

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE ENFERMERÍA
CARRERA DE TERAPIA FÍSICA**

**DISERTACIÓN DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
TERAPIA FÍSICA**

**EFFECTOS DE LA CRIOTERAPIA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FUERZA Y VOLUMEN
DE LOS MÚSCULOS FLEXORES IMPLICADOS EN CURL DE BÍCEPS**

**ELABORADO POR:
ALEXIS PAUL GUERRA SANTANDER**

QUITO, 2 AGOSTO 2020

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue analizar los efectos de la crioterapia sobre la producción de resistencia, volumen y fuerza muscular isométrica de los músculos implicados en el curl de bíceps bilateral donde actúan todos los músculos flexores de codo, en personas que realizan musculación en dos gimnasios de la ciudad de Quito. Se realizó un ensayo analítico experimental. La población fue de 28 personas, divididas en dos grupos por igual, al primer grupo se le aplicó hielo directamente al músculo bíceps y el otro grupo no recibió ninguna intervención.

Se midió la fuerza muscular isométrica con un dinamómetro digital, la resistencia muscular en un ejercicio de dominadas en supino y el volumen muscular con una cinta antropométrica.

Tras la aplicación del hielo se constató que la fuerza muscular isométrica aumenta, el volumen y la resistencia muscular no se ven afectados. Esto posiblemente se debe a los cambios fisiológicos del sistema musculoesquelético como la disminución de información sensorial, el descenso intraarticular de la temperatura y la rigidez articular que entorpecen la resistencia y la hipertrofia muscular.

Palabras claves: hielo, dinamómetro, rendimiento muscular isométrica

ABSTRACT

The main objective of this research was to analyze the effects of cryotherapy on the production of resistance, volume and isometric muscle strength of the muscles involved in the bilateral biceps curl where all the arm flexor muscles act, in people who perform bodybuilding in two gyms in the city of Quito. An experimental analytical test was carried out. The population consisted of 28 people, divided equally into two groups, the first group had ice applied directly to the biceps muscle and the other group received no intervention.

Isometric muscle strength was measured with a digital dynamometer, muscle endurance in a supine chin-up exercise, and muscle volume with an anthropometric tape.

After the application of ice, it was found that isometric muscle strength increases, volume and muscle resistance are not affected. This is possibly due to physiological changes in the musculoskeletal system such as decreased sensory information, intra-articular drop in temperature, and joint stiffness that interfere with endurance and muscle hypertrophy.

Keywords: ice, dynamometer, isometric muscle performance

Tabla de contenido

Introducción	7
Capítulo I: ASPECTOS BÁSICOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.1. Planteamiento del Problema	9
1.2. Justificación	10
1.3. Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
1.4. Metodología	12
Capítulo II: MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS	19
2.1. Crioterapia	19
Definición	19
Bases Fisiológicas	19
Efectos sobre la piel y el tejido subcutáneo	20
Efectos sobre la circulación sanguínea y linfática	20
Efecto sobre el tejido neuromuscular	21
Efectos sobre las articulaciones	21
Efectos sobre la termorrecepción y la transmisión nerviosa: la sensibilidad al frío y la analgesia	22
Métodos de aplicación	23
Indicaciones y contraindicaciones	24
2.2. Fuerza Muscular	25
Mecanismo de la contracción muscular	25
Formas de contracción muscular	25
Factores biomecánicos de la fuerza	26
Estructura músculo esquelética	28
<i>Adaptación Anatómica</i>	30
<i>Hipertrofia</i>	30
<i>Fuerza Máxima</i>	31
<i>Conversión en fuerza específica</i>	31
Musculatura flexora	31
2.4. Hipótesis	33
Operacionalización de Variables	34
Capítulo III: Resultados Y Discusión	37
3.1. Resultados	37
3.2. Discusión	39
3.3. Limitaciones del estudio	42

3.4 Aplicación Práctica	42
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Referencias Bibliográficas	44
ANEXOS	48
Consentimiento Informado	48
Tabla 1: datos de los grupo experimental antes y después de la aplicación de la crioterapia.	50
Tabla 2: datos del grupo control sin aplicación de crioterapia	51
Cronograma para la investigación y plan de trabajo	52
Cronograma de Actividades- REVEER	52

Índice de figuras

Ilustración 1: Aplicación de hielo sobre la zona del bíceps	14
Ilustración 2: Sujeto en posición inicial de curl para bíceps isométrico, dinamómetro en cerrado	15
Ilustración 3: Aplicación de dinamómetro, sujeto realiza isométrico de bíceps	16
Ilustración 4: Posición final del sujeto y apunte de medida	16
Gráfico 1 : Comparación de la Fuerza Muscular Isométrica del Brazo Derecho con	35
Gráfico 2: Comparación de la Fuerza Muscular Isométrica del Brazo Izquierdo con Aplicación de Hielo y sin Hielo	35
Gráfico 3: Comparación del Perímetro Muscular y el Bíceps con Aplicación de Hielo y sin Hielo	36
Gráfico 4: Comparación de la Resistencia Muscular con Aplicación de Hielo y sin Hielo	37

Introducción

La presente investigación versa sobre la crioterapia y los efectos que produce sobre la fuerza muscular, volumen y resistencia de los músculos flexores de brazo. Este trabajo se realizó con el fin de verificar si el hielo como agente físico produce un cambio en la medición de la fuerza muscular isométrica, volumen y resistencia muscular.

La población que fue tomada como muestra para el trabajo de campo fueron 28 deportistas entre hombres y mujeres que practican musculación en dos diferentes gimnasios de la ciudad de Quito, algunos fueron competidores de fisicoculturismo y otros novatos con un nivel de entrenamiento de 6 meses como mínimo, que no hayan presentado lesiones o algún tipo de dolor dentro de dicho tiempo.

La musculación es un deporte en el cual los deportistas realizan levantamiento de peso en forma de barras y mancuernas, para tonificar y en algunos casos hipertrofiar su cuerpo, muchos de estos deportistas presentan varios somatotipos.

En este sentido, el rol que presenta el fisioterapeuta, al tener conocimiento sobre los efectos que posee la crioterapia como agente físico sobre el sistema músculo esquelético es primordial ayuda para deportistas en su rendimiento deportivo.

De tal manera, el tema de esta investigación posee relevancia, ya que, la aplicación de la crioterapia como agente físico en el ámbito de la musculación, no se ha documentado cuales son las ventajas y/o desventajas que le ofrece a los deportistas. Este proyecto propone la utilización de crioterapia en forma de cubos de hielo, aplicados en forma de masajes circulares, para evaluar y cuantificar los efectos fisiológicos que suceden en los músculos que realizan el ejercicio de curl de bíceps, precisamente en los músculos flexores de codo.

En esta investigación, el primer capítulo hablamos sobre la problemática por la cual se realizó el estudio, se define el objetivo específico y los objetivos generales y la metodología con la cual se realizó la investigación.

En el segundo capítulo, el marco teórico, se abordan todos los temas referentes a la fuerza muscular, la crioterapia y de acuerdo con la literatura argumentada se planteó la hipótesis la cuál es, el uso de crioterapia local en el bíceps braquial provoca aumento sobre la fuerza muscular isométrica y la resistencia muscular.

Para concluir, el tercer capítulo, aquí presentamos los resultados y la interpretación de los datos obtenidos tras la aplicación de la crioterapia, la medición de fuerza isométrica registro de volumen y resistencia muscular, la discusión donde se acepta la hipótesis planteada, conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones de este tipo de estudios.

Capítulo I: ASPECTOS BÁSICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La crioterapia es la más común de las intervenciones en los entornos tanto clínicos como deportivos. Esta es aplicada especialmente en el tratamiento de lesiones agudas, en forma de un paquete de hielo triturado, a través de un masaje con hielo, por inmersión en agua fría entre otras. Generalmente, el efecto buscado es inducir una mejor vasoconstricción (Douglas, Bivens y Pesterfield, 2013).

La disminución de la temperatura en los tejidos tiene efectos terapéuticos como el control del espasmo muscular, la reducción del dolor y el metabolismo. En consecuencia, la crioterapia podría tener un efecto sobre la aceleración de la recuperación de una lesión tisular (Tanaka, Ikezo, Umehara, Nakamura y Umegaki, 2016).

En investigaciones precedentes se ha encontrado que la crioterapia puede poner en peligro los receptores sensoriales y el nervio motor, así como las fibras musculares extrafusales provocando reducción de la capacidad de generación de fuerza. Esta reducción está relacionada con la disminución en la actividad de la miosina ATPasa (Comeau, Potteiger y Brown, 2003).

La temperatura corporal baja, incluso si es local, reduce la facultad de transmisión del estímulo eléctrico en la membrana del nervio, por lo que alarga el periodo refractario en el caso de un estímulo. Como consecuencia, la duración de la potencia del nervio aumenta mientras que la transmisión del impulso disminuye (Giemza, Matczak-Giemza, De Nardi, Ostrowska, y Czech, 2015).

De hecho, se encontraron reducciones del 33% y 17% en la velocidad de conducción del nervio cuando la temperatura de la piel se reduce a 10 °C y 15 °C, respectivamente. Así, la disminución de la velocidad de conducción del nervio es de 0.4m/s por cada 1 °C de caída de la temperatura de la piel. Además de la disminución de la conducción nerviosa y el deterioro de las fibras musculares extrafusales, es probable que el funcionamiento de los órganos tendinosos de Golgi se vean también afectados por la aplicación de la crioterapia (Richer, Marchand y Descarreaux, 2017). De igual manera, la propiocepción también podría ser afectada por la crioterapia, en investigaciones disponibles sobre el potencial de la crioterapia, la potencia muscular sigue siendo limitada, en particular la propiocepción relacionada con el sentido de la fuerza (Suchomel, Nimphius y Stone, 2016).

Adicionalmente a las modificaciones fisiológicas antes mencionadas, parece que la fuerza isométrica igualmente disminuye. Se afirma que en el tendón del músculo donde se

coloca la crioterapia se genera una retroalimentación aferente que produce una disfunción en los receptores musculares haciendo que disminuya la capacidad para generar fuerza. Incluso parece ser que la aplicación de la crioterapia interfiere en la capacidad del individuo para discriminar peso (Lee, De Lira, Nouailhetas, Vancini y Andrade, 2018). Sin embargo, en función de la medición de la fuerza inmediatamente después de la aplicación del hielo se pudo evidenciar que la fuerza muscular isométrica experimentó un aumento de la medida registrada antes de la aplicación del hielo.

Dentro del área de musculación, la fuerza es una de las magnitudes más buscadas a mejorar por los deportistas. Las técnicas o planes de entrenamiento no son lo suficientemente efectivos por lo que constantemente se van experimentando nuevas formas de obtener aumentos en la masa muscular, fuerza y resistencia tal es el caso de la supresión del flujo sanguíneos.

Según estudios se ha demostrado que la fuerza muscular isométrica puede verse alterada directamente después de la aplicación de masaje con hielo durante 5 minutos más o menos, para explicar esta respuesta al frío son la facilitación de la excitabilidad de los nervios motores, reducción del flujo de sangre a los músculos, una conducción más lenta de los nervios motores, aumento de la viscosidad muscular y el aumento de la rigidez de las articulaciones o de partes blandas (Cameron, 2014. p. 131). Este aumento del registro de la fuerza va asociado a una alteración en la discriminación del sentido de fatiga y el efecto analgésico principalmente, más no debe considerarse como un aumento real de la fuerza, este efecto en rehabilitación es bueno porque permite al fisioterapeuta poder reclutar más fibras motoras y mejorar el movimiento.

