

Efecto de tres modalidades de crioterapia sobre la temperatura de la piel durante las fases de enfriamiento y recalentamiento

Effects of three cold modalities on skin temperature during the cooling and rewarming phases

Maria Cristina Sandoval O.¹ Esperanza Herrera V.¹ Diana M. Camargo L.¹

RESUMEN

Introducción: La crioterapia es útil en el manejo de las lesiones músculo esqueléticas, debido a los efectos derivados del enfriamiento tisular, sin embargo, pocos estudios han evaluado la efectividad de distintas modalidades de crioterapia para mantener el enfriamiento después de la aplicación y los efectos de la actividad post-enfriamiento sobre la recuperación de la temperatura. **Objetivos:** Comparar los efectos de tres modalidades de crioterapia y de la actividad post-enfriamiento, sobre la recuperación de la temperatura de la piel. **Métodos:** Estudio experimental con 36 sujetos sanos aleatorizados en tres grupos: paquete de hielo, inmersión en agua helada o criomasaaje. Las modalidades se aplicaron por 15min en la pantorrilla. Posteriormente, cada grupo se subdividió aleatoriamente en reposo o marcha seguida de reposo. Para el análisis se aplicaron t de *student* apareada y ANOVA de mediciones repetidas ($\alpha=0,05$). **Resultados:** Las tres modalidades disminuyeron la temperatura de la piel, con un efecto mayor causado por el criomasaaje (-27,6°C). Durante el recalentamiento los tres grupos aumentaron la temperatura, independientemente de la actividad post-enfriamiento ($p<0,0001$). La recuperación de la temperatura fue menor en el grupo de inmersión en agua helada. Solo el grupo que recibió el paquete de hielo y realizó marcha seguida de reposo alcanzó la temperatura inicial. **Conclusiones:** Las tres modalidades disminuyeron la temperatura de la piel, con un mayor efecto producido por el criomasaaje; sin embargo, la inmersión mantuvo por más tiempo su efecto sin importar el tipo de actividad post-enfriamiento. *Salud UIS* 2011; 43 (2): 119-129

Palabras clave: Crioterapia, temperatura, recalentamiento, termorregulación, fisioterapia

¹ Grupo de Investigación del Dolor, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Correspondencia: Maria Cristina Sandoval Ortiz, Grupo de Investigación del Dolor; Docente Asociada Universidad Industrial de Santander, Carrera 32 N°. 29-31, Escuela de Fisioterapia, Facultad de Salud, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, Teléfono: 6358582, Email: sandoval@uis.edu.co

Recibido: 22 de julio 2011 **Aprobado:** 22 de agosto de 2011

ABSTRACT

Introduction: Cryotherapy is useful in the management of muscle-skeletal injuries, due to the effects of tissue cooling; however, few studies have evaluated the effectiveness of different forms of cryotherapy to maintain cooling after application and the effects of post-cooling activity on the recovery on the skin temperature. **Objectives:** To compare the effects of three modalities of cryotherapy on the skin temperature (ST) and its variation during the rewarming, under two different activities. **Methods:** An experimental study with 36 subjects randomly allocated to either three groups: crushed ice pack (CI), massage with ice (MI) or ice-water immersion (WI), these modalities were applied for 15min in the calf. Subsequently each group was subdivided randomly in: rest or gait followed by rest. For the analysis a paired Student's t test and ANOVA for repeated measurements were applied with $\alpha=0.05$. **Results:** The three modalities decreased skin temperature, with a greater effect caused by MI (-27.6°C). During rewarming the three groups increased temperature, regardless the activity post-cooling ($P<0.0001$). The ST recovery was minor in the WI group. Only the group that received CI and the rewarming was walking followed by rest, reached the initial ST. **Conclusions:** The three modalities decreased skin temperature but the MI showed the greatest cooling on ST, however the WI maintained by major time this decreasing during the rewarming without influence of activity. *Salud UIS 2011; 43 (2): 119-129*

Keywords: Cryotherapy, skin temperature, rewarming, thermoregulation

INTRODUCCIÓN

La crioterapia es la aplicación local o sistémica de frío con fines terapéuticos; ésta es una de las modalidades físicas más usadas en fisioterapia e históricamente se ha utilizado principalmente en el tratamiento de lesiones agudas¹. En la literatura existe abundante información con respecto a los efectos fisiológicos de la crioterapia²⁻¹¹, siendo la disminución de la temperatura (T) el efecto principal a partir del cual, se generan otros cambios en diferentes tejidos y/o sistemas. La disminución de la T depende de la capacidad de la modalidad para absorber y transferir calor a los tejidos, del tiempo de aplicación, el tipo de modalidad utilizada y la actividad efectuada después del enfriamiento¹.

