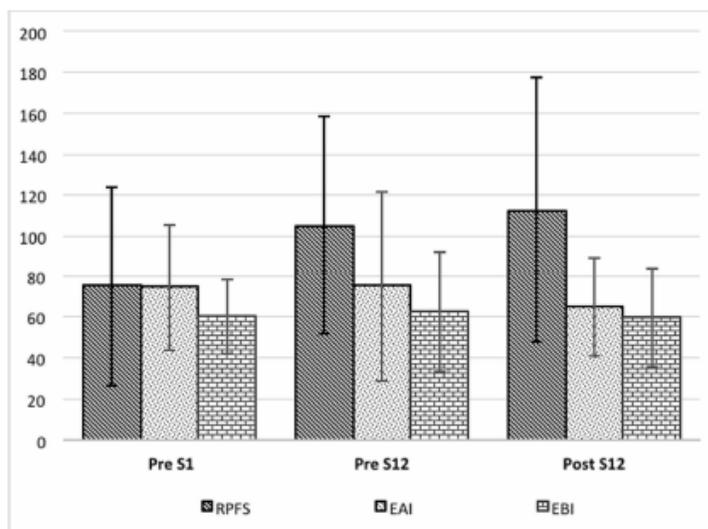


Fig. 1. Cambios en la actividad sérica de creatinquinasa (CK) 36 horas previo al inicio de la intervención (Pre S1), 36 horas previo (Pre S12) a la última sesión y 60 horas post última sesión (Post S12). *: Cambios significativos intragrupo. **: Cambios significativos intergrupo.

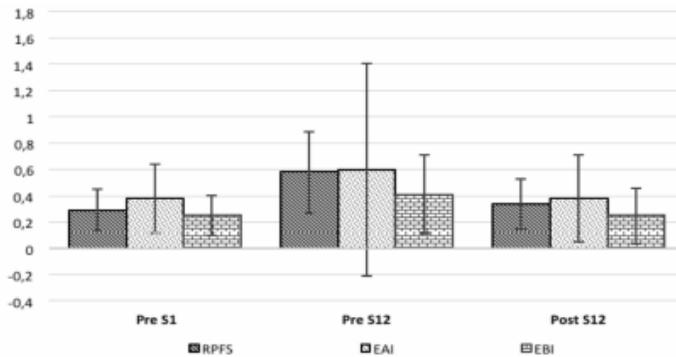


Fig. 2. Cambios en la concentración sérica de proteína C reactiva ultrasensible (PCRus) 36 horas previo al inicio de la intervención (Pre S1), 36 horas previo (Pre S12) a la última sesión y 60 horas post última sesión (Post S12). *: Cambios significativos intragrupo.

1213

DISCUSIÓN

El estudio demostró que en todos los entrenamientos aumentó la FM de ambos grupos musculares, excepto en la RM-Q de EBI, donde se mantuvo sin cambios, tampoco se presentaron diferencias al comparar los grupos con el EAI. La CK tiene una conducta distinta en cada grupo, en RPFs aumenta significativamente durante la intervención, en cambio, la estabilidad domina en EAI y EBI. Las diferencias entre grupos se producen entre RPFs y EAI al terminar la intervención. En la PCRus, el comportamiento de los grupos es el mismo, aumenta previo a terminar el entrenamiento, para luego disminuir, no obstante, solo se producen diferencias significativas al interior de RPFs.

En periodos de intervención menores a cuatro semanas, el resultado obtenido en el FM-Q de RPFs está en el rango de modificaciones observadas en deportistas (Cook *et al.*, 2014). En cambio en la FM-I, el cambio fue menor al obtenido por varones no entrenados (Madarama *et al.*, 2008). Estas ganancias de fuerza están en concordancia con observaciones previas durante este periodo de tiempo (Clark *et al.*, 2011). Aun cuando se continúa discutiendo las implicancias fisiológicas, existe evidencia que indica una mayor señalización anabólica y síntesis proteica en solo una sesión de ejercicios con RPFs (Wernbom *et al.*, 2013), lo cual podría justificar esta adaptación. Interesantemente, todos los grupos aumentaron su FM-I (11,74 a 20,9 %), en magnitudes mayores a la FM-Q, probablemente se deba a que previo al inicio del EF los músculos isquiotibiales estaban relativamente débiles (Golik-Peric *et al.*, 2011), este hallazgo es coherente con lo informado por los participantes durante la anamnesis, donde solo cuatro de ellos realizaban EF de esta musculatura más de una vez por semana. Aun cuando no se presentan diferencias significativas en la FM entre los grupos, los mayores cambios ocurren en el EAI (FM-Q + FM-I), donde interesantemente el volumen de entrenamiento (total de repeticiones x kg levantados) de este, es mayor en al menos 500 kg por sesión, lo cual contribuye a explicar este comportamiento. No obstante, es auspicioso obtener estos resultados con RPFs y EBI en solo cuatro semanas de entrenamiento, dado las menores intensidades relativas de carga y volumen aplicadas.

et al., 2017), contrariamente, la PCRus, a pesar de no producirse cambios significativos entre los EF, las mayores diferencias se dan en RPFs (Clark *et al.*). Estas diferencias con nuestros resultados podrían explicarse por la conjugación de las variables del EF con RPFs, pues se ha observado que estos indicadores parecen variar de acuerdo a la intensidad, duración o número de series (Sieljacks *et al.*, 2016), tiempo de muestreo o modo de ejercicio (Karabulut *et al.*, ejecución de series al fallo vs series fijas (Thiebaud *et al.*, 2013) o con compresión de los manguitos neumáticos continua vs intermitente (Neto *et al.*, 2018); otro factor influyente podría estar en las características de la población de este estudio, que es joven y activa.

Incluir una medición mientras se desarrollaban los EF (Pre S12) tenía como propósito observar el efecto acumulativo de la carga de entrenamiento con recuperación parcial (<48 h) sobre estos marcadores, observándose que solo el protocolo con RPFs produjo cambios significativos de la CK y PCRus, sugiriendo que el “efecto de combate repetido” (McHugh, 2003) permite una mayor tolerancia y adaptación en HIT y LIT; esta observación no la hemos visualizado en otros estudios, y aunque es difícil comprobar si estas diferencias en los biomarcadores se deban a condiciones especiales de este EF, como la compresión muscular inducida por el manguito de restricción, se hace necesario observar que los valores obtenidos de los biomarcadores se encuentran en un rango de normalidad (Pearson *et al.*, 2003; Brancaccio *et al.*), aludiendo que el EF con RPFs genera un mayor estrés en la célula muscular, pero no propicia un mayor DMIE e inflamación en comparación con los otros protocolos usados. Parece relevante la presencia de DMIE e inflamación en las respuestas y adaptaciones musculares orientadas al desarrollo de la fuerza e hipertrofia; recientemente se ha indicado que en varones saludables, jóvenes y entrenados recreativamente, en un EF de tres semanas no parece haber daño celular general (daño muscular, inflamación o estrés oxidativo), pero sí signos de inflamación tisular y estrés o reorganización focal de la membrana mio celular, que si estarían involucrados en la proliferación y aumento del conte-

La mayoría de los estudios, indican que los ejercicios con RPFS no propician un mayor aumento en DMIE e inflamación que HIT o LIT, al compararse con LIT, no existen diferencias significativas entre los grupos, y se indica una tendencia a disminuir en la CK luego de finalizada una intervención con RPFS (Yasuda *et al.*, 2014). Cuando el contraste es con HIT, la CK tampoco presenta diferencias significativas entre los grupos, aunque las mayores diferencias se dan en HIT (Clark *et al.*; Karabulut *et al.*, 2013; Nielsen

nido de células satélites miogénicas, favoreciendo una adaptación hipertrófica (Nielsen *et al.*).

En conclusión, los tres tipos de EF propiciaron aumentos equivalentes en la FM, a excepción de la FM-Q de EBI. Solo en el entrenamiento con RPFS, la CK y PCRus se modifican al finalizar la intervención, y aun cuando el estrés miocelular parece ser más alto que en los otros grupos, no indicaría DMIE.

1214

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L. A. Efectos de un entrenamiento de miembro inferior con restricción parcial del flujo sanguíneo en la fuerza muscular y biomarcadores sistémicos de daño muscular e inflamación. *Int. J. Morphol.*, 36(4):1210-1215, 2018.

BAHAMONDES-AVILA, C.; LAGOS, J.; BUSTOS, M. L.; ALVAREZ-CASTILLO, J.; BERRAL DE LA ROSA, F. J. & SALAZAR, L.A. Effects of lower limb training with partial restriction of blood flow on muscle strength and systemic biomarkers of muscle damage and inflammation. *Int. J. Morphol.*, 36(4):1210-1215, 2017.

SUMMARY: Strength training, especially with high load intensity, allows increasing muscle strength and trophism, but it is also associated with exercise-induced muscle damage (EIMD). A new training modality, a combination of loading with the partial restriction blood flow (PRBF) around the muscle, being promising in the development of strength and muscular trophism. The aim of the study was to compare the maximum strength (MS) performance of quadriceps and hamstrings (MS-Q and MS-I) and muscle damage biomarkers (Creatine Kinase, CK) and systemic inflammation (high sensitivity - CRP, hs-CRP) between a low intensity load training with PRBF, versus one high and another low load intensity without PRBF in physically active youngsters during four weeks of training. Twenty-three participants measured MS-Q and MS-I and the intervention term. In addition, before the start of the first session, before and after the end of the last session, CK and hsCRP were measured. In the three types of training the equivalent benefits in MS are produced, an exception of the MS-Q of low intensity training without PRBF. Only in the training with PRBF, the CK and hs-CRP are modified at the end of the intervention, and even though the myocellular stress seems to be higher than in the other types of training, it would not indicate muscle damage.

KEY WORDS: Kaatsu training; Muscle strength; Exercise induced muscle damage.