1.2. Justificación

El objetivo de este estudio es demostrar los efectos de la crioterapia sobre los músculos flexores del codo en deportistas que realizan musculación en dos gimnasios de la ciudad de Quito.

Por experiencias personales cuando una persona se adapta a un deporte, en este caso a cierto peso, es complicado que el deportista mejore su rendimiento, existen formas de trabajo muscular que proveen esa adaptación muscular y se pueda mejorar el rendimiento progresivamente, con esto no se quiere decir que no existan mejorías, si las hay pero, el tiempo en el cual se presentan es muy largo por lo cual varios deportistas se ven en la necesidad de recurrir a métodos que no son naturales e incluso abandonan sus entrenamientos.

Se ha demostrado que la fuerza muscular isométrica produce menos fatiga beneficiando a las actividades deportivas como correr, saltar, montar bicicleta es decir se

puede aplicar a todos los deportes (Kitai y otros, 1989). La fuerza isométrica puede incluirse en el régimen de entrenamiento de los atletas para evitar la fatiga excesiva al mismo tiempo que adquieren adaptaciones neuromusculares positivas, como una mejora de la fuerza en una posición articular biomecánicamente desfavorecida o en un movimiento específico (Suchome y otros, 2016).

Para aumentar la hipertrofia muscular el ejercicio isométrico se debe realizar entre el 70 y 75% de la contracción voluntaria máxima, con una contracción sostenida de 3 a 30 s por repetición durante 36 sesiones (Tanaka y otros, 2016). La realización del ejercicio isométrico de manera balística puede maximizar la mejora del ritmo de desarrollo de la fuerza (Lee y otros, 2018).

Se ha evidenciado que la crioterapia produce cambios fisiológicos los cuales son aplicados tanto en el área deportiva como en fisioterapia. Existen varios estudios realizados donde se demuestran los beneficios y daños que se producen al aplicar crioterapia los cuales hablaremos más adelante.

Obtenidos los datos del estudio y confirmar la hipótesis de aumento de la fuerza muscular isométrica que se planteó, del aumento de la fuerza muscular isométrica tras la aplicación de la crioterapia como agente físico, se demostró que se genera un ligero cambio en el registro de la fuerza muscular en el dinamómetro.

1.3. Objetivos

Objetivo General

- Analizar los efectos de la crioterapia sobre la producción de resistencia, volumen y fuerza muscular isométrica de los todos los músculos flexores implicados en el curl de bíceps de ambos brazos

Objetivos Específicos

- Cuantificar la fuerza muscular isométrica de los músculos flexores de antebrazo antes y después del tratamiento aplicando un dinamómetro isométrico
- Medir el volumen del brazo antes del ejercicio isométrico con una cinta antropométrica
- Evaluar la resistencia muscular antes y después de la aplicación de la crioterapia a través del ejercicio dominadas supinadas para los flexores de antebrazo en la barra paralela.

1.4. Metodología

Tipo de Estudio

El presente estudio es un ensayo analítico experimental, donde se tomarán medidas

a los mismos sujetos antes y después de la aplicación de la crioterapia. El enfoque de la investigación es longitudinal porque se toma más de una medida en el tiempo, prospectivo toma medida en el futuro y cuantitativo que da un valor para su interpretación.

Población

La población consiste en hombres y mujeres que realicen ejercicios de musculación por un periodo mínimo de 6 meses de entrenamiento regular en los gimnasios Monkey Gym y Gimnasio de la Concentración Deportiva de Pichincha, ubicados al norte de la ciudad de Quito

En total la población consistió en 28 sujetos hombres y mujeres, divididos aleatoriamente en 2 grupos 14 personas en cada uno. El primer grupo será el experimental, al cual se le aplicó el masaje con hielo seguido de un curl de bíceps (músculos flexores de codo) en supinación isométrico, el segundo grupo será el grupo de control al cual no se le aplicó hielo y solamente realizará curl de bíceps en supinación isométrico.

Ética

Dado que esta tesis será un trabajo experimental cabe recalcar que no se incumplirá con el código de bioética expuesto por el Comité de Ética de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, adicional se realizará a entrega de consentimientos informados a todos los participantes el cual se encuentra detallado en el anexo.

Inclusión:

- Hombres y mujeres que lleven entrenando más de 6 meses durante 4 días a la semana.
- Hombres y mujeres que firmaron el consentimiento informado.
- Hombres y mujeres que no hayan tenido lesiones motoras en la articulación del hombro, codo y muñeca en los últimos 6 meses.

Exclusión:

- Hombres y mujeres que no entrenen musculación o practiquen otro tipo de deportes.
- Hombres y mujeres con problemas de hipersensibilidad al frío prolongado
- Hombres y mujeres no puedan realizar más de 8 dominadas supinadas para bíceps en barra paralela

Técnicas e instrumentos

La información para este estudio se obtuvo a través de fuentes primarias como test de resistencia muscular y mediciones antropométricas, siendo los hombres y mujeres que practican musculación en el gimnasio a quienes se le aplicara la técnica de crioterapia en el bíceps braquial.

Técnicas

Para medir el volumen muscular del bíceps braquial que los participantes obtienen en ambos grupos se realizó la toma de medidas con una cinta antropométrica. Existe varios tipos de cintas antropométricas pero se debe elegir una cinta con espacios sin graduar antes del cero. La medida del volumen muscular se realizó con el brazo en contracción voluntaria máxima de los participantes, colocando el brazo en abducción, el antebrazo en supinación y acompañado de flexión de codo de 45 grados. Estas cintas son de media gran validez y fiabilidad entre Inter examinador.

Para realizar este estudio a los 28 participantes se los divide aleatoriamente en 2 grupos de 14 personas cada uno. Se realizaron dos tomas de medidas, la primera medida se tomó sin la aplicación del hielo con el curl de bíceps isométrico (músculos flexores de codo) y la segunda se la realizó con la aplicación del hielo y el curl de bíceps isométrico. En el grupo experimental la aplicación fue la siguiente, el sujeto se encuentra sentado sobre un banco, realiza una flexión de codo a 90 grados con el brazo en supinación o como se le conoce un curl de bíceps, la primera medida se la realiza en el brazo derecho e izquierdo individualmente y se coloca el dinamómetro. Después de un tiempo de 15 minutos se aplica la crioterapia y se realiza nuevamente el curl de bíceps y se procede a tomar la segunda medida con el dinamómetro

Ilustración 1. Aplicación de hielo sobre la zona del bíceps



Ilustración 2. Sujeto en posición inicial de curl para bíceps isométrico (músculos flexores de codo) , dinamómetro en serado



Ilustración 3. Aplicación de dinamómetro, sujeto realiza isométrico de bíceps.



Ilustración 4. Posición final del sujeto y apunte de medida

En el caso del grupo control, se procedió de la misma manera, el sujeto se encuentra sentado sobre un banco, realiza una flexión de codo a 90 grados con el

brazo en supinación o como se le conoce un curl de bíceps (músculos flexores de codo), la medición se la realiza en el brazo derecho e izquierdo individualmente y se coloca el dinamómetro. A este grupo no se le aplica el hielo y si toma una sola medida.

El curl de bíceps isométrico (músculos flexores de codo) consiste en realizar una flexión de codo hasta los 90 grados y mantener esa posición por lo menos 5 segundos seguidos. Para esto partimos desde la posición de extensión completa de codo sin anteponer el hombro y con la muñeca en posición supina. Seguido apoyamos el codo a nuestro torso sin realizar aducción y procedemos a realizar una flexión de codo hasta los 90 grados con muñeca en supinación, es recomendable controlar la respiración para mayor concentración ante el esfuerzo ejercido para mantener el brazo en dicha posición.

La aplicación de la crioterapia se realizará por parte del fisioterapeuta. La crioterapia se aplicó en forma de cubos de hielo directamente a la piel del participante y en forma de masaje circular por la zona del bíceps durante 5 minutos.

La posición del fisioterapeuta para la toma de medidas es la siguiente, lateral al brazo que se está evaluado. El fisioterapeuta toma con una mano el dinamómetro y lo coloca sobre la mano en supinación del participante, el fisioterapeuta va a pedirle al participante mediante comandos verbales que realice una contracción de flexores de antebrazo sin que el participante llegue a vencer la fuerza del fisioterapeuta ni el fisioterapeuta al participante, con el dinamómetro en serado se procede a tomar la medida, se realiza el proceso bilateral y se repite con la aplicación de la crioterapia para el grupo experimental y si la crioterapia para el grupo control.

Instrumentos

Fuerza

Para poder medir la fuerza muscular isométrica se utilizó un dinamómetro digital, en un estudio "Validity and reliability of a low-cost dynamometer to assess maximal isometric strength of upper limbse " evaluó la validez y confiabilidad de un dinamómetro digital de bajo costo con un dinamómetro digital considerado como de gama alta. La correlación entre ambos fue perfecta ($r > 0.913$). La confiabilidad entre el probador fue excelente para todos los movimientos ($ICC \geq 0.855$). El dinamómetro digital de bajo costo mostró una gran validez y una excelente confiabilidad al evaluar la fuerza isométrica máxima durante los movimientos principales del miembro superior. Los profesionales pueden usarlo para una evaluación de la fuerza muscular isométrica asequible en situaciones de campo (Romero, Fernández, Montaña, Romero y Jiménez, 2019).

Resistencia

Para evaluar la resistencia se realizó una prueba para bíceps braquial, el cual

consiste en el ejercicio dominadas en supino en barra paralela. En el cual se le pide al sujeto coloque las manos en supinación sobre la barra paralela y realice flexión de codo. Con esta prueba buscamos medir cuantas veces los sujetos pueden realizar el ejercicio en un minuto y así calcular un promedio como principal técnica para la recolección de datos se aplicará una medición con un dinamómetro manual el cual se lo aplica previamente en serado. Este instrumento está diseñado para medir la fuerza muscular isométrica en kilogramos a través de la presión que se realiza. Para la medición de fuerza se tomarán dos medidas a través del curl isométrico de bíceps previamente indicado a las participantes y se realiza una medida, seguido se aplica crioterapia local en el bíceps braquial a modo de masaje con hielo durante 5 minutos, seguido se pide que se realice nuevamente el curl de bíceps isométrico y se toma una segunda medida. Se realizará una segunda medición la siguiente semana con la aplicación de crioterapia y se realizará una prueba de bíceps para cuantificar el desempeño muscular. La prueba es el ejercicio dominadas en agarre supino sobre la barra paralela. Para obtener el promedio de repeticiones que realizan los participantes se tomaron los datos antes y después de la crioterapia de ser el caso, y se evaluó con el número máximo y mínimo de repeticiones a las que lleguen individualmente.