Las modalidades de enfriamiento varían en cuanto a sus características intrínsecas y propiedades termodinámicas (tamaño, calor específico, punto de fusión, etc.). Entre las más usadas están la inmersión en hielo, la inmersión en agua helada, el hielo húmedo, el paquete de agua y alcohol, el paquete de hielo, el paquete de gel, los aparatos de frío y el masaje con hielo¹.

Se han realizado diversos estudios para comparar la eficacia de estas modalidades para disminuir la temperatura de la piel (TP) e intramuscular durante el período de enfriamiento^{7-9,11-13}. De otro lado, existen pocos estudios que analicen la efectividad de una o varias modalidades para mantener el enfriamiento durante la etapa de recalentamiento o post-enfriamiento, aspecto importante a considerar durante el análisis de la duración de los efectos de la crioterapia. Adicionalmente, en la mayoría de estos estudios, el

recalentamiento se ha analizado mientras el sujeto permanece en reposo^{7,10,12-14}, excepto en uno¹⁵ en el que se consideró la realización de actividad física después del enfriamiento.

Myrer y cols.⁷ no encontraron diferencias significativas entre paquete de hielo (PH) e inmersión en agua helada (IAH) en cuanto a su eficiencia para disminuir la T intramuscular durante el período de aplicación; no obstante, la T subcutánea mostró mayor disminución con la aplicación de PH, hallazgo que coincidió con el de Kennet y cols.¹². Adicionalmente, durante el período de reposo post-enfriamiento, el grupo de IAH continuó disminuyendo la T en contraste con el de PH, cuya T empezó a aumentar de modo inmediato al retiro de la modalidad. En otro estudio, Zemke y cols.⁸ no hallaron diferencias entre el PH y el criomasaaje (CM), respecto a su capacidad para disminuir y mantener la disminución de la T intramuscular, sin embargo el grupo CM, logró una disminución más rápida de la T. Así mismo, Johnson y cols.¹⁰ determinaron que después de 4 horas de reposo post enfriamiento, la temperatura intramuscular de la pierna previamente tratada con IAH 30 minutos, no se recuperaba completamente, probablemente debido al largo período de inactividad mantenido durante el recalentamiento.

De otro lado, Myrer y cols.¹⁵ compararon el efecto del reposo y el ejercicio moderado sobre la recuperación de la temperatura durante el recalentamiento en sujetos previamente tratados con PH por 20 minutos. Los resultados mostraron que después de la crioterapia, la T intramuscular seguía disminuyendo en los sujetos que permanecieron 30 minutos en reposo. Por otro

lado, el grupo que realizó ejercicio moderado durante el periodo de recalentamiento no mostró diferencias entre las temperaturas basales y las registradas después del ejercicio. Este estudio concluyó que el ejercicio realizado después de la crioterapia, acelera de modo importante el recalentamiento de los tejidos, limitando la duración de los efectos de esta modalidad.

Por último, un estudio realizado por Long y cols.¹⁶ en el que se aplicó un PH luego de un periodo de reposo o uno de ejercicio físico, permitió concluir que el ejercicio realizado antes de la aplicación de la crioterapia, aumenta considerablemente el efecto del enfriamiento sobre el tejido muscular.

En conclusión, existen varias modalidades de aplicación de la crioterapia, cuyas propiedades termodinámicas determinan la intensidad del enfriamiento en los tejidos tratados. La duración de tales efectos parece estar influenciada por la actividad que se realiza después de la intervención, pero la evidencia que existe sobre esta temática es reducida, por lo cual se requieren nuevos estudios que contribuyan en este conocimiento y en la determinación de los parámetros y criterios de aplicación de la crioterapia. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar los efectos de la aplicación de tres modalidades de enfriamiento sobre la TP y su variación, según la actividad realizada durante el recalentamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental con tres grupos de intervención: PH, IAH y CM. Las variables explicatorias fueron la modalidad de la crioterapia, el tipo de actividad post-enfriamiento y el tiempo de medición. Las variables de salida fueron la temperatura de la piel (TP) y la temperatura de la modalidad (TM).