- resistance training associated with blood-flow restriction: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.*, 48(2):361-78, 2018.
- Madarama, H.; Neyra, M.; Ochi, E.; Nakazato, K.; Sato, Y. & Ishii, N. Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40(2):258-63, 2008.
- McHugh, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 13(2):88-97, 2003.
- Michigan, A.; Johnson, T. V. & Master, V. A. Review of the relationship between C-reactive protein and exercise. *Mol. Diagn. Ther.*, 15(5):265-75, 2011.
- Mitchell, C. J.; Churchward-Venne, T. A.; West, D. W.; Burd, N. A.; Breen, L.; Baker, S. K. & Phillips, S. M. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J. Appl. Physiol.* (1985), 113(1):71-7, 2012.
- Neto, G. R.; Novaes, J. S.; Salerno, V. P.; Gonçalves, M. M.; Batista, G. R. & Cirilo-Sousa, M. S. Does a resistance exercise session with continuous or intermittent blood flow restriction promote muscle damage and increase oxidative stress? *J. Sports Sci.*, 36(1):104-10, 2018.
- Nielsen, J. L.; Aagaard, P.; Prokhorova, T. A.; Nygaard, T.; Bech, R. D.; Suena, C. & Frandsen, U. Blood flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. *J. Physiol.*, 595(14):4857-73, 2017.
- Pearson, S. J. & Hussain, S. R. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Med.*, 45(2):187-200, 2014.
- Pearson, T. A.; Mensah, G. A.; Alexander, R. W.; Anderson, J. L.; Cannon, R. O. 3rd; Criqui, M.; Fadl, Y. Y.; Formann, S. P.; Hong, Y.; Myers, G. L.; Rifkin, N.; Smith, S. C. Jr.; Taubert, K.; Tracy, R. P.; Vinicor, F.; Centers for Disease Control and Prevention & American Heart Association. Markers of inflammation and cardiovascular disease: application to clinical and public health practice: A statement for healthcare professionals from the Centers for Disease Control and Prevention and the American Heart Association. *Circulation*, 107(3):499-511, 2003.
- Schoenfeld, B. J. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med.*, 43(3):179-94, 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baird, M. F.; Graham, S. M.; Baker, J. S. & Bickerstaff, G. F. Creatine-kinase and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J. Nutr. Metab.*, 2012;960363, 2012.
- Branaccio, P.; Maffulli, N.; Buonauoro, R. & Limongelli, F. M. Serum enzyme monitoring in sports medicine. *Clin. Sports Med.*, 27(1):1-18, 2008.
- Brzycki, M. Strength testing—Predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *J. Phys. Educ. Recreat. Dance*, 64(1):88-90, 1993.
- Clark, B. C.; Mamini, T. M.; Hoffman, R. L.; Williams, P. S.; Guiler, M. K.; Knutson, M. J.; McGlynn, M. L. & Kushnick, M. R. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 21(5):653-62, 2011.
- Cook, C. J.; Kilduff, L. P. & Beaven, C. M. Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9(1):166-72, 2014.
- Golik-Peric, D.; Drapsin, M.; Obradovic, B. & Drid, P. Short-term isokinetic training versus isotonic training: effects on asymmetry in strength of thigh muscles. *J. Hum. Kinet.*, 30:29-35, 2011.
- Karabulut, M.; Sberk, V. D.; Bemben, D. A. & Bemben, M. G. Inflammation marker, damage marker and anabolic hormone responses to resistance training with vascular restriction in older males. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 33(5):393-9, 2013.
- Kraemer, W. J.; Adams, K.; Cafarelli, E.; Dudley, G. A.; Dooly, C.; Feigenbaum, M. S.; Fleck, S. J.; Franklin, B.; Fry, A. C.; Hoffman, J. R.; Newton, R. U.; Pottenger, J.; Stone, M. H.; Ratames, N. A.; Triplett-McBride, T. & American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34(2):364-90, 2002.
- Lixandrao, M. E.; Ugrasnowitsch, C.; Berton, R.; Vechin, F. C.; Conceição, M. S.; Damas, F.; Libardi, C. A. & Roschel, H. Magnitude of muscle strength and mass adaptations between high-load resistance training versus low-load
- Sieljacks, P.; Matzon, A.; Werhborn, M.; Ringgaard, S.; Vissing, K. & Overgaard, K. Muscle damage and repeated bout effect following blood flow restricted exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 116(3):513-25, 2016.
- Slysz, J.; Stultz, J. & Burr, J. F. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport*, 19(8):669-75, 2016.
- Thiebaut, R. S.; Yasuda, T.; Loenneke, J. P. & Abe, T. Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interv. Med. Appl. Sci.*, 5(2):53-9, 2013.
- Werhborn, M.; Apro, W.; Paulsen, G.; Nilsen, T. S.; Blomstrand, E. & Raastad, T. Acute low-load resistance exercise with and without blood flow restriction increased protein signalling and number of satellite cells in human skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 113(12):2953-65, 2013.
- Werhborn, M.; Paulsen, G.; Nilsen, T. S.; Hisdal, J. & Raastad, T. Contractile function and sarcolemmal permeability after acute low-load resistance exercise with blood flow restriction. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 112(6):2051-63, 2012.
- Yasuda, T.; Fukumura, K.; Fukuda, T.; Uchida, Y.; Iida, H.; Meguro, M.; Sato, Y.; Yamasoba, T. & Nakajima, T. Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 24(5):799-806, 2014.

Dirección para correspondencia:

Prof. Dr. Luis Salazar Navarrete
Departamento de Ciencias Básicas
Facultad de Medicina
Universidad de La Frontera
Temuco - CHILE

Recibido : 15-06-2018

Aceptado: 07-08-2018

Email: luis.salazar@ufrontera.cl

1215

- **Bahamondes-Avila C**, Salazar LA, Álvarez-Castillo JL, Hernández-Mosqueira C, Berral de la Rosa FJ. Physiological responses related to training with partial blood flow restriction on an unstable Surface. *Mot. Hum.* 2016;17 Supl 1:46-50 (Short Communication)
 - Área y tipo de revista: Educación, Deportes; Latindex

Revista Motricidad Humana
Mot. Hum. 2016;17 Supl 1:46-50



Meeting Abstract

Physiological responses related to training with partial blood flow restriction on an unstable surface

Respuestas fisiológicas relacionadas al entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo sobre superficie inestable

Bahamondes-Avila C¹, Salazar, LA², Álvarez-Castillo JL³, Hernández-Mosqueira C^{4,5}, Berral de la Rosa FJ⁵

¹Magister in Medicine and Sports Science, School of Kinesiology, Universidad Mayor, Temuco, Chile.

²Doctor Pharmacy, Professor, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.

³Doctor Education Sciences, Professor, University of Cordoba, Spain.

⁴Doctor Science in Human Kinetics, Department of Physical Activity Sciences, University of Los Lagos, Puerto Montt, Chile.

⁵Research associate Bioscience Laboratory of Human Movement, Federal University of Rio de Janeiro, Brazil.

⁶Doctor Medicine and Surgery, Laboratory of Biomechanics, Kinesiology and Cineanthropometry, University Pablo de Olavide of Seville, Spain.

Introduction

Several studies have reported that strength training with low intensity (20-30% of one repetition-maximum 1RM) combined with partial blood flow restriction to the muscle (PBFR) can produce muscular adaptations equivalent to high training. Evidence points to the effectiveness of this type of training regarding strength, hypertrophy and muscular endurance (1) with a shorter duration of training time. However, the responsible mechanisms for its effects are not yet fully clear. Metabolic stress plays the dominant role in the hypertrophic effects observed with the PBFR training, but mechanical stress also participates.

Both act synergistically to mediate a number of secondary mechanisms, which stimulate autocrine and/or paracrine actions for inducing muscle hypertrophy (2). Acute responses from the standpoint of metabolic stress of PBFR point to a muscle anabolism dependent acidity, causing an increase in blood lactate (3,4) and/or plasma concentrations (5,6), promoting a pH change, allowing growth hormone (GH) being stimulated by this intramuscular acidic environment (7) besides direct and indirect effects of lactate concentration in testosterone synthesis (8).

Regarding to training on unstable surfaces, the main effects related to the neuromuscular action are associated with increased activation of the muscles of the trunk (core) and limbs, as well as the agonist-antagonist co-contraction and static and dynamic balance, with significant use in the rehabilitation and prevention of injuries in non-athletes. There also have been observed similar responses during unstable and stable conditions, for instance in the case of the squat, core

muscles activation of the muscles of the trunk and limbs is greater in the first condition (9), as well as during bench press more energy expenditure and metabolic impact is achieved (10). Nevertheless, adding resistance exercise to the unstable base may reduce force production, speed and range of motion (11, 12).

The aim of this research was to compare half-squat exercise on an unstable surface, with and without PBFR, half squat with overload at 70%RM and half squat with PBFR with overload at 30%RM on the acute response of heart rate (HR), lactate concentration (lactate) and ratings of perceived exertion (OMNI-RPE), for the same volume of repetitions.

Methodology

Sample was composed by volunteers, healthy students, previously signing an informed consent. Health condition was assessed by clinical anamnesis, BMI and blood pressure control. Individuals with high blood pressure, smokers and with skeletal muscle injuries in lower limbs were excluded; being selected only 7 from a total of 12 candidates.

Each of the subjects was applied a maximal strength squat test (1RM) using Smith press in order to establish workloads during exercise sessions. Participants performed protocols with a separation of 72-96 hours, though the same sequence order was not the same during protocols, in order to avoid bias in results. These protocols were organized as follows:

- HIST (high intensity stable training): Half squat on a stable surface with load at 70%RM, performed in a Smith press doing traditionally.
- SPBFR (stable training with partial blood flow restriction): Half squat on a stable surface with load at 30%RM with PBFR, performed in a Smith press.
- UNS (unstable training without blood flow restriction): Half squat on a stable surface (without BFR) performed on tires disks.
- UNS+PBFR (unstable training + partial blood flow restriction): Half squat on a unstable surface with PBFR, on tires disks.

During the execution of these protocols, carefully attention was put so that they have the same training parameters during repetitions, for a total of 45 repetitions over 3 sets of 15 repetitions each one, with 1 min rest between sets and working rate of 2" concentric and 2" of eccentric contractions. PBFR protocols applied pressure of 180 mmHg restriction. Pre and post HR intervention lactate and OMNI-RPE was registered. The statistical analysis considered record values (mean \pm SD) at both points of time to determine the normality of the sample, using Shapiro-Will test. In addition to compare changes between groups ANOVA and Bonferroni post hoc tests were applied. In each case $p < 0.05$ was considered.