Análisis de la información

Una vez obtenida la información, se procedió a la interpretar y analizarlos datos, los mismos que serán tabulados en una hoja de Excel. La estadística por utilizar para la asociación de las variables cualitativas (volumen, fuerza y resistencia) es la prueba de Chi cuadrado. Se realizaron varias correlaciones entre los resultados de las mediciones. Para demostrar los hallazgos encontrados el nivel de significancia será de 5%. El análisis se lo realizara utilizado el programa estadístico denominado SPSS

Capítulo II: MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

2.1. Crioterapia

Definición

La crioterapia se usa desde la antigüedad como remedio para disminuir el dolor y controlar las hemorragias producidas por accidentes (Lois, 2018, pp. 175). En la actualidad la crioterapia es conocida como el conjunto de procedimientos fisioterapéuticos que se basan en la aplicación del frío sobre el organismo (Cameron, 2014, pp. 183). Es uno de los procedimientos más comunes y de bajo presupuesto utilizados regularmente para el manejo del dolor y la inflamación (Albornoz y Meroño, 2012, p. 68).

El manejo de la temperatura en la crioterapia oscila entre 15 y -160 grados centígrados. Ante estos cambios de temperatura el cuerpo humano, reacciona con el fin de preservar su temperatura interna. Como mecanismo principal de defensa del cuerpo tenemos la

termorregulación la cual afecta a todos los órganos y sistemas del cuerpo a través del sistema neuroendocrino. (Cameron, 2014, pp. 183).

Bases Fisiológicas

El uso de la crioterapia en deportistas sanos aumenta el umbral del dolor, la viscosidad del tejido, producción de endorfinas, testosterona, preparación para la actividad física (Furmanek et al., 2018, p. 41).

Los agentes físicos aplicados sobre el organismo producirán siempre dos tipos de efectos, el efecto primario que es derivado del proceso de intercambio de energía térmica, el que causa disminución de la temperatura de los tejidos. En el caso de la crioterapia que interactúa en la superficie corporal, produce un efecto primario que se basa en el intercambio de energía térmica lo cual causa una disminución de la temperatura de los tejidos. A su vez, el tipo de aplicación, la intensidad, duración y características de la región corporal producirán en el tejido manifestaciones y cambios fisiológicos de respuesta los que son responsables del efecto secundario o también llamado efecto terapéutico (Albornoz y Meroño, 2012, p. 69).

A continuación se profundiza sobre los principales mecanismos de acción de las aplicaciones de la crioterapia sobre los diferentes tejidos y las funciones involucradas en el proceso patológico

Efectos sobre la piel y el tejido subcutáneo

Durante la aplicación de la crioterapia la temperatura de la piel que se encuentra en contacto con el hielo tiende a bajar de manera inmediata y con gran rapidez, de tal forma que las aplicaciones de ultra crioterapia donde se usan temperaturas por debajo de 0 grados centígrados poseen sistemas de control, ya que la temperatura de la piel se encuentra entre 33 grados C y puede descender en pocos minutos hasta 2 grados C, temperatura en la cual puede existir efectos dañinos llegando a producir destrucción de tejidos, la temperatura del tejido subcutáneo reacciona de forma similar a la de la piel pero con menor intensidad (Cameron, 2014, pp. 184,185).

En estudios realizados por Enweneka y cols. Demostraron que, durante el tratamiento con crioterapia la temperatura en los tejidos superficiales era menor a la de los tejidos profundos, pero después de la aplicación la temperatura de los tejidos superficiales aumenta de forma acelerada hasta alcanzar temperaturas iniciales, mientras que la temperatura a 2 y 3 cm por debajo de la piel continúa en descenso y 40 minutos después de la aplicación de la crioterapia los tejidos más profundos están más fríos que los superficiales. La explicación a este fenómeno se encuentra en los intercambios de la hemodinámica de los tejidos superficiales y profundos. (Cameron, 2014, pp. 185).

Efectos sobre la circulación sanguínea y linfática

Como es de conocimiento, el hipotálamo es el centro regulador de la temperatura corporal y actúa directamente sobre el sistema nervioso vegetativo debido a la estimulación del sistema ortosimpático, la aplicación de la crioterapia produce una reacción vascular, al principio de la circulación periférica en la zona de aplicación; posteriormente, debido a las reacciones reflejas de vasoconstricción y vasodilatación, esta reacción se hará más generalizada (Cameron, 2014, pp. 185).

Como respuesta fisiológica de la circulación periférica ante la aplicación de la crioterapia se produce, en primer lugar, una reacción inicial de vasoconstricción de los vasos superficiales, arteriales y venosos. Dicha disminución que actúa en el calibre de los vasos produce que la permeabilidad vascular de la membrana disminuya lo que da por resultado la reducción de la salida de líquido hacia los espacios intersticiales e incremento de la viscosidad sanguínea (Cameron, 2014, pp. 185).

Como afirma Cameron (2014) este fenómeno fisiológico, unido a la disminución del metabolismo célula y el bloqueo de la liberación de los mediadores químicos los cuales estimulan los receptores nociceptivos y la exudación plasmática, inhiben la inflamación (pp. 185).

Después de esta respuesta inicial se produce como reacción secundaria vasodilatación refleja, que reactiva los mecanismos normales de microcirculación. La vasodilatación aparece como una reacción de defensa del organismo frente a la congelación de los tejidos (Cameron, 2014, pp. 186).

Efecto sobre el tejido neuromuscular

Entre los efectos más aceptados comúnmente está la reducción del espasmo muscular tras las aplicaciones del frío, pero aún no está definida la base científica que la fundamenta aunque existen varias teorías para explicar este efecto fisiológico:

1. Existe disminución de información sensorial, la cual se fundamenta en la disminución de la velocidad de conducción del impulso nervioso por los nervios motores; esto reduce la actividad motora, de forma que existe bloqueo de las fibras eferentes gamma, estáticas y dinámicas (Cameron, 2014, pp. 186).
2. Interrupción del ciclo dolor-espasmo-dolor. Ante un estímulo doloroso se produce una contracción o espasmo de defensa del músculo y el espasmo muscular provoca dolor. Este hecho se fundamenta en que el deterioro de la circulación local puede producir espasmo muscular que limita el retorno venoso de forma considerable, aumenta el dolor tras las dificultad de productos de desecho (Cameron, 2014, pp. 187)

3. Un mecanismo reflejo, fundamentado en los siguientes hechos:
 - a) Muchos de los nervios motores son demasiado profundos para que el frío pueda enfriarlos directamente lo bastante rápido como para explicar la precoz del efecto;
 - b) La actividad motora decrece enfriando simplemente la piel, aunque esté separada de las estructuras más profundas;
 - c) La actividad de los husos musculares motores disminuye a enfriarse;
 - d) La descarga de los husos musculares decrece con la estimulación simpática (Cameron, 2014, pp. 18)

Efectos sobre las articulaciones

La aplicación de crioterapia sobre las articulaciones provoca enfriamiento considerable de los tejidos intraarticulares. El descenso de la temperatura intraarticular tiene efecto positivo en lo que se trata el control del dolor y del derrame articular. Por otro lado se puede constatar que, mientras desciende la temperatura, la rigidez articular va en aumento, esto se debe principalmente al incremento de la viscosidad del líquido sinovial. También tenemos el aumento de la rigidez del tejido muscular y conectivo, es por este motivo que nuestras destrezas motoras finas y habilidades se ven afectadas cuando desciende la temperatura corporal (Cameron, 2014, pp. 188).

Efectos sobre la termorrecepción y la transmisión nerviosa: la sensibilidad al frío y la analgesia

Las terminaciones nerviosas sensitivas libres que se encuentran en la piel recogen estímulos de frío a través de los termorreceptores. Las variantes de temperatura que puede captar el ser humano varían y pueden ser identificadas por tres tipos de receptores: los receptores de frío, de calor y los receptores de dolor. Los termorreceptores se encuentran ubicados inmediatamente por debajo de la piel y distribuidos por debajo de la piel heterogéneamente, existen entre 3 a 10 veces más receptores de frío que de calor, es la razón por la cual las sensaciones de frío son de mayor intensidad que las de calor. Los receptores de temperatura están sometidos a mecanismos de adaptación es por esto por lo que la sensación varía en el tiempo de aplicación (Cameron, 2014, pp. 189).

Fases de adaptación:

1. Sensación de frío intenso: aparece de forma brusca y aumenta progresivamente (Cameron, 2014, pp. 189).
2. Sensación de quemazón: la percepción del frío cambia hasta convertirse en una sensación dolorosa que se percibe en forma de quemazón o ardor. Esta sensación de quemazón no se debe confundir con sensación de calor producido por la aplicación de frío (Cameron, 2014, pp. 189).

3. Dolor: los receptores nociceptivos se estimulan ante grados extremos de temperatura, por lo que durante una fase de la aplicación en la que el frío es muy intenso el estímulo es captado por los nociceptores y deja de transmitirse por las vías de conducción nerviosa de las sensaciones térmicas, A β , y se transmite por las vías de transmisión del dolor, A δ y C, hasta llegar al sistema nervioso central, más exactamente a la corteza cerebral, donde se hace consciente en forma de sensación dolorosa (Cameron, 2014, pp. 189).
4. Adormecimiento: gracias a la capacidad de adaptabilidad de los termorreceptores y nociceptores, una vez superado el umbral de estimulación dolorosa se entra en una fase en la que llegan a percibirse sensaciones de tipo parestésico, como adormecimiento de la zona y hormigueos. Este adormecimiento se experimenta sobre todo en las aplicaciones locales (Cameron, 2014, pp. 189).
5. Anestesia: si la aplicación de la crioterapia continua, la sensación de dolor desaparece y da paso a la anestesia de la zona o a una sensación de hipoestesia, en la que la sensibilidad al tacto, a la presión, a la temperatura, es decir, a todo tipo de estímulos exteroceptivos, está disminuida o desaparece (Cameron, 2014, pp. 189).

Métodos de aplicación

Dentro del área de fisioterapia disponemos de varios procedimientos y técnicas de aplicación que ayudan en la disminución de la temperatura de los tejidos corporales superficiales (Albornoz y Meroño, 2012, p. 69). A continuación se expondrán los diferentes métodos de aplicación de la crioterapia.

Paquetes de hielo

Es uno de los más habituales de la crioterapia y consiste en la aplicación local de paquetes de hielo triturado sobre la zona lesionada. La aplicación de hielo triturado es mejor ya que nos permite acoplar el paquete de hielo a la zona lesionada. En diferentes casos es necesario utilizar una toalla para envolver el hielo, esto para evitar que el contacto directo con la piel pueda lesionar los tejidos (Cameron, 2014, pp. 195).

Para colocar el paquete de hielo sobre la zona debe existir cierta compresión, por lo que resulta de utilidad aplicar un vendaje compresivo con material elástico. La zona lesionada debe colocarse en posición de elevación, en especial si se trata de partes distales de las extremidades lo que facilita el retorno venoso e impide la estasis circulatoria (Cameron, 2014, pp. 195).

De ser el caso donde exista una articulación lesionada será necesaria una correcta

estabilización para exista una adecuada recuperación. El sujeto debe guardar reposo lo cual depende de la gravedad de la lesión o alteración sufrida (Cameron, 2014, pp. 195).