Sujetos

La muestra estuvo conformada por 36 sujetos sanos (18 mujeres y 18 hombres) con edad promedio de $20,5 \pm 1,9$ años e índice de masa corporal (IMC) de $22,4 \pm 1,6$, sin presencia de lesiones previas en las extremidades inferiores. Inicialmente se aplicó un cuestionario para confirmar el cumplimiento de los criterios de inclusión. Los individuos se excluyeron en caso de presentar reacción adversa al frío, fenómeno de Raynaud, crioglobulinemia, embarazo, menstruación, índice de masa corporal (IMC) <20 o >25 , enfermedad vascular periférica o cardiovascular, patología neurológica o muscular e historia de alcoholismo o tabaquismo.

Adicionalmente, se les solicitó a los participantes evitar el consumo de alimentos y de café mínimo dos y cuatro horas antes del experimento respectivamente, y evitar realizar ejercicio físico cuatro horas antes de participar en el estudio.

La investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad Industrial de Santander, según resolución número 18/2006 y previamente a su participación en el estudio, cada sujeto firmó un consentimiento informado.

Instrumentos

Se registró la TP y la TM con dos termómetros infrarrojos (Cooper Temp 480 y Raytek STTM PRO) que presentan una precisión de 1°C y alta reproducibilidad (CCI: 0,97), validez ($r=0,92$) y sensibilidad al cambio (índice de cambio: 4,2), según lo informado en la literatura^{17,18}. Se utilizaron tres modalidades de crioterapia: PH (bolsa plástica de $18*8\text{cm}$ sin aire que contenía 279g de hielo), el CM se realizó con un bloque de hielo (279g con medidas de $8*10*5\text{cm}$) y la IAH se realizó en un recipiente de acrílico ($20*35*30\text{cm}$), donde se colocaba agua más hielo hasta obtener una temperatura de 10°C . Todas las modalidades de crioterapia fueron preparadas con 4 horas de anticipación en un congelador a una temperatura de -31°C .

Procedimiento

Los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente para recibir una de las tres modalidades de enfriamiento y se dieron instrucciones previas para la utilización de ropa cómoda (camiseta y pantaloneta) y el seguimiento de las recomendaciones antes mencionadas, las cuales fueron verificadas el día del experimento. Inicialmente se registró la talla y el peso para establecer el IMC. El protocolo de intervención se aplicó en el horario comprendido entre las 2 y 6 de la tarde, con el objetivo de controlar las variaciones de temperatura corporal influenciadas por el ciclo circadiano. La temperatura del laboratorio se mantuvo constante a $24 \pm 0,083^{\circ}\text{C}$, sin variaciones estadísticamente significativas ($p=0,29$).

Para la determinación de la zona de enfriamiento del CM y del PH, los sujetos permanecieron en posición prona con los pies por fuera de la camilla. Se midió el punto medio de la pantorrilla, tomando como referencias la zona más prominente del maléolo externo y de la cabeza del peroné. Luego se proyectó una línea desde el punto medio hacia la parte posterior de la pierna. Este punto se hizo coincidir con el centro de un molde de acetato rectangular de $18 * 8 \text{ cm}$ y se demarcaron los bordes. El centro de esta área también fue seleccionado como

sitio de medición de la TP, mediante un termómetro infrarrojo colocado en forma perpendicular a la piel.

El protocolo se dividió en 3 fases: aclimatación, enfriamiento y recalentamiento. Durante la aclimatación, los sujetos permanecieron en reposo en una camilla, en posición prona durante 15 minutos.

En la fase de enfriamiento se aplicó la modalidad de crioterapia asignada aleatoriamente, durante 15 minutos. El PH y el CM se aplicaron en la zona determinada previamente (**Figura 1**); este último con desplazamientos longitudinales ininterrumpidos. Para la IAH el sujeto introdujo la pierna hasta el límite superior del rectángulo definido para la aplicación de las otras dos modalidades (**Figura 1**).