Results

Table 1 shows general characteristics of the sample. Table 2 shows physiological responses of the HR, lactate and OMNI-RPE produced in the different training protocols, indicating variables that show significant differences.

Table 1. General characteristics of the sample (Mean±SD).

Age	Weight	Height	BMI	HR rest	SBP	DBP
22.3±1.4	72.8±9.1	174.7±5.2	23.8±2.3	76.1±16.0	120.3±2.4	79.7±8.0

BMI (kg/m²): body mass index, HR rest (bpm): resting heart rate, SBP (mmHg): systolic blood pressure; and DBP (mmHg) diastolic blood pressure.

Table 2. Physiological responses of HR, lactate and OMNI-RPE (mean±SD) obtained during different training protocols.

Variable	Training Type	Pre	Post	<i>p</i>	Significant between training type
HR (bpm)	HIST	90.9±11.8	160.7±21.9	0.001	HIST vs UNS
	SPBFR	93.3±10.5	147.1±15.4	0.005	HIST vs UNS+PBFR
	UNS	90.7±14.1	121.4±12.3	0.044	SPBFR vs UNS
	UNS+PBFR	90.7±15.6	127.3±14.4		
Lactate (mmol/l)	HIST	2.4±0.6	9.8±2.6	0.008	HIST vs SBFR
	SPBFR	2.7±0.4	6.9±0.6	0.000	HIST vs UNS
	UNS	2.8±0.8	4.0±1.3	0.000	HIST vs UNS+PBFR
	UNS+PBFR	2.4±0.5	4.5±0.8	0.009	SPBFR vs UNS
				0.038	SPBFR vs UNS+PBFR
OMNI-RPE (N°)	HIST	0.4±0.5	8.6±1.9		
	SPBFR	0.4±0.5	6.0±1.3	0.006	HIST vs UNS
	UNS	0.4±0.5	5.1±1.8	0.039	HIST vs UNS+PBFR
	UNS+PBFR	0.4±0.5	5.9±1.8		

Discussion

Of the four types of exercises, there is a greater physiological stress in half squat on a stable surface with load at 70%RM (HIST) and half squat on a stable surface with 30%RM (SBFR) in terms HR - lactate - OMNI-RPE. These data are coincident, for HR and OMNI-RPE exercising with elastic bandages applying PBFR. It has also been observed more subjective perception of effort measured by OMNI-RPE in the same exercise, with the same volume and load applied with or without PBFR(13). High HR during PBFR exercise, despite low load, is attributable to a

reduced venous return (4) and autonomous cardiac monitoring (14), which together with a muscle acidosis linked to production of lactate-hydrogenions (H⁺) might increase metabolic stress, which plays a key role in the hypertrophic effects of training with PBFR (2). This metabolic condition has been observed in different protocols using PBFR, even having a similar behavior in exercises with small muscles (biceps and gastrocnemius), where PBFR protocol vs traditional training have similar behavior in lactate concentration, with increased GH response in the first, but without changes in other hormones such as testosterone, free testosterone and cortisol, leading to the conclusion that volume and intensity of protocols, with and without PBFR, were not enough to bring about changes in these hormonal parameters (15).

In our study, the muscle action or exercise volume selected for the "unstable" condition, could not achieve comparable changes with stable traditional exercise HIST or SBFR exercise. However, PBFR application on unstable surfaces generates greater metabolic stress than unstable exercise without PBFR, similar situation to the one observed during an unstable exercise circuit vs stable with or without PBFR (16). This phenomenon could be a useful tool conforming to the purposes being pursued with unstable exercise (co-activation, balance or injury prevention). From the results further investigations are suggested with adjustments in the own training variables, such as performing series of exercises until muscular failure, applying different restrictive pressures or changing density of the stimulus, intervening during interset rests.

Conclusion

Resistance exercise on a stable surface with or without PBFR, generates a major change in the parameters of intensity recorded, compared to the two exercises on unstable surface; besides PBFR addition to unstable physiological exercise generates greater intensity, which could enhance the effects on unstable training.

References

1. Loenneke JP, Wilson JM, Wilson GJ, Pujol TJ, Bembien MG. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* 2011; 21(4):510-8.
2. Pearson SJ, Hussain SR. A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Med.* 2014; 45(2):187-200.
3. Gentil P, Oliveira E, Bottaro M. Time under tension and blood lactate response during four different resistance training methods. *J Physiol Anthropol.* 2006; 25(5):339-44.
4. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K-i, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol.* 2005; 95(1):65-73.

5. Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, et al. Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol.* 2007; 103(3):903-10.
6. 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. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 92(4-5):399-406.
7. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol.* 2000; 88(1):61-5.
8. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 2005; 35(4):339-61.
9. Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. *Can J Appl Physiol.* 2005; 30(1):33-45.
10. Panza P, Vianna JM, Damasceno VO, Aranda LC, Bentes CM, Novaes J. Energy cost, number of maximum repetitions, and rating of perceived exertion in resistance exercise with stable and unstable platforms. *JEPonline.* 2014; 17(30):77-87.
11. Behm D, Colado JC. The effectiveness of resistance training using unstable surfaces and devices for rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther.* 2012; 7(2):226-41.
12. Behm DG, Drinkwater EJ, Willardson JM, Cowley PM. Canadian Society for Exercise Physiology position stand: The use of instability to train the core in athletic and nonathletic conditioning. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2010; 35(1):109-12.
13. Loenneke JP, Kearney ML, Thrower AD, Collins S, Pujol TJ. The acute response of practical occlusion in the knee extensors. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(10):2831-4.
14. Kingsley JD, Figueroa A. Acute and training effects of resistance exercise on heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014; 36:179-87.
15. Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, et al. Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol.* 2006; 101(6):1616-22.
16. Hernandez AT. Hemodynamic and neuromuscular responses to exercises performed on stable and unstable surface with and without blood flow restriction [Doctoral dissertation]: University of Texas Rio Grand Valley; 2014.

Correspondencia:

Carlos Vicente Bahamondes Avila.
Avenida Alemania 0281, Temuco, Chile.
+56 452206318.
carlos.bahamondesa@mayor.cl

Recibido: 22-06-2016 **Aceptado:** 04-07-2016



- **Bahamondes-Avila C**, Bracho-Milic F, Navarrete-Hidalgo C, Ponce-Fuentes F, Chahin-Inostroza N. (2019). Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en Adultos Mayores con Sarcopenia. Revista Cubana de Salud Pública (aceptada con reparos, actualmente en proceso de edición).
 - Área y Ranking SJR 2017: Medicine, Public Health, Environmental and Occupational Health; Q3.
 - <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=4900153106&tip=sid&clean=0>

Respuesta recibida desde la revista Cubana de Salud Pública

Título: 1105. Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en Adultos Mayores Sarcopénicos.

Autores: Natalia Patricia Chahin Inostroza, Carlos Bahamondes-Avila, Fanny Bracho-Milic, Claudia Navarrete-Hidalgo, Felipe Ponce-Fuentes

Estimado autor:

Les indicamos las consideraciones de los árbitros.

Dictámenes

El trabajo trata un problema insuficientemente atendido, el de la sarcopenia y los métodos de prevención y enfrentamiento, particularizando en el Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo. Su publicación por tanto puede no solo contribuir a la divulgación entre los científicos y médicos en general del problema sino estimular que se produzcan más investigaciones en el tema y que son requeridas para explorar vías de solución combinando los factores que influyen en la sarcopenia como:

1. Inactividad.
2. Disminución de niveles hormonales

3. Nutrición pobre cuantitativa y cualitativa
4. Disminución de la síntesis de proteínas
5. Cambios de la unidad motora en la unión neuromuscular

<http://ageing.oxfordjournals.org/content/early/2013/01/10/ageing.afs191.full.pdf>

Si algo general pudiera criticarse del trabajo que se considera muy bueno, para ser excelente, es la escasa mención de los otros factores así como de su interacción entre estos. A modo de ejemplo de esto último el estrés del ejercicio unido al provocado por la oclusión moviliza entre otras hormonas a la GH, factor principal en la sarcopenia. Esto pudiera ser incluido a modo de comentario en las consideraciones finales.

Proporciona una bibliografía actualizada que será útil para otros investigadores interesados en el tema.

Elabora conclusiones novedosas.

El título es apropiado pero parece mejor: Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en Adultos Mayores con Sarcopenia.

El resumen es correcto también pero debe incluir el título en inglés en el abstract.

Tiene referencias actualizadas pero deben incluirse algunas relacionadas con los riesgos de la ejecución de estos ejercicios así como las exclusiones en sujetos con diabetes y mujeres embarazadas. Al respecto Valorar incluir trabajos como el de Nakajima et al

Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., KAATSU Training Group. (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2(1), 5–13.

También en las referencias aunque son suficientes, pudiera valorarse comentar las más reciente como la Sousa et al, 2017.

Sousa J, Neto GR, Santos HH y col. Effects of strength training with blood flow restriction on torque, muscle activation and local muscular endurance in healthy subjects Biol Sport 34(1): 83-90, 2017.

Debe incluirse lo seguro del método pero con la necesidad de no cometer errores técnicos.

El trabajo ha sido aceptado con modificaciones.

A partir del recibo de este mensaje tienen 30 días para subsanar los señalamientos de los árbitros y enviar el artículo. El manuscrito revisado debe enviarse con una explicación detallada de los cambios que se han incorporado para abordar las preocupaciones y recomendaciones que emanan del proceso de revisión por pares o, alternativamente, proporcionar una justificación detallada de las razones por las que no está de acuerdo con las observaciones formuladas. El manuscrito puede someterse a tantas revisiones como sea necesario para asegurar que usted haya proporcionado una respuesta adecuada a todas las cuestiones planteadas por los revisores.

Saludos cordiales,



Dr C. Juan Vela Valdés

Director

**Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en
Adultos Mayores con Sarcopenia.**

Autores:

CARLOS BAHAMONDES-AVILA^{1,2,3}

FANNY BRACHO-MILIC^{1,2}

CLAUDIA NAVARRETE-HIDALGO^{2,4}

FELIPE PONCE-FUENTES^{2,5}

NATALIA CHAHIN-INOSTROZA^{2,6}

¹ Magíster en Medicina y Ciencias del Deporte.