Paquetes de frío o cold-pack

Existen diferentes tipos, según el material utilizado para conseguir el frío intenso. Los que se usan habitualmente emplean un gel de sílice que tiene la propiedad de almacenar y retener el frío. Se los deja en un congelador durante 24 horas antes de su aplicación. Estos paquetes tienen cierta cantidad de anticongelante lo que evita que se endurezcan, manteniendo su flexibilidad (Cameron, 2014, pp. 196).

Masaje con hielo local o general

Este tipo de aplicación se basa en combinar el hielo con un masaje o fricción de manera que se pueda obtener el beneficio terapéutico de ambas modalidades de tratamiento. La forma que más se usa consiste en realizar fricción directamente en la zona afectada o a tratar con un cubo de hielo, realizando pequeños movimientos constantes con ligera presión (Cameron, 2014, pp. 196).

Inmersión en agua con hielo

Esta forma de aplicación se usa en el tratamiento de partes distales de las extremidades, las cuales se introducirán en cubetas que contengan agua con hielo. La temperatura con la cual se aplica va de 1-4 grados C. mientras más baja la temperatura se consigue un efecto analgésico mayor en un periodo de tiempo corto (Cameron, 2014, pp. 197).

Indicaciones y contraindicaciones

Indicaciones

Las respuestas que presente el organismo tras la aplicación de un estímulo frío tiende a favorecer la recuperación de procesos y alteraciones de los tejidos que lo conforman. El frío servirá de ayuda como método complementario al resto de los tratamientos que se utilicen. El fisioterapeuta a más de conocer una lista de patologías en las que está indicado el frío debe conocer los objetivos terapéuticos necesarios para resolver los requerimientos del paciente (Cameron, 2014, pp. 193).

Contraindicaciones

Es necesario tener en cuenta las alteraciones y tipo de lesiones que presentan alguna contraindicación a la aplicación de frío en el organismo.

- Hipersensibilidad al frío. El paciente, tras la aplicación, puede llegar a presentar alteraciones como urticaria, dolor e incluso náuseas.
- Crioglobulinemia, livedo reticularis.
- Síndrome de Raynaud.

- Problemas cardíacos.
- Trastornos circulatorios periféricos (Cameron, 2014, pp. 194).

Hay que prestar atención a las reacciones que presenten inmediatamente después de la aplicación del frío, si se observa alguna reacción adversa se debe retirar inmediatamente el frío y buscar otra alternativa de tratamiento (Cameron, 2014, pp. 194).

2.2. Fuerza Muscular

Mecanismo de la contracción muscular

La contracción muscular se produce por dos tipos de proteínas contráctiles, actina y miosina, en una serie de acción mecánica denominada la teoría de la contracción de los filamentos deslizantes. La teoría dice que cada filamento de miosina está rodeado por seis filamentos de actina. Los filamentos de miosina contienen los puentes cruzados, los cuales son minúsculas extensiones de que llegan hasta los filamentos de actina (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 19)

Cuando un impulso que proviene del nervio motor alcanza a una célula muscular estimula la fibra por completo, lo que produce cambios químicos que permiten a los filamentos de actina unirse con los puentes cruzados de miosina. De la unión de estas dos proteínas a través de los puentes cruzados existe liberación de energía que hace que estos giren, tiren o deslicen el filamento de miosina sobre el filamento de actina. Este proceso que realizan hace que el músculo se acorte (contracción) produciendo cierta tensión. Una vez que acaba este estímulo los filamentos de actina y miosina respectivamente se separan, lo que provoca que el músculo se alargue hasta su longitud de reposo y dando por terminado la contracción (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 19, 20)

Formas de contracción muscular

La contracción muscular se divide en contracción dinámica (movimiento) y contracción estática (sujeción). La contracción dinámica se subdivide en formas de contracción concéntricas, excéntricas e isométricas (Boeckh y Buskies, 2005, p. 22).

La contracción concéntrica que proviene del latín *cum* y *centrun* que significa tener un centro en común, se refiere a el tipo de contracciones en las cuales la longitud del músculo se acorta y también se describe también como positiva, es decir el movimiento se desarrolla en función del músculo, ya que la fuerza que proporciona el músculo es mayor que el obstáculo al cual se enfrenta (Boeckh y Buskies, 2005, p. 22; Bompa y Cornacchia, 2015, p. 25).

La contracción excéntrica se describe también como negativa, es decir que la fuerza proviene del exterior es mayor que la fuerza que produce la contracción del músculo (Boeckh y Buskies, 2005, p. 22). Durante el proceso de una contracción excéntrica los

músculos dependiendo del ejercicio o posición en la que se encuentran soportan la fuerza de la gravedad, regido bajo esta condición el músculo tiende a alargarse a medida que el rango articular aumenta, de tal manera que se ejerce una tensión controlada (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 25).

Isometría que proviene del griego *isos*, que significa *igual*, y *metron*, que significa *medida*, significa que durante la contracción ejercida por el músculo este desarrolla tensión sin modificar su longitud. La tensión que se desarrolla en esta contracción es mayor a la que se desarrolla durante una contracción isotónica (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 25).

Factores biomecánicos de la fuerza

Control neural

Influye directamente en la producción de la fuerza de un músculo tras determinar cuáles y cuantas unidades motoras actúan en la contracción muscular y la velocidad a la cual se activan las unidades motoras. Por lo general la fuerza muscular es mayor cuando:

- a) Intervienen más unidades motoras al realizar una contracción.
- b) Las unidades motoras son de mayor tamaño.
- c) La velocidad de activación es más rápida.

La mayor parte de la fuerza que se gana en las primeras semanas de entrenamiento resistido se atribuye a las adaptaciones neuromusculares mientras el cerebro aprende como generar más fuerza con el mismo tejido contráctil (Gregory y Travis, 2017, p. 86).

Área transversal del músculo

La fuerza que ejerce un músculo está relacionada directamente con el área transversal que con su propio volumen. Por ejemplo, se pone a dos deportistas con el mismo porcentaje de grasa corporal pero diferente altura presentan el músculo bíceps con la misma circunferencia, el área transversal del músculo es prácticamente la misma para los dos (Gregory y Travis, 2017, p. 86).

Configuración de las fibras musculares

Se ha demostrado que en una contracción máxima de los músculos estos pueden producir entre 23 a 245 psi (16-100 N/cm²) de área transversal muscular. Esto se puede dar debido a la alineación y configuración que presentan los sarcómeros con relación al eje largo de los músculos. (Gregory y Travis, 2017, p. 86).

El cuerpo humano posee gran cantidad de músculos peniformes, este tipo de músculos presentan fibras alineadas oblicuamente con relación al tendón, el ángulo de distribución peniforme está definido como un ángulo formado por sus fibras musculares con

una línea imaginaria que cruza desde su origen e inserción, por lo que 0 grados representa la ausencia de distribución peniforme. El grado de distribución peniforme influye directamente en la capacidad que poseen los músculos para generar fuerza excéntrica, concentra e isométrica a baja velocidad (Gregory y Travis, 2017, p. 86).

Longitud del músculo

Cuando un músculo se encuentra en estado de reposo, los filamentos de miosina y actina se encuentran juntos uno del otro, de tal manera que existe un número limitado de puntos potenciales que pueden generar puentes cruzados. Lo que significa que un músculo es capaz de generar su fuerza máxima en su estado de reposo. Si un músculo llega a contraerse por debajo de su estado de reposo los filamentos de actina se solapan y también se reduce el número de puntos que se puede tener para generar puentes cruzados, por lo tanto la capacidad para generar fuerza es reducida (Gregory y Travis, 2017, p. 87).

Velocidad de contracción muscular

La capacidad que posee un músculo para generar fuerza se ve afectada a medida que este aumenta la velocidad de contracción. Es decir no existe una relación lineal entre fuerza y velocidad, por ejemplo en un deportista de salto vertical, los brazos se impulsan hacia arriba y estos ejercen una fuerza descendente sobre el cuerpo a través de los hombros la cual ralentiza el movimiento ascendente que tiene el cuerpo y fuerza a los músculos extensores de cadera y rodilla a realizar una contracción más lenta, que este modo se genera fuerzas más elevadas durante más tiempo (Gregory y Travis, 2017, p. 88).

Velocidad angular articular

Existen tres tipos de acciones musculares:

- Acciones musculares concéntricas; el músculo se acorta porque la fuerza muscular contráctil que posee es mayor que la fuerza de resistencia. La fuerza que se genera en el músculo y actúan acortándolo son mucho mayores que las fuerzas externas que actúan en los tendones para estirarlo (Gregory y Travis, 2017, p. 90).
- Acciones musculares excéntricas; la elongación del músculo ocurre porque la fuerza contráctil que genera es menor que la fuerza de resistencia. Las fuerzas producidas en el músculo y que actúan acortándolo son menores que las fuerzas externas generadas en sus tendones para estirarlo. Este proceso ocurre durante la fase de descenso de cualquier tipo de ejercicio resistido (Gregory y Travis, 2017, p. 90).
- Acciones musculares isométricas; la longitud que posee el músculo no cambia, porque su fuerza contráctil es de igual magnitud que la fuerza de resistencia. Es decir, las fuerzas que genera un músculo y que actúan de forma en que lo acortan son iguales a las fuerzas que generan sus tendones para estirarlo (Gregory y

Travis, 2017, p. 90).

Relación entre masa corporal y fuerza muscular

La relación que ejerce la masa corporal y la fuerza muscular se refleja directamente con la capacidad que posee un atleta para acelerar su cuerpo. Por ejemplo, si un deportista incrementa su masa corporal en un 15% por medio del entrenamiento, pero solo aumenta su fuerza en un 10% se ve claramente reducida la relación entre fuerza muscular y masa corporal, y por lo cual la aceleración del deportista al no compensar ese 5 % de fuerza para mover de forma óptima la masa muscular ganada. (Gregory y Travis, 2017, p. 90, 91).