Figura 1. Zona definida para la aplicación de las modalidades. A: Aplicación del masaje con hielo. B: Aplicación de la bolsa de hielo picado. C: Inmersión en agua helada.

Finalmente, para la etapa de recalentamiento, los integrantes de cada grupo de intervención fueron nuevamente aleatorizados para definir la actividad post-enfriamiento: la mitad de cada grupo (6 sujetos) permaneció en reposo en posición prona en una camilla, sin realizar ningún tipo de actividad durante 30min (reposo); la otra mitad (6 sujetos), realizó marcha en un área de 9,45m² durante 15min, a una velocidad de 90beats/min, controlada mediante un metrónomo y en

seguida, se mantuvieron en reposo en posición prona durante 15min adicionales (marcha y reposo).

La T del PH y del bloque de hielo utilizado para el CM se midió colocando el termómetro en el centro de cada uno de ellos. En el caso de la IAH, la T del agua se midió introduciendo totalmente la termocoupla en el centro del recipiente. Las mediciones de la TP y la TM durante las tres fases del estudio, fueron realizadas por el mismo investigador para reducir su variabilidad, en los tiempos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de medición de la temperatura de la piel y de la modalidad de enfriamiento

Fase del estudio	Aclimatación (15 min)		Enfriamiento (15 min)			Recalentamiento (30 min)	
	0	15min	5min	10min	15min	15min	30min
Tiempo de medición		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Temperatura de la modalidad							
Temperatura de la piel							

La zona sombreada corresponde a los tiempos en los cuales se realizó la medición de la temperatura de la piel y/o de la modalidad de enfriamiento.

Análisis

Inicialmente se describió la población de estudio en sus características sociodemográficas según la naturaleza y distribución de cada variable, aplicando medidas de

tendencia central y dispersión o tablas de frecuencia, de acuerdo con su escala de medición; la comparación de estas variables por grupo de intervención se evaluó mediante un análisis de varianza (ANOVA). Para

comparar las diferencias antes del enfriamiento y al final de la etapa de recalentamiento, para la TP y TM se aplicó una t de Student apareada.

La comparación de los promedios de la TP y TM por cada tiempo de medición, fase y grupo de intervención, se realizó aplicando un ANOVA de mediciones repetidas. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software STATA 9,0 con un $\alpha=0,05$.

RESULTADOS

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos experimentales al comparar la edad, el peso, la talla e IMC ($p>0,30$).

TM durante la fase de enfriamiento

Las temperaturas de las tres modalidades antes del enfriamiento fueron $-2,7 \pm 4,5^{\circ}\text{C}$, $2,9 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ y $8,9 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$ para el CM, PH e IAH respectivamente. El análisis de varianza de mediciones repetidas mostró la mayor variación en la TM durante la fase de enfriamiento para el hielo usado en el CM ($\Delta +4,7^{\circ}\text{C}$, $p<0,0001$), seguido de IAH ($\Delta -1,14$ $p=0,015$); el PH no registró diferencias estadísticamente significativas ($\Delta -0,1$, $p=0,96$). (Figura 2).

TP durante la fase de enfriamiento

Se encontró una diferencia significativa entre las TP medidas al inicio y durante la fase de enfriamiento (T1-T4), en los tres grupos de crioterapia ($p<0,0001$); sin embargo, los mayores cambios se observaron en la TP de los sujetos que recibieron CM ($-27,6^{\circ}\text{C}$), seguidos de los que recibieron PH ($-24,4^{\circ}\text{C}$) e IAH ($-18,3^{\circ}\text{C}$) (Figura 3).

TP durante el periodo de recalentamiento

Se registraron diferencias significativas entre las tres mediciones de TP realizadas en la fase de recalentamiento (T4 – T5 y T6) en los tres grupos de crioterapia ($p<0,0001$). Así mismo, al comparar T4 vs. T6 (Tabla 2, Figura 4) se encontró una recuperación significativa de la TP al finalizar la fase de recalentamiento, para los dos tipos de actividad post-enfriamiento y todas las modalidades de enfriamiento. Esta recuperación en la TP fue menor para los sujetos del grupo IAH, tanto en el grupo que permaneció todo el tiempo en reposo como en el que realizó marcha seguida de reposo. Adicionalmente, los sujetos que realizaron marcha seguida de reposo mostraron mayor recuperación de la TP, independientemente de la modalidad aplicada previamente. (Tabla 2, Figura 4).