² Escuela de Kinesiología. Universidad Mayor, Temuco, Chile.

³ Doctorando en Ciencias del Ejercicio. Universidad de Córdoba. España.

⁴ Magister en Pedagogía Universitaria.

⁵ Licenciado en Kinesiología.

⁶ Magister en Epidemiología Clínica.

Dirección para correspondencia:

Mg. Carlos Bahamondes-Avila.

Escuela de Kinesiología. Universidad Mayor.

Avenida Alemania 0281, Temuco, Chile.

Fono: +56452206318

e-mail: kinedfis@gmail.com

RESUMEN

Objetivo: Sintetizar evidencia actualizada respecto a los resultados del entrenamiento de fuerza con restricción parcial del flujo sanguíneo en población adulto mayor con sarcopenia.

Métodos: se realizó una búsqueda en bases de datos científicas EBSCOhost, Science Direct, Web of Science y PubMed. Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda: entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo, sarcopenia, adulto mayor. Los artículos analizados incluyeron revisiones y artículos de investigación, principalmente ensayos clínicos controlados y revisiones sistemáticas con metanálisis.

Síntesis de datos: Se analiza la relación existente entre el adulto mayor y la sarcopenia, fundamentando las principales modificaciones fisiológicas neuromusculares asociadas, ofreciendo un análisis respecto de las bases fisiológicas del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo y las respuestas fisiológicas en el adulto mayor. Se detallan tipos de entrenamiento de fuerza con restricción parcial del flujo sanguíneo, para finalizar con recomendaciones para el uso de dispositivos de restricción parcial del flujo sanguíneo en el adulto mayor.

Conclusiones: el entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo en el adulto mayor surge como una herramienta útil para intervenir en la sarcopenia asociada al envejecimiento, constituyendo una alternativa para inducir la ganancia de fuerza muscular, con la disminución de los riesgos del entrenamiento de alta intensidad. Además es una técnica económica y fácil de implementar en centros de salud de asistencia masiva.

Palabras claves: entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo, sarcopenia, adulto mayor.

ABSTRACT

Title: Strength Training with Partial Blood Flow Restriction in Older Adults with Sarcopenia.

Objective: Synthesize updated evidence regarding the results of strength training with partial restriction of blood flow in the elderly population with sarcopenia.

Methods: We searched the scientific databases EBSCOhost, Science Direct, Web of Science and PubMed. The following search terms were used: training with partial restriction of blood flow, sarcopenia, older adult. The articles analyzed included reviews and research articles, mainly controlled clinical trials and systematic reviews with meta-analyses.

Synthesis of data: The relationship between the elderly and sarcopenia is analyzed, supporting the main physiological neuromuscular modifications associated with this, offering an analysis of the physiological bases of training with partial restriction of blood flow and physiological responses in the elderly. Types of force training with partial restriction of blood flow are detailed, to conclude with recommendations for use of partial blood flow restriction devices in the elderly.

Conclusions: The training with partial restriction of the blood flow in the older adult emerges as a useful tool to intervene in the sarcopenia associated with aging, constituting an alternative to induce the gain of muscular strength, with the reduction of the risks of high intensity training. It is also an economical and easy to implement technique in mass assistance health centers.

Key words: Training with partial blood flow restriction, sarcopenia, and older adult.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los países latinoamericanos han experimentado una acelerada transición demográfica y epidemiológica, presentándose cambios notorios en los valores de fecundidad/natalidad y de mortalidad/esperanza de vida, lo que ha originado un envejecimiento progresivo de la población⁽¹⁾. Este proceso, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, es un indicador de la mejora de la salud mundial⁽²⁾, no obstante el vivir mas años conlleva el surgimiento de problemas sanitarios que progresivamente se van posicionando con una mayor prevalencia, uno de ellos es la sarcopenia, condición común en el adulto mayor (AM)^(1, 3, 4), la cual se asocia a pobre resistencia, inactividad física, baja velocidad de marcha y disminución de la movilidad, factores que representan características comunes del síndrome de fragilidad, contribuyendo a un aumento del riesgo de caída⁽⁵⁾ y a una disminución de la funcionalidad y de la calidad de vida.

El informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del año 2015 sobre el envejecimiento y la salud⁽⁶⁾, señala que los distintos países han asumido la responsabilidad social de abordar la situación socio-sanitaria de los AM como una prioridad dentro de las políticas públicas, planteando objetivos y estrategias que consideren de manera integral la salud de este grupo. La evidencia señala que los AM pueden atenuar la curva de disminución funcional, incrementar fuerza y masa muscular, como resultado del entrenamiento específico de fuerza⁽⁷⁾.

Esta revisión sintetiza la evidencia actual respecto a los resultados del entrenamiento de fuerza con restricción parcial del flujo sanguíneo (RPFS) en el AM, como estrategia costo/efectiva para la dependencia asociada envejecimiento.

MÉTODOS

Para recabar la información se realizó una búsqueda sistemática de la literatura en las bases de datos científicas EBSCOhost, Science Direct, Web of Science y PubMed. Se utilizaron los siguientes términos claves de búsqueda:

entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo, sarcopenia, adulto mayor, unidos a través del operador booleano AND.

Entre los artículos seleccionados y sometidos a análisis crítico de literatura se incluyeron artículos de revisión, revisiones cuantitativas, además de artículos de investigación, principalmente ensayos clínicos controlados y revisiones sistemáticas con y sin metanálisis. En los artículos mencionados, se consideraron las recomendaciones del Grupo Internacional de Trabajo en Sarcopenia y del Grupo Europeo de Trabajo sobre la Sarcopenia en Adultos Mayores (EWGSOP).

SINTESIS DE DATOS

Adulto mayor y Sarcopenia

El envejecimiento se asocia a cambios en la composición corporal, principalmente en la reducción de la función y masa muscular (sarcopenia), cuya prevalencia en personas de 60 a 70 años es del 5 a 13%, mientras que en mayores de 80 años aumenta entre 11 y 50%. En el año 2014, la población mundial con 60 años y más, se calculó en 650 millones, proyectando un aumento para el año 2050 a 2.000 millones⁽²⁾. Incluso con una estimación conservadora de la prevalencia, la sarcopenia afecta hoy a más de 50 millones de personas y afectará a más de 200 millones en los próximos 40 años⁽⁸⁾.

En 1989, Irwing Rosenberg introdujo el término sarcopenia para describir la disminución de la masa muscular producida con la edad⁽⁹⁾, la que causa pérdida de fuerza como consecuencia del deterioro de las fibras musculares (pérdida de sarcómeros o unidades contráctiles del tejido muscular). En 2009, el Grupo Internacional de Trabajo en Sarcopenia la definió como “pérdida asociada a la edad de la masa muscular esquelética y de la función”⁽³⁾. Posteriormente, el EWGSOP amplió la definición de sarcopenia como un síndrome caracterizado por la pérdida progresiva y generalizada de masa muscular esquelética, que ocurre con el avance de la edad, y que conlleva riesgos como discapacidad física, disminución de la calidad de vida e incremento de la mortalidad⁽⁸⁾, expresado como deterioro general en el estado de salud, aumento en el riesgo de caídas y fracturas, disminución de

la capacidad para desarrollar las actividades de la vida diaria y pérdida de la independencia.

La etiología de la sarcopenia en el AM se considera multifactorial⁽³⁾, incluyendo factores genéticos y anomalías mitocondriales⁽¹⁰⁾, determinantes sociales como la falta de actividad física⁽¹¹⁾, o alteración de procesos fisiológicos como la disminución de hormonas anabólicas⁽¹²⁾, el incremento de citoquinas inflamatorias⁽¹³⁾, la disminución de los terminales motores⁽¹⁴⁾ y la disminución del flujo sanguíneo muscular⁽¹⁵⁾, entre otras.

Una clasificación etiológica de la sarcopenia la categoriza como primaria, o asociada a la edad, cuando no existe otra causa evidente además del envejecimiento del sujeto; y secundaria, cuando existe una o más causas evidentes, como sarcopenia asociada a la inactividad (consecuencia de reposo en cama, estilo de vida sedentario, situación de ingravidez), sarcopenia asociada a enfermedad (falla orgánica avanzada, neoplasias, enfermedades inflamatorias o endocrinas) y sarcopenia asociada a malnutrición (ingesta dietética inadecuada de proteínas, malabsorción intestinal y uso de medicamentos anorexígenos)⁽⁸⁾.

En relación al diagnóstico de sarcopenia relacionada con la edad, es de gran utilidad el consenso del EWGSOP, que recomienda usar la presencia de dos criterios: primero la pérdida de masa muscular y segundo, la pérdida de función muscular (fuerza o rendimiento). De esta manera, el diagnóstico requiere evidencia de pérdida de masa muscular, más la evidencia de cualquiera de las variables del segundo criterio (pérdida de fuerza o pérdida de rendimiento físico)⁽⁸⁾. El uso de los dos criterios se basa en que la fuerza muscular no depende sólo de la masa muscular, y además porque la relación entre fuerza y masa muscular no es lineal. Esta relación incorpora el concepto de "calidad muscular", que corresponde al cociente de fuerza relativa entre la generación de fuerza (FZA) por unidad de área de sección transversa muscular (ASTm): $FZA/ASTm$. La relevancia la proporcionan los estudios que señalan que los efectos del cambio en el tamaño y calidad del músculo en el envejecimiento no son proporcionales, mostrando una pérdida de fuerza 2 a 5 veces más acentuada que la de masa⁽¹⁵⁾.

La sarcopenia se puede presentar en tres estadios: presarcopenia, o pérdida de masa muscular sin impacto en la fuerza muscular ni en el rendimiento físico, identificable solo mediante técnicas que miden la masa muscular con exactitud y comparando con poblaciones normalizadas. Sarcopenia, definida como pérdida de masa muscular asociada a disminución de fuerza muscular o rendimiento físico. Finalmente, sarcopenia severa, cuando se presentan juntos los dos criterios antes mencionados⁽⁸⁾.

Alteraciones fisiológicas neuromusculares ligadas a sarcopenia asociada a edad.