Estructura músculo esquelética

Histología de una fibra muscular

Los componentes principales dentro de un músculo son sus fibras musculares, el diámetro de una fibra muscular madura varía entre 10 a 100 μm (micro metros). Una fibra muscular madura puede tener una longitud de unos 10 cm (4 pulgadas), aunque algunas fibras alcanzan los 30 cm (12 pulgadas). Las fibras musculares surgen durante el desarrollo embrionario, resultado de la unión de 100 o más células mesodérmicas pequeñas llamadas mioblastos, cada fibra muscular contiene entre 100 a más núcleos. La cantidad de fibras musculares queda establecida antes del nacimiento y la mayoría de dichas células persisten por toda la vida (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Sarcolema, túbulos transversos y sarcoplasma

Los núcleos que poseen las fibras musculares se encuentran por debajo del sarcolema, la membrana plasmática de una célula muscular. Existen millones de invaginaciones diminutas del sarcolema, estas se denominan túbulos transversos (T), los cuales forman túneles desde el centro de cada fibra muscular. Los túbulos T se abren hacia el exterior de la fibra y están llenos líquido intersticial. Los potenciales de acción musculares viajan a través del sarcolema y por los túbulos T hacia todas las fibras musculares muy rápidamente. Esto permite que el potencial de acción excite a todas las partes de las fibras musculares simultáneamente (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Dentro del sarcolema se encuentra el sarcoplasma el cual aporta una cantidad considerable de glucógeno, este glucógeno puede utilizarse para sintetizar ATP, adicional el sarcoplasma contiene mioglobina que es una proteína de color rojo y se halla solamente en el músculo, se une a las moléculas de oxígeno que viajan hacia las fibras musculares desde el líquido intersticial. La mioglobina tiene la función de liberar oxígeno cuando sea requerido por las mitocondrias para producir ATP (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Miofibrillas y retículo sarcoplasmático

En gran escala, el sarcoplasma parece relleno de pequeños hilos. A estas

estructuras se las llama miofibrillas las cuales son orgánulos contráctiles del músculo. Estas miofibrillas poseen alrededor de 2µm de diámetro y llegan a extenderse a lo largo de toda la fibra muscular. Sus estrías prominentes hacen que toda la fibra muscular tenga apariencia de rayada (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Todas las miofibrillas están rodeadas por un sistema de sacos membranosos los cuales se encuentran llenos de líquido denominado retículo sarcoplasmático (RS). Cuando una fibra se encuentra relajada, el RS almacena iones de calcio (Ca^{2+}). La liberación de Ca^{2+} de las cisternas terminales del retículo sarcoplasmático son las responsables en desencadenar la contracción muscular (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Filamentos y sarcómero

Existen estructuras más pequeñas dentro de las miofibrillas que se denominan filamentos o miofilamentos. Hay dos tipos de filamentos, los finos los cuales poseen 8 nm de diámetro y 1-2 µm de largo y en su totalidad está compuestos de actina, mientras que los filamentos gruesos poseen 16nm de diámetro y 1-2 µm de largo y en su totalidad están compuestos de miosina, estos filamentos actúan directamente en el proceso contráctil. El contenido de las miofibrillas no van a lo largo de toda la fibra muscular, en cambio están dispuestos en compartimientos llamados sarcómeros, los cuales son unidades funcionales básicas de una miofibrilla. Existen regiones angostas llenas de material proteico que forman una placa, llamados discos Z, los cuales separan un sarcómero del siguiente. Por lo que un sarcómero se extiende de un disco Z al siguiente disco Z. La parte media más oscura del sarcómero se llama la banda A y va a extenderse a lo largo del trayecto de todos los filamentos gruesos. La banda I por lo contrario es una banda clara, de menor densidad que contiene el resto de lo filamentos finos y un disco Z atraviesa el centro de cada banda I. Existe una zona H que es angosta y se encuentra ubicada en el centro de cada banda A la cual pose filamentos gruesos (Tortora y Derrickson, 2013, p. 331).

Tipos de fibras musculares

Todos los tipos de fibras musculares no tienen las mismas funciones bioquímicas o metabólicas. Cada tipo de fibra muscular puede funcionar tanto en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Las fibras que utilizan oxígeno para producir energía son aeróbicas, estas fibras son de tipo 1, rojas o de contracción lenta (ST). El tipo de fibras que no requieren oxígeno para producir energía son de tipo 2, blancas o de contracción rápida (FT). Estas fibras ST y FT están repartidas a lo largo del cuerpo en relación 50/50 y no parece alterarse a través del entrenamiento (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 23).

La distribución de las fibras varían de músculo en músculo, normalmente los miembros superiores tienen a poseer un mayor porcentaje de fibras FT que en las piernas; bíceps un 55% de FT, tríceps 60% de FT, mientras el sóleo y los gastrocnemios 24% de FT.

No existen diferencias entre la distribución de las fibras musculares de hombres y mujeres deportistas (Bompa y Cornacchia, 2015, p. 23). Periodización de la fuerza

Fases de Adaptación a la Fuerza

Adaptación Anatómica

El objetivo principal de esta fase es adaptar de manera progresiva a los músculos enfocándose en sus inserciones (tendones), de tal forma que puedan superar con mayor facilidad las cargas más pesadas en los siguientes fases de entrenamiento (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 243).

La manera más sencilla para la adaptación es el entrenamiento en circuito, porque aporta estructura organizada y alterna los grupos musculares. En una actividad de entrenamiento en circuito se pueden usar gran variedad de métodos, como el peso corporal, los tubos quirúrgicos, los balones medicinales, los complementos ligeros, mancuernas, barras de pesas y máquinas de entrenamiento de la fuerza (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 244).

Hipertrofia

Para los atletas, el aumento de tamaño muscular (hipertrofia) se debe conseguir aplicando una metodología de entrenamiento específica para el deporte. Es decir, mientras que el fisicoculturismo se centra en el aumento de tamaño de la musculatura general, el entrenamiento de la hipertrofia en el deporte se centra sobre todo en aumentar el tamaño de los músculos agonistas específicos sin olvidarse del componente neuronal de la expresión de la fuerza (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 255).

En concreto, el entrenamiento de hipertrofia específica para el deporte requiere cargas pesadas con descanso mínimo y un número elevado de series para aumentar la densidad (grosor) y la cantidad de proteínas de los músculos agonistas. De este modo, el entrenamiento de hipertrofia para deportes es duradero porque el aumento del tamaño muscular se basa en el incremento de la fuerza (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 257).

Fuerza Máxima

Casi todos los deportes exigen fuerza, pero lo que precisan todos los deportes es fuerza específica. Al generar fuerza específica para un deporte, un papel importante (si no determinante) corresponde a la fuerza máxima. El papel específico desempeñado por la fuerza máxima varía entre deportes, y este papel determina la duración de la fase de entrenamiento de la fuerza máxima para un deporte dado (Bompa y Buzzichelli, 2006, p

267).

La capacidad de un atleta para generar fuerzas elevadas depende en gran medida de los siguientes factores:

- Coordinación intermuscular: Capacidad para sincronizar todos los músculos de una cadena cinética implicada en una acción.
- Coordinación intramuscular: Capacidad para reclutar voluntariamente tantas unidades motoras como sea posible, y enviar impulsos nerviosos con una frecuencia elevada.
- Hipertrofia: El diámetro o área transversal del músculo implicado.

Conversión en fuerza específica

Deportes que requieren potencia (un sinónimo de lo que a veces llamamos velocidad-fuerza, o fuerza inicial o fuerza explosiva en la curva de fuerza-tiempo); es decir, la capacidad de aplicar fuerza lo más rápido posible, como en saltos, lanzamientos y esprines en atletismo, en la mayoría de los deportes de equipo y en todos los deportes en que la potencia influye mucho en el rendimiento (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 283).

En el entrenamiento de la potencia trabaja los músculos con un alto grado de especificidad, la coordinación inter e intramuscular del atleta se vuelve más eficiente, de modo que sus actuaciones se tornan más fluidas, rápidas y precisas. Durante la fase de conversión, los atletas deberían usar más energía para el entrenamiento técnico y táctico que para el entrenamiento de la fuerza específica. Con fines deportivos, cualquier incremento de la potencia debe ser el resultado de mejoras en la fuerza, la velocidad o una combinación de ambas (Bompa y Buzzichelli, 2006, p 285).

Musculatura flexora

Músculo bíceps braquial

Posee dos cabezas las cuales realizan antepulsión del brazo en la articulación del hombro, efectúa abducción con la cabeza larga, en posición de rotación externa. El tendón de la cabeza larga insertado en el surco intertubercular a través del ligamento coracohumeral, el cual estabiliza la articulación del hombro adicional a la acción del manguito rotador. Ambas cabezas actúan sobre la articulación del hombro, realizando flexión y supinación. Con la articulación del codo extendido completamente el bíceps braquial no puede realizar su efecto supinador (Valerius et al., 2008, p. 68).

- Origen

Cabeza larga: tubérculo supraglenoideo de la

escápula Cabeza corta: apófisis coracoides de la

- escápula
- Inserción
Tuberosidad del radio y fascia del antebrazo a través de la aponeurosis de músculo bíceps braquial
- Inervación
Nervio musculo cutáneo, C5-C6

Músculo Braquial

Es el músculo flexor más importante del codo, debido a que se inserta en el cúbito no produce efecto sobre las articulaciones radioarticulares (Valerius et al., 2008, p.70).

- Origen
Dos tercios distales de la superficie ventral del húmero
Tabique intermuscular entre el músculo braquial y el músculo tríceps braquial
- Inserción
Tuberosidad cubital
Apófisis coronoides del cúbito
- Inervación
Nervio musculocutáneo,
C5-C7 Nervio radial, C5-C6

Músculo braquiorradial

Tiene la función de flexionar la articulación del codo y lleva el antebrazo de regreso a la posición media desde las posiciones extremas de pronación y de supinación (Valerius et al., 2008, p.72)

- Origen
Cresta supracondilar lateral del húmero
Tabique intermuscular lateral del brazo
- Inserción
Superficie lateral del radio, proximal a la base de la apófisis estiloides del radio
- Inervación
Nervio radial, C5-C6

2.4. Hipótesis

Hipótesis de Investigación: El uso de crioterapia local en el bíceps braquial provoca

aumento sobre la fuerza muscular isométrica y la resistencia muscular.

Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicador	Escala
Fuerza Muscular	Es la capacidad de generar tensión intramuscular ante una resistencia, independientemente de que se genere o no movimiento.	Fuerza Muscular Isométrica	Se denomina así porque se trabajan los músculos de forma inmóvil y no se produce ningún cambio en la longitud muscular.	Aumentada Disminuida	Cuantitativa Continua
Masa Muscular	Es el volumen que presentan los tejidos totales del cuerpo que corresponden al músculo.	Hipertrofia Hipotrofia	- Crecimiento excesivo y anormal de un órgano o de una parte de él debido a un aumento del tamaño de sus células - Desarrollo inferior a lo		Cuantitativa continua

			normal de un órgano o un tejido		
Resistencia Muscular	Es la capacidad que tiene un músculo para contraerse durante periodos largos de tiempo. El aumento de la resistencia muscular no sólo es beneficioso para el rendimiento deportivo, también es un componente importante en cualquier actividad física	Resistencia Aeróbica Resistencia Anaeróbica	<p>- La capacidad aeróbica se define como la capacidad del organismo para funcionar eficientemente y llevar actividades sostenidas con poco esfuerzo, poca fatiga, y con una recuperación rápida.</p> <p>- Es la capacidad de un ser humano de llevar a cabo un esfuerzo de intensidad media</p>	Numero de repeticiones realizadas en 1 minuto Máximo de repeticiones realizadas Test	Cualitativa ordinal

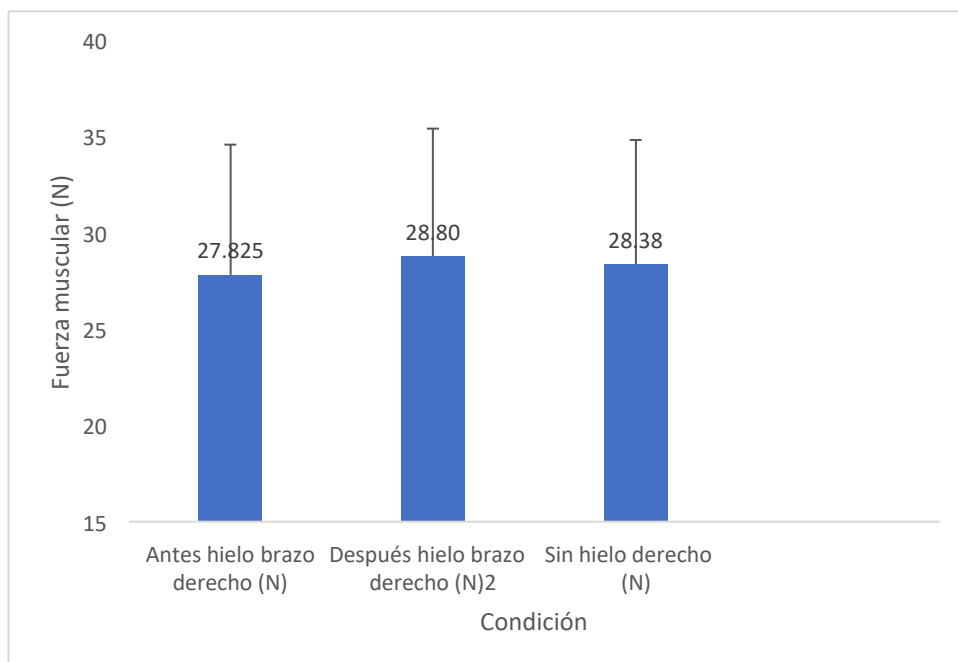
			<p>o leve en un tiempo extenso. La resistencia anaeróbica, en cambio, refiere a la capacidad de realizar un esfuerzo muy intenso por un tiempo breve.</p>		
--	--	--	---	--	--

Capítulo III: Resultados Y Discusión

3.1. Resultados

En el grafico N.1. Se muestra que, al comparar la fuerza muscular isométrica tras la aplicación del hielo, se encontró que esta variable aumenta ligeramente en el brazo derecho, pero no llega a ser muy diferente a la condición sin hielo. Estos resultados sugieren que el hielo no produce un cambio importante en la fuerza muscular.