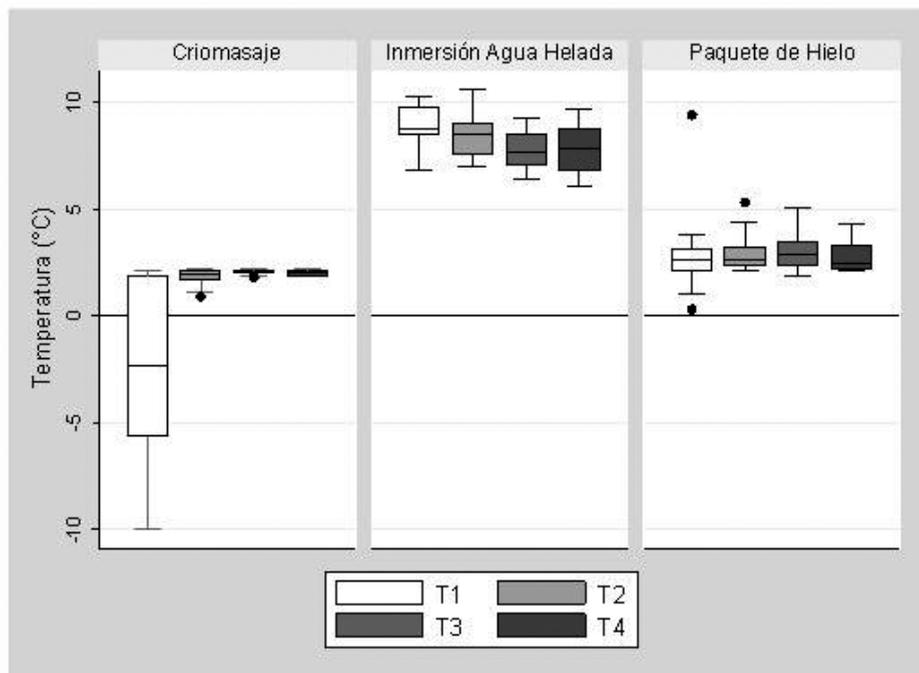


Figura 2. Variación de la temperatura de la modalidad durante la fase de enfriamiento. La temperatura fue medida al inicio del enfriamiento (T1) y cada cinco minutos durante la fase de enfriamiento (T2, T3 y T4).