La disminución de la fuerza muscular es un cambio significativo asociado al envejecimiento y uno de los factores predictores del declive funcional del AM, que ocurre en mayor proporción que la disminución de la masa muscular, incluso considerando que en esta última, los cambios relacionados con la edad no son uniformes y que es influenciada por variables como sexo, raza y estado post menopáusico⁽¹⁵⁾.

La disminución de la fuerza con el envejecimiento se explica por la reducción del tamaño y número de fibras musculares, en particular las de tipo II; denervación y pérdida de unidades motoras, demostrándose un mayor tiempo para alcanzar el peak de contracción como también para relajarse⁽¹⁶⁾; aumento de fibras híbridas; disminución en la capacidad de regeneración muscular por menor presencia de células satélite⁽¹⁷⁾; disminución en la producción de hormonas anabólicas y de la capacidad muscular para incorporar aminoácidos y síntesis proteica, con aumento en la liberación de agentes catabólicos⁽¹⁸⁾ además de modificaciones estructurales a lo largo de las fibras musculares, expresada en la cadena pesada de miosina, diferente al resto de la fibra⁽¹⁹⁾.

La pérdida de fuerza muscular en el AM se asocia a una disminución en la capacidad funcional para realizar actividades de la vida diaria⁽²⁰⁾, incremento del riesgo de caída⁽²¹⁾ y cambios estructurales como la pérdida de densidad mineral ósea⁽²²⁾. Además, disminuye la movilidad e incrementa el riesgo de fracturas, discapacidad y enfermedades cardíacas^(23, 24).

Bases fisiológicas del Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo.

Tradicionalmente los entrenamientos para aumentar la fuerza y masa muscular se realizan con ejercicios de sobrecarga al 60-80% de la Resistencia Máxima (RM)⁽²⁵⁾, sin embargo, recientes aportes han demostrado que el ejercicio de fuerza con baja carga, realizado hasta el máximo esfuerzo, con detención de una serie de ejercicios, por la incapacidad de completar una repetición completa dentro de esta⁽²⁶⁾, comúnmente conocido como “hasta el fallo muscular”, puede provocar hipertrofia muscular comparable al ejercicio de sobrecarga de alta intensidad^(27, 28). Este fenómeno se refiere a una contribución dispar entre dos mecanismos de acción que parecen ser los principales para inducir hipertrofia muscular⁽²⁹⁾: el de tensión mecánica en el ejercicio de alta intensidad⁽²⁵⁾, y el de fatiga metabólica, en los ejercicios hasta el fallo con baja carga^(30, 31). Este nuevo paradigma indica que el estrés metabólico desencadena una mayor tasa de síntesis de proteínas musculares, a través de la activación de rutas de señalización anabólica y atenuación de vías catabólicas⁽³¹⁾. Esta condición también se ha observado en ejercicio de tipo aeróbico (baja intensidad, larga duración y de características cíclicas), sin embargo la magnitud de estas respuestas es menor que en los ejercicios de fuerza⁽³⁰⁾. El entrenamiento con RPFS con baja carga (20-30%RM) surge como una alternativa de eficacia al ejercicio de baja intensidad “hasta el fallo”, dado que acelera la fatiga metabólica, potencia los efectos hipertróficos y disminuye el tiempo de ejecución dentro de la sesión de ejercicios^(32, 33), en contraposición a las desventajas derivadas del entrenamiento de alta intensidad.

En el ejercicio con RPFS se observan adaptaciones equivalentes en el aumento de la fuerza y masa muscular, no obstante, los mecanismos que explican estas adaptaciones no están plenamente definidos. De acuerdo a la revisión de Pearson y Hussain⁽³⁴⁾, el estrés metabólico desempeña el papel dominante por sobre la tensión mecánica para generar desarrollo muscular, aunque ambos actuarían sinérgicamente produciendo respuestas secundarias, tales como el

aumento en las hormonas anabólicas sistémicas o el reclutamiento anticipado de fibras rápidas, que sumado a otros mecanismos de señalización, conllevan a una estimulación de la síntesis proteica con aumento de la vía anabólica y/o disminución de la vía catabólica, junto a una mayor activación, proliferación y fusión de las células satélites.

Respuestas fisiológicas del Entrenamiento con Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo observadas en el Adulto Mayor.

Diversos estudios demuestran que el ejercicio de fuerza con RPFS induce variaciones significativas en los indicadores de crecimiento de células musculares en el AM⁽³⁵⁻³⁷⁾. Fry et al.⁽³⁵⁾, describen un incremento del 56% en la síntesis proteica muscular después del RPFS en hombres AM, concluyendo que este entrenamiento mejora la señalización del complejo 1 de diana de rapamicina de células de mamíferos (mTORC1) y la síntesis proteica muscular, promoviendo la hipertrofia muscular en el tiempo. La activación simultánea de las vías de señalización de mTORC1 y proteína kinasa activada por mitógenos (MAPK) son necesarias para inducir una respuesta máxima de síntesis proteica muscular después del ejercicio de fuerza, y el ejercicio con RPFS es capaz de activar ambas vías de señalización en el músculo esquelético de los AM. De forma similar, aunque con un método de entrenamiento cardiorrespiratorio asociado a RPFS, Abe et al. hacen referencia que este tipo de ejercicios promueve el incremento en la síntesis proteica muscular en los AM, sugiriendo que el aumento en la circunferencia del muslo y la pierna, inmediatamente después de una sesión de entrenamiento, se asocia a una disminución de la proteólisis secundaria a inflamación celular, e induce una respuesta anabólica del músculo esquelético⁽³⁶⁾. Yasuda et al. concluyen que existe una alta posibilidad que las células madres miogénicas provean una capacidad aumentada de transcripción génica en las miofibrillas, lo que contribuye a una mejor actividad de síntesis proteica muscular en el ejercicio con RPFS⁽³⁷⁾. En consecuencia, para esta población, las mejoras en el metabolismo proteico pueden ser la base de la hipertrofia muscular inducida por el ejercicio asociado a RPFS.

En relación a las modificaciones hormonales, la RPFS promueve el incremento de los niveles plasmáticos de hormona del crecimiento (GH)^(38, 39) y norepinefrina (NE)⁽³⁹⁾ inmediatamente después del ejercicio de fuerza y de la GH a las 8 semanas posteriores al ejercicio⁽⁷⁾. El aumento de la secreción de GH mediante RPFS en el AM es comparable con el entrenamiento de fuerza de alta intensidad en hombres jóvenes, sin embargo, es menor en el AM⁴¹. Además, se ha demostrado un incremento en los niveles plasmáticos del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) después del ejercicio con RPFS en AM⁽³⁸⁾, lo que promueve la angiogénesis probablemente secundaria al estrés hipóxico generado por este tipo de estímulos⁽³⁹⁾.

Potenciales riesgos del entrenamiento con restricción parcial del flujo sanguíneo.

La mayoría de las investigaciones han reportado una baja magnitud de riesgo en sesiones únicas o periodos de entrenamiento con RPFS, no obstante existen reportes aislados de casos de rabdomiolisis⁽⁴⁰⁾, de oclusión central de la vena de retina⁽⁴¹⁾ o de un presíncope neurocirculatorio por hipotensión, pero en condiciones simuladas de microgravedad (presión negativa en miembro inferior junto a RPFS)⁽⁴²⁾. Una encuesta nacional sobre seguridad y uso del ejercicio con RPFS realizada en 13.000 japoneses de 20-80 años con diversos niveles de condición física concluyó que es un método seguro y novedoso para entrenar atletas, personas sanas, y potencialmente a individuos con diversas comorbilidades. Este observó una baja incidencia de efectos colaterales en anemia cerebral: 0,277%; trombosis venosa: 0,055%; embolismo pulmonar: 0,008%; rabdomiolisis: 0,008%; progresión en enfermedad isquémica miocárdica: 0,016%. Como efectos temporales observaron hemorragia subcutánea: 13,1%; adormecimiento: 1,297% o sensación de frialdad: 0,127%⁽⁴³⁾. Recientemente, Patterson y Brandner⁽⁴⁴⁾, evaluaron a 115 personas (18 y >60 años) mediante un cuestionario, el 80% de ellos indicaron que el entrenamiento era “muy bueno o excelente” para mejorar la fuerza o durante la rehabilitación, no obstante la tasa de incidencia de efectos secundarios fue de 39,2% para el dolor muscular de aparición tardía, 18,5% para entumecimiento

de extremidades, 14,6% para desmayos o mareos y 13,1% para hematomas, entre otros. Reconociendo al entrenamiento con RPFS como seguro, esta información refuerza la importancia de disponer previamente de información clínica y de salud de los participantes, así como de realizar una correcta evaluación de la condición general y física de los posibles candidatos a este tipo de entrenamiento, desarrollando una prescripción y técnica de aplicación cautelosa, y monitoreando continuamente su ejecución práctica.

La tabla 1 resume potenciales riesgos estudiados con esta metodología, comparándola con ejercicios de fuerza sin RPFS. Vale la pena destacar, que aun cuando puedan manifestarse diferentes magnitudes comparado con el entrenamiento tradicional, los cambios observados se encuentran dentro de parámetros de normalidad durante el ejercicio físico.

Tabla 1: Comparación de riesgo entre Entrenamientos con RPFS y sin RPFS

Parámetros	Entrenamiento con RPFS	Entrenamiento sin RFS
Presión Arterial, Frecuencia Cardíaca y Doble Producto^(70, 71)	↑↑	↑
Flujo Sanguíneo Local^(72, 73)	↑↑	↑
Resistencia Periférica Total⁽⁷⁰⁾	=	=
Rigidez vascular periférica⁽⁷⁴⁾	=	=
Alteración en la Coagulación^(35, 74-77)	=	=
Velocidad de Conducción Nerviosa⁽⁷⁴⁾	=	=
Daño Muscular^(73, 75, 76, 78-81)	↑=	↑↑
Estrés Oxidativo^(80, 82)	↑=	↑↑=
Inflamación^(74, 81, 83)	↑ =	↑↑ =

Fuente: Tabla de creación propia.

Tipos de Entrenamiento de Fuerza con Restricción Parcial de Flujo Sanguíneo aplicado al Adulto Mayor.