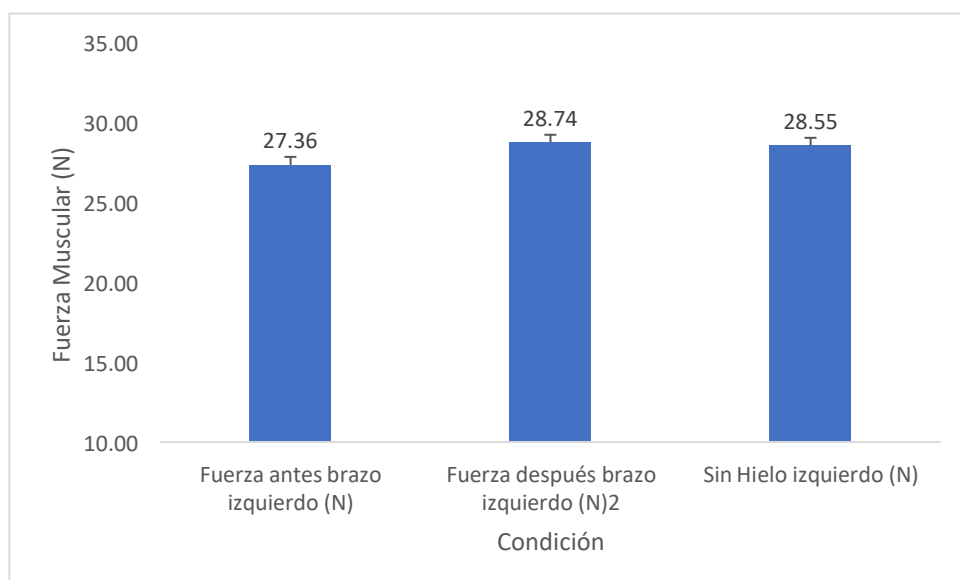
Gráfico 1
Comparación de la Fuerza Muscular Isométrica del Brazo Derecho con Aplicación de Hielo y sin Hielo.



Elaborado por: Alexis Guerra

En el grafico N.2. Se observa que, al comprar la fuerza muscular con la aplicación del hielo, se encontró que esta variable también aumenta muy ligeramente en este caso en el brazo izquierdo, sin embargo, no llega a ser muy diferente a la condición sin hielo.

Gráfico 2
Comparación de la Fuerza Muscular Isométrica del Brazo Izquierdo con Aplicación de Hielo y sin Hielo.

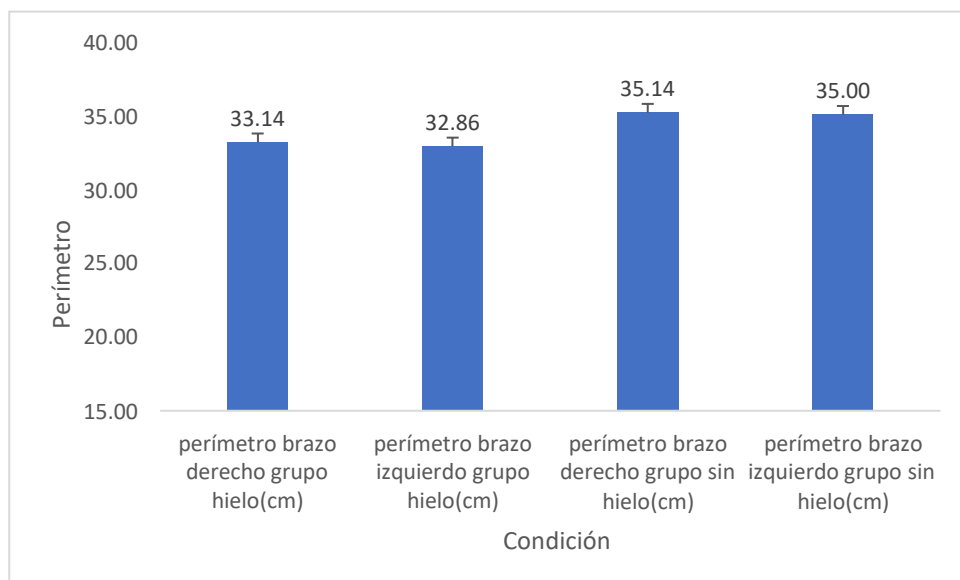


Elaborado por: Alexis Guerra

Gráfico N.3. Al comparar el perímetro muscular del grupo que se le aplicó el hielo con el perímetro muscular del grupo que no se le aplicó, se puede observar una diferencia de 2cm en el brazo derecho y de 2,14cm en el brazo izquierdo.

Gráfico 3

Comparación del Perímetro Muscular y el Bíceps con Aplicación de Hielo y sin Hielo.

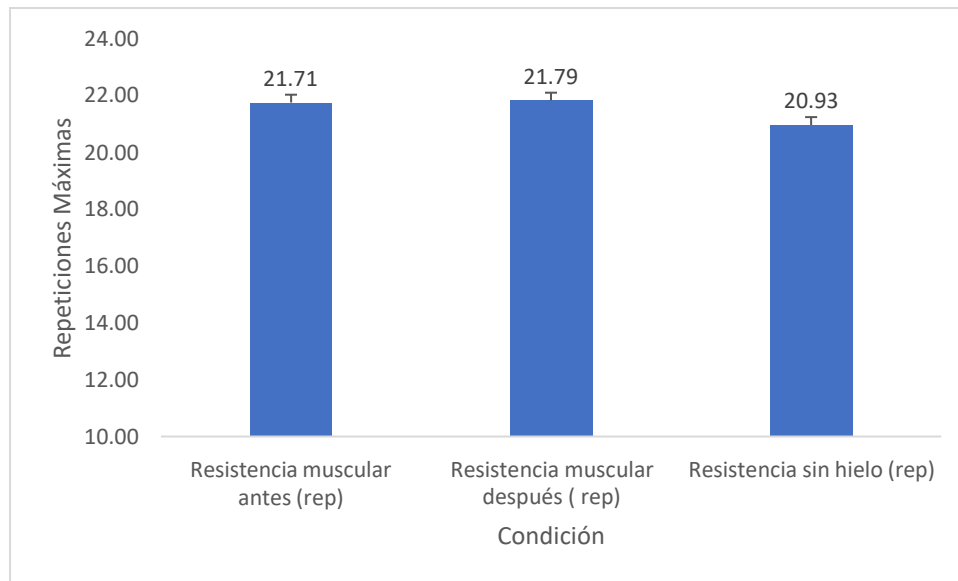


Elaborado por: Alexis Guerra

En el gráfico N.4. Se muestra que, al comparar la resistencia muscular en el ejercicio de dominadas en barra paralela tras la aplicación del hielo, esta variable aumenta ligeramente para ambos brazos pero no llega a ser diferente a la condición sin hielo. Estos resultados muestran que la aplicación de hielo parece no producir un cambio significativo en la resistencia muscular.

Gráfico 4

Comparación de la Resistencia Muscular con Aplicación de Hielo y sin Hielo.



Elaborado por: Alexis Guerra

3.2. Discusión

En este estudio se realizó un análisis sobre la efectividad de la aplicación de la crioterapia en 28 deportistas que realizan musculación, pertenecientes a diferentes gimnasios de la Ciudad de Quito, con el fin de mejorar el rendimiento muscular de los músculos de brazo.

Antes de la aplicación del hielo sobre los participantes del grupo experimental, el promedio de la fuerza isométrica del brazo derecho era de 27.82 Newtons (N) y del brazo izquierdo era de 27.36 N. Después de la aplicación del hielo se obtuvo que, en el grupo experimental no existió un aumento muy considerable del promedio de la fuerza isométrica del brazo derecho siendo de 28.80 N y para la fuerza isométrica del brazo izquierdo el promedio fue de 28.74N.

En contraste, el grupo control que no se le aplicó hielo en ningún momento, podemos observar que el promedio de la fuerza muscular isométrica del brazo izquierdo fue 28.38 N y el promedio de la fuerza muscular isométrica del brazo izquierdo fue 28.55 N.

No obstante, con los datos recopilados, se demostró que el grupo control posee mayor fuerza isométrica que el grupo experimental, pero tras la aplicación del hielo, el grupo experimental logra superar con una ligera diferencia la fuerza isométrica del grupo control. En este sentido Thorley et al., (2013) encontraron que, en tres estudios, el enfriamiento aumentó significativamente la fuerza isométrica, basada en el momento de la fatiga en el cuádriceps.

De acuerdo con los resultados obtenidos con el dinamómetro antes y después de la aplicación del hielo sobre la musculatura elegida, no existió un aumento considerable de la

fuerza muscular isométrica, y esto puede deberse a factores circulatorios, neuronales, articulares, etc. En este sentido Cameron, (2014) afirma que los mecanismos que reducen la fuerza después de la aplicación del frío son la reducción del flujo de sangre a los músculos, la conducción más lenta de los nervios motores, el aumento de la viscosidad muscular y el aumento de la rigidez en las articulaciones y partes blandas. En particular, el frío puede disminuir la velocidad de conducción de los nervios sensitivos como los motores, lo que puede cambiar la función de la motoneurona haciendo que afecte la capacidad de generar fuerza (Tremblay, Estephan, Legendre y Sulpher, 2001). Aparte de los husos musculares, se sabe que los receptores cutáneos también participan en la propiocepción. Es lógico admitir que este tipo de terminaciones nerviosas, por su localización superficial, pueden experimentar más enfriamiento que los receptores musculares y, por tanto, sus señales aferentes generadas durante el movimiento podrían estar bloqueadas o sufrir disfunciones (Torres et al., 2016). Con toda esta evidencia, la hipótesis planteada en este estudio se cumple, ya que aplicación de crioterapia si produjo cambios en la fuerza muscular isométrica, aunque estos cambios no son representativos a nivel estadístico o numérico, pero a nivel deportivo pueden representar una pequeña mejoría sobre la fuerza muscular isométrica del deportista.