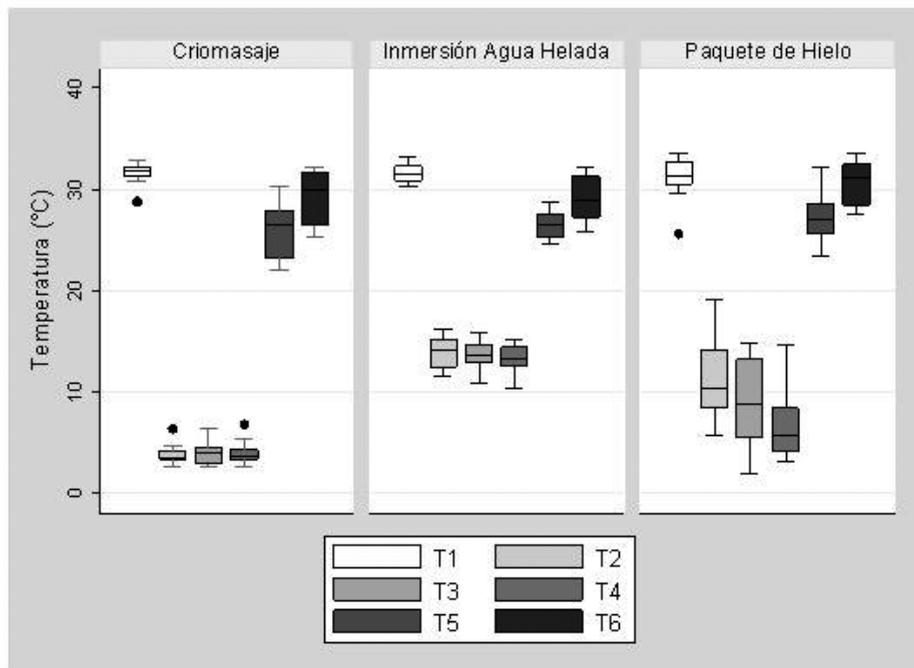


Figura 3. Variación de la temperatura de la piel durante las tres fases del protocolo, según grupo de intervención (n=12). Se muestran las distribuciones de la temperatura de la piel registrada inmediatamente antes del enfriamiento (T1), durante el enfriamiento cada cinco minutos (T2, T3 y T4) y durante el recalentamiento: quince y treinta minutos post-enfriamiento (T5 y T6).

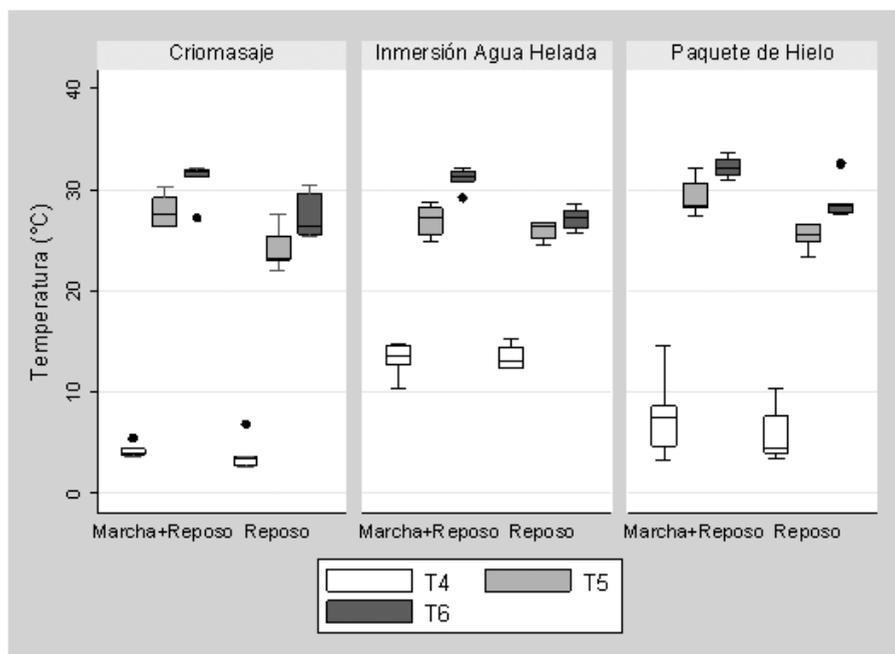


Figura 4. Variación de la temperatura de la piel durante la fase de recalentamiento registrada en los tres grupos de intervención, según la actividad post-enfriamiento (n=6). Se muestran las distribuciones de la temperatura de la piel al final del enfriamiento (T4) y a los quince y treinta minutos del recalentamiento (T5 y T6).

Tabla 2. Variaciones en la temperatura de la piel durante la fase de recalentamiento según la actividad post-enfriamiento.

Grupo	Temperatura (media ± DE)			
	Tiempo	Criomasaaje	Paquete de Hielo	Inmersión
Reposo N=6	T4	3,8 ± 1,5	5,7 ± 2,7	13,4 ± 1,1
	T5	24,1 ± 2,0	25,4 ± 1,2	26 ± 0,9
	T6	27,3 ± 2,1	28,9 ± 1,8	27,2 ± 1
	Δ T6 – T4	23,5 ± 1,9**	23,2 ± 1,6**	13,8 ± 1,1 *
Marcha + reposo N=6	T4	4,2 ± 0,7	7,6 ± 3,9	13,2 ± 1,6
	T5	27,9 ± 1,6	29,2 ± 1,8	27 ± 1,6
	T6	31 ± 1,8	32,2 ± 1	31,1 ± 1,1
	Δ T6 – T4	26,8 ± 1,6**	24,6 ± 4,3 **	17,9 ± 1,6**

* $p=0,005$; ** $p < 0,0001$

Se presentan los promedios y DE de la temperatura de la piel, registradas al inicio de la etapa de recalentamiento (T4) y a los quince y treinta minutos de dicha etapa (T5 y T6), según la actividad post-enfriamiento en cada grupo de intervención. También se comparan las diferencias entre los promedios de las temperaturas registradas al inicio y al final de la fase de recalentamiento ($\Delta T6 - T4$).