Diversos estudios indican que los AM pueden disminuir su limitación funcional e incrementar su masa y fuerza muscular en respuesta al entrenamiento con fuerza⁽⁷⁾. El entrenamiento de la fuerza con alta intensidad (carga >60% RM) se recomienda como una estrategia efectiva para combatir la pérdida de fuerza muscular asociada al envejecimiento. Sin embargo, muchos AM poseen comorbilidades que se contraponen con el uso de ejercicio de alta intensidad, por lo que incorporar el entrenamiento con RPFS surge como una alternativa interesante para inducir adaptaciones neuromusculares similares al entrenamiento de alta intensidad. Las aplicaciones del entrenamiento con RPFS durante los ejercicios de fuerza se establecen en relación al porcentaje de la RM levantada en una repetición, en ejercicios con bandas elásticas (BE) o en entrenamiento en circuito (EC).

Entrenamiento de fuerza con porcentaje de Resistencia Máxima.

Este es el protocolo de entrenamiento más usado. Para ello se determina previamente la fuerza máxima durante una contracción concéntrica o RM y luego, se aplica un porcentaje de RM con RPFS, usando cargas de 20-50% RM⁽⁴⁵⁾ con ejercicios mono o multiarticulares para cualquiera de las extremidades^(45, 46). Existen diferentes protocolos de ejecución en cuanto a repeticiones, pausas y tiempo total de trabajo, pero todos buscan lograr la fatiga muscular, generando un entorno metabólico apropiado que permita las adaptaciones fisiológicas. Los estudios sugieren realizar 2 a 3 sesiones semanales, compuestas de 3 a 5 series, distribuidas en series de 30 repeticiones, 3 a 4 series “al fallo”, o 1 serie de 30 repeticiones, más 3 series de 15 repeticiones, con ritmos de ejecución de 2 segundos de ejercicio concéntrico y 2 segundos de ejercicio excéntrico (relación 1:1), pausas de 30 a 90 segundos, con una duración total de la sesión de 15 minutos aproximadamente; la compresión puede ser continua durante la sesión, aunque

también se puede reducir o eliminar la restricción durante la pausa entre series⁽⁴⁵⁻⁴⁷⁾.

Se observan resultados similares o mejores en el entrenamiento de baja intensidad con RPFS en comparación con el entrenamiento de alta intensidad y baja intensidad sin RPFS. En hombres mayores se ha observado un aumento de la fuerza muscular del 19.3 y 20.4% en prensa de piernas y del 19.1 y 31.2% en la extensión de rodilla durante 6 semanas de entrenamiento con RPFS a baja intensidad y entrenamiento de alta intensidad, respectivamente⁽⁴⁸⁾. El entrenamiento con RPFS ha reportado un incremento del trofismo muscular del cuádriceps del 6.6 a 8% y de la fuerza muscular del 17 a 33.4% después de 12 semanas ^(49, 50), no sólo en la musculatura distal a la compresión vascular, sino también en los músculos proximales como el glúteo máximo y los aductores⁽⁵⁰⁾. Adicionalmente, se ha demostrado un incremento del 14% en la RM, 18% en la fuerza isométrica máxima voluntaria (CIMV) y 17% en la fuerza isocinética⁽⁵¹⁾, observándose un comportamiento similar en la extremidad superior, pero en períodos de mayor duración⁽⁵²⁾.

Entrenamiento de fuerza con Bandas Elásticas.

Las BE son comúnmente utilizadas en programas de rehabilitación o *fitness*, ya que facilita realizar ejercicios funcionales con una carga externa, dada por la tensión que genera la deformación elástica de la banda, la cual se puede complementar con el uso de escalas que miden la percepción subjetiva del esfuerzo (PSE), validadas para tal fin^(53, 54).

En AM posmenopáusicas, el entrenamiento de baja intensidad con BE asociado a RPFS provoca un incremento similar al entrenamiento de moderada a alta intensidad sin RPFS respecto de la masa y la fuerza muscular en miembro superior⁽⁵⁵⁾. Yasuda et al. concluyeron que el ejercicio con BE y RPFS mejora el área transversal (17.6% en músculos flexores y 17.4% en extensores de codo) y la fuerza muscular máxima de los músculos del brazo (7.8 y 16.1%, en flexores y

extensores, respectivamente), sin afectar negativamente la distensibilidad arterial; donde además la ganancia de fuerza muscular tiende a mantenerse después de un periodo sin entrenamiento, comparando un protocolo de ejercicios con RPFS versus uno de alta intensidad, reportándose un índice de cambio promedio de la CIMV de 0.61 a -0.29% para la flexión del codo y de 1.46 a -0.20% para la extensión del codo por semana, respectivamente⁽³⁷⁾.

Entrenamiento en Circuito.

El EC de alta intensidad utiliza el peso corporal (PC) como resistencia, combina el entrenamiento aeróbico y de fuerza en una sola sesión de ejercicios⁽⁵⁶⁾, ofreciendo beneficios para la salud en un menor tiempo comparado con los programas tradicionales, basándose fisiológicamente en el estrés metabólico de los modelos de ejercicio “hasta el fallo”⁽⁵⁷⁾. En la actualidad se han aplicado programas de entrenamiento en AM comparando el EC con PC con ejercicios de alta intensidad con carga, demostrándose que cualquiera de estos métodos son igualmente eficaces en el aumento de volumen y fuerza muscular, siempre que se realice con el máximo esfuerzo durante el entrenamiento⁽²⁷⁾. Al comparar el EC asociado a RPFS versus un entrenamiento del balance, ambos mejoran el rendimiento físico y el balance, no obstante, el incremento de la fuerza muscular en miembro inferior fue significativamente superior en el grupo con RPFS. También se observó un incremento en los niveles de GH inmediatamente después del ejercicio, sugiriéndose como mecanismo subyacente para el incremento de la fuerza muscular y la función física⁽⁷⁾.

Recomendaciones para el uso de dispositivos de Restricción Parcial del Flujo Sanguíneo en el Adulto Mayor.

Los dispositivos de RPFS se instalan en la porción proximal del miembro superior o inferior cuidando que la presión de restricción (PR) sea lo suficientemente alta para ocluir el retorno venoso desde los músculos, pero lo suficientemente baja como para mantener el flujo arterial^(49, 58).

La intensidad de la RPFS debe ser individual, razón por la cual es necesario considerar factores como el tipo de manguito o medidor (dispositivo), el ancho de éste, la PR y el perímetro de la extremidad, a la hora de ajustar la restricción.

Diversos estudios en los últimos cinco años han postulado la importancia de determinar la correcta PR. Aunque es escasa la aparición de daño con este tipo de entrenamiento, la incorrecta determinación de la presión oclusiva puede derivar en hemorragias subcutáneas y entumecimiento local⁽⁵⁰⁾. Existe consenso respecto a la necesidad de considerar el ancho de los manguitos y el perímetro de la extremidad para establecer la PR, ya que ambas no son independientes a la hora de determinar el estímulo restrictivo⁽⁵⁸⁻⁶⁰⁾. Se necesita investigación adicional, pero se puede consensuar según las investigaciones que sería apropiado trabajar entre el 50 al 60% del valor requerido para lograr la oclusión total^(58, 61, 62).

Actualmente, no existen protocolos estandarizados para la regulación de los dispositivos de RPFS en el AM, sin embargo el análisis de la evidencia publicada en población AM sana, hipertensa, con patologías cardiovasculares o con patologías osteoarticulares permite recomendar criterios de aplicación para realizar un entrenamiento de forma segura y eficiente^(52, 54, 58, 59, 63, 64). Considerando los criterios de tipo y ancho del dispositivo, ubicación de éste, determinación de PR, calentamiento o adaptación y tiempo de duración de la restricción, es posible entregar recomendaciones contenidas en la tabla 2.

Tabla 2: Recomendaciones de utilización de los dispositivos de RPFS en AM

Tipo y ancho del dispositivo	Los estudios realizados hasta el momento han utilizado dispositivos automáticos y esfigmomanómetros ^(52, 54) , no reportándose aún estudios que utilicen bandas elásticas en AM. La elección del ancho debe ser cuidadosa e individualizada aunque se sugiere la utilización de dispositivos anchos para entrenar MI (entre 10,5 y 17,5 cm), siempre y cuando no genere dolor o limitación de movimiento y de dispositivos más angostos (5 cm) para el entrenamiento de MS ^(52, 59-64, 84, 85) .
Ubicación	Los dispositivos de RPFS se ubican en la porción proximal del MS o MI a entrenar para cumplir el propósito de restringir parcialmente el flujo sanguíneo. La PR debe ser lo suficientemente alta para ocluir el retorno venoso desde los músculos, pero lo suficientemente baja como para mantener el flujo arterial ^(49, 58) .
Determinación de la presión de restricción	Según la evidencia disponible sería apropiado trabajar entre el 50-60% del valor requerido para lograr la oclusión total del miembro a entrenar ^(58, 61, 62) . Para determinar la PR se debe tener en cuenta el ancho del manguito y el perímetro del miembro a tratar ⁽⁵⁴⁾ . En el caso de AM con patología osteoarticular podría utilizarse la siguiente fórmula ⁽⁵⁴⁾ : $(0,5 \times \text{Presión Sistólica}) + (2 \times \text{Perímetro de Muslo}) + 5]$
Calentamiento	La revisión de la literatura sugiere iniciar el entrenamiento con un calentamiento que permitiría al sujeto acostumbrarse a la PR establecida para el entrenamiento. Para ello, se selecciona una presión inicial 50% bajo el nivel de RPFS durante 30 segundos y luego se libera. El proceso se repite incrementando la presión en 10 a 20 mmHg y se mantiene durante 30 segundos antes de ser liberado por 10 segundos entre estímulos restrictivos. Este proceso se continúa hasta que se alcanza la PR seleccionada ⁽⁵⁰⁾ .
Tiempo de duración de la restricción	Los últimos estudios hechos en AM mantienen la restricción durante el ejercicio y la pausa ⁽⁸⁴⁾ , aunque estudios en pacientes con alteraciones osteoarticulares prefieren utilizar restricción intermitente para evitar sobrecargar los tejidos y exponerlos a fatiga precoz ⁽⁵⁴⁾ .

Fuente: Tabla de creación propia.

CONSIDERACIONES FINALES.