Como se pudo constatar, el aumento en el dinamómetro fue real pero a corto plazo, ya que, para que exista aumento real de fuerza se debe reclutar más fibras motoras de las que ya se tiene presente, tener cierto tiempo en adaptación anatómica y potenciar todo el aprendizaje motor. Torres et al., (2016) en su estudio realizado expresa que Es probable que la crioterapia modifique la viscoelasticidad de los tejidos, en particular la propiedad mecánica del tendón, lo que sugiere que la disminución del cumplimiento de la unidad músculo-tendinosa puede afectar directamente su capacidad de generación de fuerza y también influir en los patrones de activación neural.

El aumento de fuerza medido por el dinamómetro se debe a los efectos fisiológicos que producen las bajas temperaturas con la aplicación de la crioterapia, como son la velocidad de conducción nerviosa, la rigidez articular y la regulación de la sensibilidad de los husos musculares, estos factores juegan un papel muy importante ya que, el hielo produjo en este caso que la sensación de dolor y fatiga disminuyan, por lo que los resultados obtenidos por el dinamómetro, no reflejan aumento real de la fuerza muscular isométrica ya que el músculo no puede discriminar el peso adecuadamente dando un resultado favorable para este estudio.

Mientras desciende la temperatura, la rigidez articular va en aumento, esto se debe principalmente al incremento de la viscosidad del líquido sinovial. A su vez tenemos el aumento de la rigidez del tejido muscular y conectivo, es por este motivo que nuestras destrezas motoras finas y habilidades se ven afectadas cuando desciende la temperatura corporal (Cameron, 2014, pp. 188). Esta es una de las razones por la cual la fuerza muscular

isométrica no tiene aumento real ni es a largo plazo.

Analizado el volumen muscular del grupo con intervención, el promedio del brazo derecho obtenido fue de 33.14 centímetros (cm) y el promedio del perímetro del brazo izquierdo es de 32.86 cm. En cambio, con el grupo que no se aplicó el hielo, el promedio del perímetro muscular del brazo derecho es 35.14 cm y el promedio del perímetro del brazo izquierdo es 35.00 cm, pero este aumento no se debe a la aplicación del hielo, el grupo control ya presentaba un volumen muscular mayor al grupo que se realizó la intervención. Como sabemos para que exista volumen muscular se debe producir un efecto interno llamado angiogénesis, y este efecto consiste en que se formen vasos sanguíneos que es responsable de una pequeña parte del volumen del músculo (Jarvinen et al., 2005; Ceafalan et al., 2015).

Es importante entender cómo el frío con aplicaciones prologadas y constantes influye en la angiogénesis del músculo por dos razones. Primero, el hielo es el tratamiento común para las lesiones musculares. En segundo lugar, la angiogénesis está estrechamente relacionada con la reparación muscular. La evidencia de otros tipos de tejidos sugiere que la hipotermia puede estimular la secreción del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) (Coassin et al., 2010; Takeyama et al., 2015) y con ello la angiogénesis (Kuo et al., 2010; Kao et al., 2011). Como mencionan los autores, estos efectos se presenta en el largo plazo por lo que no se encontró cambio alguno en el volumen muscular.

Se obtuvo un promedio de 21.71 repeticiones en la resistencia muscular en el grupo que se aplicó hielo, y el promedio de la resistencia muscular después de la aplicación del hielo fue de 21.79 repeticiones, sugiriendo que el hielo no influye en la resistencia muscular. En el grupo donde no se aplicó el hielo, la resistencia muscular promedio fue de 20.93 repeticiones. En estudios realizados en diferentes estructuras musculares con crioterapia por inmersión en agua fría, Kimura et al., (2010) informaron que una inmersión de 30 minutos en agua fría aumentó significativamente la resistencia de la flexión plantar. En contraste a este estudio, Edwards et al., (2008) concluyeron que la resistencia del cuádriceps se optimizó en inmersión en agua a 26 grados C pero, hubo tendencia a disminuir después de inmersiones a temperatura extrema (10 grados C), lo que indicaría que el frío a baja temperatura no es un agente físico adecuado para promover la resistencia muscular de cualquier músculo, ya que, el hielo a dicha temperatura produce disminución en la velocidad de conducción nerviosa y de la transmisión sináptica en los nervios periférico, haciendo que el músculo En algunos casos no trabaje de manera normal.

3.3. Limitaciones del estudio

Una limitación identificada en este estudio es, que no se pudo controlar si al momento de realizar la medición, la población tuvo un preentrenamiento de bíceps y este músculo se encontraba fatigado, pudiendo así modificar los datos en la medición de la fuerza.

Existen estudios que demuestran que la fatiga se manifiesta por una disminución en la frecuencia de descargas de las unidades motoras reclutadas inicialmente para la realización de una fuerza. Esta fatiga puede ocurrir a nivel de corteza motora y motoneuronas (Boron y Boulpaep. 2011).

3.4 Aplicación Práctica

Los resultados de este estudio confirman que, existió un leve incremento de la fuerza muscular isométrica a corto plazo, pero se recalca que, este aumento de fuerza no es real, solo es una errada percepción de los tejidos y estructuras implicadas tras la aplicación de hielo por los diversos efectos fisiológicos que suceden durante los 5 minutos que se aplicó en personas que realizan la actividad de musculación en el gimnasio, pero el volumen y la resistencia no se vieron afectados con la aplicación de dicho agente físico. Por lo que, el hielo no es una opción adecuada para cambiar a corto plazo dichas variables.

Conclusiones

La aplicación de hielo para aumentar la fuerza muscular como tal no es posible, ya que ésta (fuerza), es producto de un trabajo fuerte del músculo que se inicia con el reclutamiento de fibras musculares, la adaptación de estas al esfuerzo mecánico, la mejora de la fuerza propiamente dicha y por último la hipertrofia muscular. Que puede durar y todo esto puede durar entre 6 meses y dos años, y no por la aplicación de hielo para lo cual falta mucha evidencia científica, La aplicación del hielo por los efectos fisiológicos ya nombrados hipersensibilidad, disminución de la fatiga, rigidez y alteración de la respuesta motora.

Con el resultado obtenido sobre el aumento de la fuerza muscular isométrica se concluye que, al utilizar el hielo como recurso de crioterapia sobre el tejido muscular se produce una falsa sensación de aumento de fuerza por las bases fisiológicas que produce el hielo, mas no se debe usar el hielo por si solo para aumento de fuerza muscular a largo plazo, toda intervención que se realice siempre debe estar acompañada de ejercicio físico para poder observar aumento real de la fuerza muscular.

Con respecto al perímetro muscular, el volumen muscular no aumenta ni disminuye con la aplicación de hielo . Se observó que el grupo control presentaba mayor perímetro muscular que el grupo experimental, y tras la aplicación del hielo tampoco hubo aumento en el volumen muscular grupo experimental.

Además, la resistencia muscular antes y después de la aplicación del hielo no se vio afectada en el grupo que recibió crioterapia. Comparado con el grupo donde no se aplicó el hielo, la resistencia muscular fue ligeramente mayor después de la aplicación del hielo.

El tiempo de aplicación de hielo fue suficiente para obtener el efecto deseado, por lo que, si se sobrepasaba el tiempo recomendado en las bibliografías el músculo no hubiera podido desempeñar un trabajo muscular efectivo debido a los efectos fisiológicos que el hielo causa sobre los tejidos.

Recomendaciones

La aplicación de hielo ayuda de forma considerable cuando se aplica en tratamientos post quirúrgicos ayudando a recuperar la fuerza de los músculos inhibidos. Loro, Thelen y Rosenthal, (2019) encontraron en su estudio que la crioterapia aplicada a la articulación de la rodilla en el postoperatorio temprano en pacientes con cirugía de rodilla conduce a un aumento en actividad EMG de superficie y fuerza isométrica del cuádriceps. Por lo tanto el hielo está recomendado en las primeras fases de rehabilitación post operatoria.

Dentro de un plan de entrenamiento, independientemente si una persona es novato o avanzado, se deben implementar ejercicios isométricos, ejercicios en circuito, ejercicios de fondo, ejercicios de potencia, etc. depende del deporte al cual se está adaptando al deportista para lograr aumento de fuerza muscular a largo plazo.

Para mejorar la fuerza isométrica, resistencia y volumen muscular se debe tener en cuenta las condiciones y contraindicaciones de la crioterapia que se mencionan en la literatura y la evidencia científica, además, se debe tener en cuenta los efectos fisiológicos producidos a corto y largo plazo que pueden entorpecer los resultados.

Debido a la emergencia sanitaria relacionada con el COVID-19, la mayor parte de personas está realizando ejercicios desde casa, la aplicación de hielo localizado sería una opción ideal para para lograr aumento instantáneo de fuerza muscular y por otra parte ayudaría a desinflamar los músculos adoloridos en las personas que recién empiezan a realizar ejercicios o dentro de una lesión ocurrida por entrenar en casa.

Referencias Bibliográficas

Albornoz, M. y Meroño, J. (2012). *Procedimientos Generales de Fisioterapia. Práctica Basada en la Evidencia*. (1.^a ed.). Madrid: Elsevier.

Boeckh, W. y Buskies, W. (2005). *Entrenamiento de la Fuerza*. (1.^a ed.). Barcelona: Paidotribo.

Bompa, T. y Cornacchia, L. (2015). *Musculación, Entrenamiento Avanzado. Periodización para Conseguir Fuerza y Masa Muscular. Programas, rutinas y dietas*. (1.^a ed.). Barcelona: Hispano Europea, S.A.

Bouzigon, R., Grappe, F., Ravier, G. y Dugue, B. (2016). Whole- and Partial Body Cryostimulation/Cryotherapy: Current Technologies and Practical Applications, *J. Therm. Biol.*, 61,67–81. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.08.009>.

Cameron, M. (2014). *Calor y Frio Superficial Agentes Físicos en Rehabilitación de la Investigación a la Práctica* (p. 131). Barcelona: Elsevier España.

Coassin, M., Duncan, K., Bailey, K., Singh, A. y Schwartz, D. (2010). Hypothermia Reduces Secretion of Vascular Endothelial Growth Factor by Cultured Retinal Pigment Epithelial Cells. *Br. J. Ophthalmol.*, 94,1678–1683. doi: <http://doi:10.1136/bjo.2009.168864>

Comeau, M., Potteiger, J. y Brown, L. (2003). Effects of Environmental Cooling on Force Production in the Quadriceps and Hamstrings. *J Strength Cond Res*, 17(2), 279-284. doi: [http://doi:10.1519/1533-4287\(2003\)017](http://doi:10.1519/1533-4287(2003)017).

Douglas, M. Bivens, S. y Pesterfield, J. (2013). Immediate Effects of Cryotherapy on Static and Dynamic Balance. *Int J Sports Phys Ther*, 8(1), 9-14. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3578429/>.