La preocupación actual en relación con el aumento de la tasa de envejecimiento poblacional radica en el mantenimiento de la salud y la calidad de vida de seres humanos, la cual ha aumentado en años de sobrevida, y se encuentra cada vez más cerca del límite de años donde es posible extender la vida⁽⁶⁵⁾.

En este contexto, el ejercicio físico, practicado de manera apropiada, es una de las mejores herramientas disponibles para retrasar y prevenir las consecuencias del envejecimiento, fomentar la salud y la calidad de vida, manteniendo y mejorando la función muscular esquelética, osteoarticular, cardiocirculatoria, respiratoria, endocrina, metabólica, inmunológica y psiconeurológica⁽⁶⁶⁾.

El entrenamiento con RPFS es una alternativa para compensar los efectos asociados a la sarcopenia, ya que induce ganancias de fuerza y masa muscular en el AM y mejora su capacidad funcional⁽³⁶⁾. Los efectos benéficos del entrenamiento con RPFS se han observado en participantes sanos, no entrenados, entrenados de forma recreativa y en poblaciones atléticas⁽⁶⁷⁾. En el caso de los AM se ha utilizado siguiendo la premisa que una parte importante de esta población no es capaz de realizar un entrenamiento de fuerza siguiendo las recomendaciones de alta intensidad, por lo cual esta metodología emerge como una alternativa para inducir ganancia en la fuerza muscular de los AM⁽⁶⁸⁾. Introducir bajas cargas con RPFS es una metodología útil, de bajo costo y de fácil aplicación no sólo en procesos de envejecimiento, sino en la rehabilitación física o en procesos de dinapenia o sarcopenia ligadas a otras causas, así como en poblaciones especiales con factores de riesgo o patología crónica, que requieran hacer ejercicio o mantener una vida activa, pero sin sobrecargar las estructuras osteoartromusculares. Recientemente, Clarkson y colaboradores han reportado que la caminata de baja intensidad con RPFS en AM sedentarios durante 6 semanas promueve una significativa mejora en la función física, demostrando que la adición de RPFS puede incrementar la calidad de una actividad simple y frecuente como la caminata en una población donde el ejercicio de alta intensidad puede estar contraindicado⁽⁶⁹⁾.

La estimulación metabólica ligada al trabajo muscular en condiciones de fatiga controlada que fundamenta esta metodología, evita además el stress articular generado por el entrenamiento de fuerza de alta intensidad, lo que la transforma en una estrategia beneficiosa para los AM con sarcopenia. No obstante, y aun cuando esta forma de entrenamiento es segura y fácil utilizar, no se deben cometer errores técnicos y ser rigurosos en la selección de la modalidad de entrenamiento a utilizar, en las formas de aplicación de la restricción con el manguito, tanto en el tipo y material de éstos, así como en presiones aplicadas, tiempos de restricción durante el entrenamiento y progresiones basadas en los principios del entrenamiento. Aun cuando cada día se suma evidencia de la aplicación de la RPFS en distintas poblaciones, otras investigaciones debieran complementar y enriquecer la información disponible en cuanto a las adaptaciones y medidas de seguridad de esta metodología.

El entrenamiento con RPFS se plantea como una metodología relevante para controlar o disminuir la sarcopenia, a través de mecanismos de acción ligados a la síntesis proteica, la actividad de células satélites, el reclutamiento de fibras musculares tipo II y la secreción hormonal anabólica, correspondiendo a una opción costo/efectiva en la disminución de la dependencia física relacionada al envejecimiento. En consecuencia, considerando que el gasto en salud aumentará sólo debido al factor “envejecimiento”, intervenir en esta población no sólo generaría un impacto en la salud y calidad de vida de los AM, sino que también contribuiría a fortalecer el sector sanitario, y con ello, la economía de cada país.

No hubo conflictos de interés para la realización de la presente revisión.

Agradecimientos: a Domingo Salas Alarcón, por su apoyo a la formación y desarrollo de innumerables kinesiólogos del país.

Referencias Bibliográficas

1. Senama. Estudio Nacional de la Dependencia en las Personas Mayores. Chile. Disponible en: <http://www.senama.cl/filesapp/Estudio%20Nacional%20de%20Dependencia%20en%20las%20Personas%20Mayores.pdf> 2010.
2. Minsal. Programa nacional de salud de las personas adultas mayores. Chile. Disponible en: http://web.minsal.cl/sites/default/files/files/Borrador%20documento%20Programa%20Nacional%20de%20Personas%20Adultas%20Mayores-%2004-03_14.pdf; 2014.
3. Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB, et al. Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc.* 2011;12(4):249-56.
4. Morley JE, Abbatecola AM, Argiles JM, Baracos V, Bauer J, Bhasin S, et al. Sarcopenia with limited mobility: an international consensus. *Journal of the American Medical Directors Association.* 2011;12(6):403-9.
5. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: Evidence for a phenotype. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences and Medical Sciences.* 2001;56.
6. OMS. Informe sobre el envejecimiento y la salud. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/186466/1/9789240694873_spa.pdf; 2015.
7. Latham NK, Bennett DA, Stretton CM, Anderson CS. Systematic review of progressive resistance strength training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2004;59(1):48-61.
8. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010:1-12.
9. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr.* 1997;127(5):990S-1S.
10. Sakuma K, Aoi W, Yamaguchi A. Current understanding of sarcopenia: possible candidates modulating muscle mass. *Pflugers Arch.* 2015;467(2):213-29.
11. Morley JE. Sarcopenia in the elderly. *Fam Pract.* 2012;29(suppl 1):i44-i8.
12. Rolland Y, Onder G, Morley JE, Gillette-Guyonnet S, van Kan GA, Vellas B. Current and future pharmacologic treatment of sarcopenia. *Clin Geriatr Med.* 2011;27(3):423-47.
13. Michaud M, Balardy L, Moulis G, Gaudin C, Peyrot C, Vellas B, et al. Proinflammatory cytokines, aging, and age-related diseases. *J Am Med Dir Assoc.* 2013;14(12):877-82.
14. Drey M, Krieger B, Sieber CC, Bauer JM, Hettwer S, Bertsch T, et al. Motoneuron loss is associated with sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc.* 2014;15(6):435-9.
15. Mitchell WK, Atherton PJ, Williams J, Larvin M, Lund JN, Narici M. Sarcopenia, dynapenia and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review. *Front Physiol.* 2012;3:1-18.
16. Macaluso A, De Vito G. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(4):450-72.

17. Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *Br Med Bull*. 2010;95(1):139-59.
18. Deschenes MR. Effects of aging on muscle fibre type and size. *Sports Medicine*. 2004;34(12):809-24.
19. Andersen JL. Muscle fibre type adaptation in the elderly human muscle. *Scand J Med Sci Sports*. 2003;13(1):40-7.
20. Suzuki T, Bean JF, Fielding RA. Muscle power of the ankle flexors predicts functional performance in community-dwelling older women. *J Am Geriatr Soc*. 2001;49(9):1161-7.
21. Skelton DA, Kennedy J, Rutherford OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing*. 2002;31(2):119-25.
22. Blain H, Vuillemin A, Teissier A, Hanesse B, Guillemin F, Jeandel C. Influence of muscle strength and body weight and composition on regional bone mineral density in healthy women aged 60 years and over. *Gerontology*. 2001;47(4):207-12.
23. Haykowsky MJ, Brubaker PH, Morgan TM, Kritchevsky S, Eggebeen J, Kitzman DW. Impaired aerobic capacity and physical functional performance in older heart failure patients with preserved ejection fraction: role of lean body mass. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2013;68(8):968-75.
24. Visser M, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, Newman AB, Nevitt M, Rubin SM, et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005;60(3):324-33.
25. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011;43(7):1334-59.
26. Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2010;24(10):2857-72.
27. Van Roie E, Delecluse C, Coudyzer W, Boonen S, Bautmans I. Strength training at high versus low external resistance in older adults: effects on muscle volume, muscle strength, and force-velocity characteristics. *Exp Gerontol*. 2013;48(11):1351-61.
28. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, Burd NA, Breen L, Baker SK, et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol*. 2012;113(1):71-7.
29. Ozaki H, Loenneke J, Thiebaud R, Abe T. Cycle training induces muscle hypertrophy and strength gain: strategies and mechanisms. *Acta Physiol Hung*. 2015;102(1):1-22.
30. Ozaki H, Loenneke JP, Buckner SL, Abe T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. *Med Hypotheses*. 2016.
31. Schoenfeld BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med*. 2013;43(3):179-94.

32. Farup J, de Paoli F, Bjerg K, Riis S, Ringgard S, Vissing K. Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2015;25(6):754-63.
33. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017:bjsports-2016-097071.
34. Pearson SJ, Hussain SR. A Review on the Mechanisms of Blood-Flow Restriction Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*. 2014;45(2):187-200.
35. Fry CS, Glynn EL, Drummond MJ, Timmerman KL, Fujita S, Abe T, et al. Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men. *Journal of Applied Physiology*. 2010;108(5):1199-209.
36. Abe T, Sakamaki M, Fujita S, Ozaki H, Sugaya M, Sato Y, et al. Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journal of geriatric physical therapy (2001)*. 2010;33(1):34-40.
37. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, Koshi H, Iida H, Masamune K, et al. Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014:glu084.
38. Patterson SD, Leggate M, Nimmo MA, Ferguson RA. Circulating hormone and cytokine response to low-load resistance training with blood flow restriction in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(3):713-9.
39. Manini TM, Clark BC. Blood Flow Restricted Exercise and Skeletal Muscle Health. *Exerc Sport Sci Rev*. 2009;37(2):78-85.
40. Iversen E, Røstad V. Low-load ischemic exercise-induced rhabdomyolysis. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2010;20(3):218-9.
41. Ozawa Y, Koto T, Shinoda H, Tsubota K. Vision Loss by Central Retinal Vein Occlusion After Kaatsu Training: A Case Report. *Medicine*. 2015;94(36).
42. Nakajima T, Iida H, Kurano M, Takano H, Morita T, Meguro K, et al. Hemodynamic responses to simulated weightlessness of 24-h head-down bed rest and KAATSU blood flow restriction. *European Journal of Applied Physiology*. 2008;104(4):727.
43. Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, et al. Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*. 2006;2(1):5-13.
44. Patterson SD, Brandner CR. The role of blood flow restriction training for applied practitioners: A questionnaire-based survey. *J Sports Sci*. 2017:1-8.
45. Slysz J, Stultz J, Burr JF. The efficacy of blood flow restricted exercise: A systematic review & meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2015.
46. Fahs CA, Loenneke JP, Rossow LM, Tiebaud RS, Bemben MG. Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*. 2012;1(1):14-22.
47. Martín Hernández J. Respuestas y adaptaciones de la función y estructura musculares al entrenamiento oclusivo con resistencias de baja intensidad: Leon; 2013.

48. Karabulut M, Abe T, Sato Y, Bembem MG. The effects of low-intensity resistance training with vascular restriction on leg muscle strength in older men. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(1):147-55.
49. Loenneke JP, Fahs CA, Rossow LM, Thiebaud RS, Mattocks KT, Abe T, et al. Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Front Physiol*. 2013;4:249.
50. Pope ZK, Willardson JM, Schoenfeld BJ. Exercise and blood flow restriction. *J Strength Cond Res*. 2013;27(10):2914-26.
51. Patterson SD, Ferguson RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *J Aging Phys Act*. 2011;19(3):201-13.
52. Cezar MA, De Sá CA, Corralo VdS, Copatti SL, Santos GAGd, Grigoletto MEdS. Effects of exercise training with blood flow restriction on blood pressure in medicated hypertensive patients. *Motriz: J Phys Ed*. 2016;22(2):9-17.
53. Colado JC, Garcia-Masso X, Triplett TN, Flandez J, Borreani S, Tella V. Concurrent validation of the OMNI-resistance exercise scale of perceived exertion with Thera-band resistance bands. *JSCR*. 2012;26(11):3018-24.
54. 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. *Contemp Clin Trials*. 2015;43:217-22.
55. Loenneke JP, Pujol TJ. The use of occlusion training to produce muscle hypertrophy. *SCJ*. 2009;31(3):77-84.
56. Klika B, Jordan C. High-intensity circuit training using body weight: Maximum results with minimal investment. *ACSMs Health Fit J*. 2013;17(3):8-13.
57. Romero-Arenas S, Martínez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. *Aging Dis*. 2014;4(5):256-63.
58. Scott BR, Loenneke JP, Slattery KM, Dascombe BJ. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*. 2014;45(3):313-25.
59. Loenneke JP, Fahs CA, Thiebaud RS, Rossow LM, Abe T, Ye X, et al. The acute muscle swelling effects of blood flow restriction. *Acta Physiologica Hungarica*. 2012;99(4):400-10.
60. Jessee MB, Buckner SL, Dankel SJ, Counts BR, Abe T, Loenneke JP. The influence of cuff width, sex, and race on arterial occlusion: implications for blood flow restriction research. *Sports Med*. 2016:1-9.
61. Libardi C, Chacon-Mikahil M, Cavaglieri C, Tricoli V, Roschel H, Vechin F, et al. Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *Int J Sports Med*. 2015;36(5):395-9.
62. Staunton CA, May AK, Brandner CR, Warmington SA. Haemodynamics of aerobic and resistance blood flow restriction exercise in young and older adults. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(11):2293-302.
63. Fukuda T, Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Morita T, Sato Y, et al. Low-intensity kaatsu resistance exercises using an elastic band enhance muscle activation in patients with cardiovascular diseases. *Int J KAATSU Training Res*. 2013;9(1):1-5.

64. Satoh I. Kaatsu training: application to metabolic syndrome. *Int J KAATSU Training Res.* 2011;7(1):7-12.
65. Hernández Triana M. Envejecimiento. *Revista Cubana de Salud Pública.* 2014;40:361-78.
66. Landinez Parra NS, Contreras Valencia K, Castro Villamil Á. Proceso de envejecimiento, ejercicio y fisioterapia. *Revista Cubana de Salud Pública.* 2012;38:562-80.
67. Luebbers PE, Fry AC, Kriley LM, Butler MS. The Effects of a Seven-week Practical Blood Flow Restriction Program on Well-trained Collegiate Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2014.
68. Vechin FC, Libardi CA, Conceicao MS, Damas FR, Lixandrao ME, Berton RP, et al. Comparisons between low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training on quadriceps muscle mass and strength in elderly. *J Strength Cond Res.* 2015;29(4):1071-6.
69. Clarkson MJ, Conway L, Warmington SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2017.
70. Takano H, Morita T, Iida H, Asada K-i, Kato M, Uno K, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *European Journal of Applied Physiology.* 2005;95(1):65-73.
71. Neto GR, Novaes JS, Dias I, Brown A, Vianna J, Cirilo-Sousa MS. Effects of resistance training with blood flow restriction on haemodynamics: a systematic review. *Clinical Physiology and Functional Imaging.* 2016:n/a-n/a.
72. Evans C, Vance S, Brown M. Short-term resistance training with blood flow restriction enhances microvascular filtration capacity of human calf muscles. *J Sports Sci.* 2010;28(9):999-1007.
73. Loenneke J, Wilson J, Wilson G, Pujol T, Bembem M. Potential safety issues with blood flow restriction training. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(4):510-8.
74. Clark B, Manini T, Hoffman R, Williams P, Guiler M, Knutson M, et al. Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(5):653-62.
75. Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Nakajima T. Effects of detraining after blood flow-restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older women. *SpringerPlus.* 2015;4:348.
76. Yasuda T, Fukumura K, Tomaru T, Nakajima T. Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women. *Oncotarget.* 2016;7(23):33595-607.
77. Madarame H, Kurano M, Fukumura K, Fukuda T, Nakajima T. Haemostatic and inflammatory responses to blood flow-restricted exercise in patients with ischaemic heart disease: a pilot study. *Clinical physiology and functional imaging.* 2013;33(1):11-7.
78. Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol.* 2000;88(1):61-5.

79. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Loenneke JP, Naimo MA. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage. *JSCR*. 2013;27(11):3068-75.
80. Neto GR, Novaes JS, Salerno VP, Goncalves MM, Batista GR, Cirilo-Sousa MS. Does a resistance exercise session with continuous or intermittent blood flow restriction promote muscle damage and increase oxidative stress? *J Sports Sci*. 2017:1-7.
81. Nielsen JL, Aagaard P, Prokhorova TA, Nygaard T, Bech RD, Suetta C, et al. Blood-flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat-shock proteins, but no apparent muscle damage. *The Journal of Physiology*. 2017.
82. Goldfarb AH, Garten R, Chee P, Cho C, Reeves G, Hollander D, et al. Resistance exercise effects on blood glutathione status and plasma protein carbonyls: influence of partial vascular occlusion. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104(5):813-9.
83. Yasuda T, Fukumura K, Iida H, Nakajima T. Effect of low-load resistance exercise with and without blood flow restriction to volitional fatigue on muscle swelling. *European journal of applied physiology*. 2015;115(5):919-26.
84. Brandner CJ. Vascular Occlusion Strength Training: An Alternative to High Resistance Strength Training. *Aust Strength Cond*. 2012;20((2)):87-96.
85. Loenneke JP, Wilson JM, Marín PJ, Zourdos MC, Bemben MG. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(5):1849-59.

PRESENTACIONES EN CONGRESOS DERIVADAS DE LA TESIS DOCTORAL

- “Desarrollo de la fuerza y daño muscular en dos modalidades de entrenamiento orientados a la hipertrofia muscular”. World Conference on Kineanthropometry (ISAK Congress), Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile. Carlos Bahamondes-Avila, Jenny Lagos-Gutiérrez, Luis Bustos-Medina, Luis Salazar-Navarrete, Francisco Berral-de la Rosa.



- “Respuesta inmediata en intensidad fisiológica e inflamación en diferentes modalidades de ejercicios de fuerza”. I Congreso en Ciencias del Movimiento y Ejercicio, organizado por la Universidad Autónoma de Chile, Temuco, 2017. Carlos Bahamondes-Avila, Jenny Lagos-Gutiérrez, Luis Bustos-Medina, Luis Salazar-Navarrete, Francisco Berral-de la Rosa.



Se otorga el presente certificado a

**Carlos Bahamondes-Avila, Jenny
Lagos-Gutiérrez, Luis Bustos-
Medina, Luis Salazar-Navarrete y
Francisco Berral.**

Por su presentación de Trabajo de Investigación Seleccionado "Primer Lugar área de Fisiología del Ejercicio" **Intensidad fisiológica e inflamación inmediata en diferentes tipos de entrenamiento de fuerza**, I Congreso en Ciencias del Movimiento y Ejercicio organizado por la Universidad Autónoma de Chile, Sede Temuco, los días 12 al 14 de Octubre del año

Dr. Iván Suazo Galdames Ph.D
Vicerrector de Investigación y Postgrado
Universidad Autónoma de Chile

- “Modificaciones fisiológicas y posturográficas en ejercicios con restricción parcial del flujo sanguíneo sobre superficies estables e inestables”. 5º congreso nacional y 3º internacional de educación física, deporte y actividad física, I-U CESMAG-FIEP; San Juan de Pasto, Colombia, 2017. Carlos Bahamondes-Avila y Claudio Hernández-Mosqueira.



- “Efectos del entrenamiento con restricción sanguínea parcial en la modificación de la fuerza explosiva en extremidades inferiores”. 60º Congreso Chileno de Medicina del Deporte – Sociedad Chilena de Medicina del Deporte, Santiago, 2015. Bahamondes-Avila C., Lagos J., Salazar, LA, Huard, N., Bustos, L, Berral de la Rosa, FJ; Álvarez-Castillo JL.

60o. CONGRESO SOCHMEDEP
5 al 7 de agosto de 2015
CENTRO CULTURAL CARABINEROS DE CHILE



CERTIFICADO

Se otorga a
Carlos Bahamondes Avila, Autor

Por la recepción y aceptación en modalidad Podium de su trabajo “ EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CON RESTRICCIÓN SANGUINEA PARCIAL EN LA MODIFICACION DE LA FUERZA EXPLOSIVA EN EXTREMIDADES INFERIORES ” en el 60º Congreso Medicina del Deporte SOCHMEDEP”

SANTIAGO, 7 DE AGOSTO DE 2015

Claudia Pérez Lindemann
Presidenta 60o. Congreso Sochmedep

Marcelo Sajuria Garcés
Presidente Sochmedep