Edwards, R., Harris, R., y Hultman, E. (2008). Effect of Temperature on Muscle Energy Metabolism and Endurance During Isometric Contractions, Sustained to Fatigue in

The Quadriceps Muscles in Man. *J Physiol*, 220, 335-352.

doi: <http://dx.doi.org/10.1113%2Fjphysiol.1972.sp009710>.

Furmanek, M., Stomka, K., Sobiesiak, A., Rzepko, M. y Juras, G. (2018). The Effects of Cryotherapy on Knee Joint Position Sense and Force Production Sense in Healthy Individuals. *Journal of Human Kinetics*, 61, 41. doi: <http://doi:10.1515/hukin-2017-0106>.

Giemza, C., Matczak-Giemza, M., De Nardi, M., Ostrowska, N. y Czech, P. (2015). Effect of Frequent WBC Treatments on the Back Pain Therapy in Elderly Men. *Aging Male*, 18, 135– 142. doi: <http://doi:10.3109/13685538.2014.949660>.

Guilhem, G., Hug, F., Couturier, A., Regnault, S., Bournat, L., Filliard, J. y Dorel, S. (2016). Effects of Air-Pulsed Cryotherapy on Neuromuscular Recovery Subsequent to Exercise Induced Muscle Damage. *Am. J. Sports Med*, 41, 1942–1951. doi: <http://doi:10.1177/0363546513490648>.

Kitai, T. y Venta, D. (1989). A Specificity of the Angle of the Joint in Isometric Training. *Physiol Appl*, 58, 744-748. doi: <http://doi:10.1007/BF00637386>.

Lee, S., De Lira, C., Nouailhetas, V., Vancini, R. y Andrade, M. (2018). Do Isometric, Isotonic and/or Isokinetic Strength Trainings Produce Different Strength Outcomes. *J Bodyw Mov Ther*, 22, 430–437. doi: <http://doi:10.1016/j.jbmt.2017.08.001>.

Kimura, I., Thompson, G. y Gullick, D. (2010). The Effect of Cryotherapy on Eccentric Plantar Flexion Peak Torque and Endurance. *J Athl Train*, 32(2), 124-126. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16558441/>.

Kuo, J., Lo, C., Chang, C., Lin, H., Lin, M. y Chio, C. (2010). Brain Cooling-Stimulated Angiogenesis and Neurogenesis Attenuated Traumatic Brain Injury in Rats. *J. Trauma*, 69, 1467–1472. doi: <http://doi:10.1097/TA.0b013e3181f31b06>.

Lois, J. (2018). *Manual de Fisioterapia*. (2.^a ed.). Bogotá: Manual Moderno.

Loro, W., Thelen, M., Rosenthal, M., Stoneman, P. y Ross, M. (2019). The Effects of Cryotherapy on Quadriceps Electromyographic Activity and Isometric Strength in Patient in the Early Phases Following Knee Surgery, *Journal of Orthopaedic Surgery*, 27, 1-8. doi: <https://doi.10.1177/2309499019831454>.

Richer, N., Marchand, A. y Descarreaux, M. (2017). Management of Chronic Lateral Epicondylitis with Manual Therapy and Local Cryostimulation: a pilot study, *J. Chiropr, Med*, 16, 279– 288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.07.001>.

Romero, N., Fernandez, J., Montaña, J., Romero, J. y Jiménez, P. (2019). Validity and Reliability of a Low-Cost Dynamometer to Assess Maximal Isometric Strength of Upper Limb, *J Sports Sci*, 37(15), 1787-1793. doi: <https://10.1080/02640414.2019.1594570>.

Skrzek, A., Ciszek, D., Nowicka, A. y Dębiec, B. (2019). Evaluation of Changes in Selected Skin Parameters Under the Influence of Extremely Low Temperature, *Cryobiology*, 86, 19–24. doi: <https://doi:10.1016/j.cryobiol.2019.01.005>.

Stanek, A., Cholewka, J., Gadula, Z., Drzazga, A., Sieron, K. y Sieron, S. (2015). Can Whole- Body Cryotherapy with Subsequent Kinesiotherapy Procedures in Closed type Cryogenic Chamber Improve BASDAI, BASFI, and Some Spine Mobility Parameters and Decrease Pain Intensity in Patients with Ankylosing Spondylitis. *BioMed Res. Int*, 4, 42-59. doi: <https://doi:10.1155/2015/404259>.

Suchomel, T., Nimphius, S. y Stone, M. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med*, 46, 1419–1449. doi: <https://doi:10.1007/s40279-016-0486-0>.

Tanaka, H., Ikezo, T., Umehara, J., Nakamura, M., y Umegaki, H. (2016). Influences of Fascicle Length During Isometric Training on Improvement of Muscle Strength.

Journal of Strength and Conditioning Research, 30(11), 3249–3255. doi:https://doi:10.1519/JSC.0000000000001419.

Thornley, J., Maxwell, S. y Cheung, S. (2013). Local Tissue Temperature Effects on Peak Torque and Muscular Endurance During Isometric Knee Extension. *Eur J Appl Physiol*, 90(5-6), 88-94. doi: https://doi: 10.1007/s00421-003-0927.

Torres, R., Silva, F., Pedrosa, V., Ferreira, J., y Lopes, A. (2016). The Acute Effect of Cryotherapy on Muscle Strength and Shoulder Proprioception. *Journal of Sport Rehabilitation*, doi:https://dx.doi.org/10.1123/jsr.2015-0215.

Tortora, G. y Derrickson, B. (2013). *Principios de Anatomía y Fisiología*. (13^a ed.). Buenos Aires: Panamericana.

Valerius, K., Frank, A., Kolster, B., Hirsch, M., Hamilton, C. y Lafont, E. (2008). *El libro de los Músculos, Anatomía, Exploración, Función*. (1.^a ed.). D.F: Ars Medica.

ANEXOS

Consentimiento Informado

Tema: Efectos de la crioterapia sobre la producción de fuerza muscular isométrica en el bíceps braquial.

Se invita a usted a participar en un proyecto de investigación que está bajo la responsabilidad del Sr. Alexis Guerra de la Escuela de Terapia Física de la Facultad de Enfermería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Es muy importante que usted lea y entienda los principios generales a aplicarse en todos los que participen en el estudio: 1) su participación dentro de este estudio es completamente voluntaria; 2) No hay beneficios personales en su participación en el estudio, pero el conocimiento adquirido beneficiara a otras personas. 3) usted podrá retirarse en cualquier momento del estudio.

La razón por la que usted fue invitado a participar de este estudio es_____. El proyecto incluye: 1) se llenará un cuestionario sobre diferentes factores personales_____. Riesgos

Los riesgos asociados al estudio son_____

Beneficios

Todos los (exámenes/evaluaciones) son completamente gratuitos y los resultados serán entregados a cada uno_____.

Confidencialidad

Su privacidad y los datos de su cuestionario son estrictamente confidenciales. Sin embargo los investigadores tendrán acceso a sus datos. Cuando los resultados del estudio estén listos

podrán ser publicados únicamente en la universidad, en estos no se incluirá su nombre ni ningún otro dato relacionado con su identidad, estos serán codificados y mantenidos en absoluta reserva.

Problemas o preguntas:

Si hubiera algún problema o pregunta al respecto, usted puede contactarse con

_____ Nombre y Apellidos (del niño):

He leído o me ha sido leído los detalles del estudio y he tenido la oportunidad de discutir y hacer preguntas sobre el proyecto. Una vez comprendido el objetivo de este proyecto doy mi consentimiento (para ser parte de este estudio/para que mi hijo sea parte de este estudio)

Firma y Fecha

Firma del investigador y fecha

Tabla 1: datos de los grupo experimental antes y después de la aplicación de la crioterapia.

Sujeto	Fuerza antes brazo derecho (N)	Fuerza antes brazo izquierdo (N)	Fuerza después brazo derecho (N)2	Fuerza después brazo izquierdo (N)2	perímetro brazo derecho (cm)	perímetro izquierdo derecho (cm)	resistencia muscular antes (rep)	resistencia muscular después (rep)
1	25.17	26.87	26.23	27.12	34	33	18	17
2	13.37	17.07	14.66	17.42	30	30	12	12
3	26.62	25.37	29.2	28.5	34	33	14	12
4	34.55	32.05	35.27	33.45	39	39	25	26
5	26.82	25.32	29.08	28.65	28	30	20	20
6	30.8	31.37	31.25	32.47	32	31	25	25
7	29.56	30.29	30.29	32.83	32	32	23	24
8	27.36	26.32	28.35	28.12	33	34	25	25
9	32.37	31.58	33.2	32.41	35	34	30	29
10	36.89	34.12	37.4	35.36	41	40	32	32
11	30.6	29.73	31.25	30.63	34	34	25	25
12	29.6	29.09	30.23	29.67	31	30	24	26
13	31.8	30.58	32.14	31.33	32	31	21	22
14	14.04	13.24	14.61	14.43	29	29	10	10
Promedio	27.825	27.36	28.80	28.74	33.14	32.86	21.71	21.79
SD	6.77	5.84	6.63	5.93	3.55	3.28	6.40	6.70

Elaborado por: Alexis Guerra

Nota: los cuadros en color amarillo son participantes mujeres.

Tabla 2: datos del grupo control sin aplicación de crioterapia

Sujeto	Fuerza 1 derecho (N)	Fuerza 1 izquierdo (N)	masa derecho(cm)	masa izquierdo(cm)	resistencia 1 (rep)
1	28.33	28.19	34	34	25
2	36.87	37.49	41	40	30
3	34.05	35.4	39	40	25
4	30.61	29.31	36	35	22
5	28.23	27.63	34	34	20
6	30.41	31.29	35	36	21
7	13.64	13.81	30	30	10
8	14.77	13.51	30	29	12
9	30.29	31.97	36	36	18
10	29.26	28.68	35	34	22
11	32.42	32.79	39	38	28
12	30.19	30.81	35	35	21
13	29.67	31.49	34	35	20
14	28.6	27.39	34	34	19
Promedio	28.38	28.55	35.14	35.00	20.93
SD	6.45	6.93	3.08	3.11	5.41

Elaborado por: Alexis Guerra

Nota: los cuadros en color amarillo son participantes mujeres.

Cronograma para la investigación y plan de trabajo

Cronograma de Actividades- REVEER

N°	Actividad	Duración (meses) Fecha de inicio: abril 2019.								
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Descripción del tema									
2	Planteamiento del problema y Justificación									
3	Objetivos, marco teórico e hipótesis									
4	Operacionalización de variables									
5	Metodología									
6	Validación y ajustes de instrumentos									
7	Contacto con la población objeto de Estudio									
8	Recolección de la información									

9	Procesamiento de la información									
10	Elaboración y redacción de Resultados									
11	Revisión y corrección del trabajo de disertación									
12	Presentación del trabajo de disertación como borrador									
13	Revisión de observaciones y sugerencias del tutor									
14	Entrega del trabajo de disertación final Definitivo									

1. PRESUPUESTO

Actividades	Cantidad	Tiempo	Unidades
Investigaciones	1	1 meses	-
Tutor	1	1 meses	-
Recursos y materiales	6	1 meses	\$ 20
Computadoras	1	30 horas	

Servicio de impresión	2	-	\$ 1,25
Copias	30	2 horas	\$ 6,00
TOTAL	41	-	\$ 27,25