Variación en la TP pre-enfriamiento (T1) y al finalizar el recalentamiento (T6)

En la (Tabla 3) se muestran los resultados de las mediciones de la TP realizadas antes del enfriamiento y al final del recalentamiento, así como las variaciones obtenidas según la actividad post-enfriamiento, encontrando las mayores diferencias para los grupos que permanecieron todo el tiempo en reposo y que fueron tratados con CM e IAH previamente (4,1 ± 2,1°C y 4,3 ± 1,9°C, respectivamente).

Independientemente de la modalidad aplicada, los sujetos que permanecieron todo el tiempo en reposo durante el recalentamiento no recuperaron la temperatura pre-enfriamiento. Sin embargo, los participantes que recibieron CM o IAH y realizaron marcha más reposo, registraron temperaturas cercanas a las de pre-enfriamiento, mientras que los del grupo PH superaron ligeramente la temperatura pre-enfriamiento (0,2± 1,6°C).

Tabla 3. Diferencias entre la temperatura de la piel pre-enfriamiento y al finalizar el recalentamiento, según la actividad post-enfriamiento.

Grupo	Temperatura (media ± DE)			
	Tiempo	Criomasaaje	Paquete de Hielo	Inmersión
Reposo (n=6)	T1	31,4 ± 1,1	30,2 ± 2,1	31,9 ± 0,9
	T6	27,3 ± 2,1	28,9 ± 1,9	27,2 ± 1,1
	Δ T6 – T1	-4,1 ± 2,1*	-1,3 ± 2,6	-4,3 ± 1,9**
Marcha + reposo (n=6)	T1	31,7 ± 1,1	32 ± 2,1	31,7 ± 0,9
	T6	31 ± 1,9	32,2 ± 1	31,1 ± 1
	Δ T6 – T1	-0,7± 1,9	0,2 ± 1,6	-0,6 ± 1,1

* $p=0,005$; ** $p=0,003$

Se presentan los promedios y DE de la temperatura de la piel, registradas antes del enfriamiento (T1) y al final del recalentamiento (T6), según la actividad post-enfriamiento en cada grupo de intervención. También se comparan las diferencias entre los promedios de dichas temperaturas ($\Delta T6 - T1$).

DISCUSIÓN

La comparación de las características antropométricas y sociodemográficas iniciales de los participantes no demostró diferencias entre los tres grupos de intervención. Sin embargo, para la interpretación de los resultados es importante tener en cuenta la comparabilidad de las tres modalidades en cuanto al área de enfriamiento, pues en tanto que el CM y PH se ubicaron en la misma área de la pantorrilla (144cm²), la IAH incluyó el pie y la pierna hasta el tercio proximal (dependiendo de la longitud de la pierna de cada sujeto). Además, estas modalidades tienen diferencias en cuanto a sus características físicas, pues en el caso del CM y PH el intercambio de calor se da por conducción, mientras que en la IAH intervienen la conducción y la convección⁸. Estos aspectos permiten explicar que aunque las tres modalidades son eficientes para inducir una disminución en la TP, la magnitud y duración de sus efectos pueden ser diferentes.

Las tres modalidades de enfriamiento indujeron un patrón similar de disminución de la TP, coincidiendo con lo encontrado en el trabajo realizado por Kanlayanaphotporn⁹, en el cual la mayor reducción se dio al inicio de la aplicación. Este comportamiento se explica por los mecanismos de transferencia espontánea y por las estrategias de termorregulación corporal, las cuales se activan desde el momento en que la piel entra en contacto con la modalidad¹⁹. Como resultado de la aplicación de frío, se estimulan los receptores térmicos cutáneos que conducen la información hacia el centro termorregulador corporal, el cual activa las respuestas fisiológicas respectivas^{20,21}.

Debido a que el enfriamiento fue local, posiblemente la principal respuesta fue la vasoconstricción, la cual está regulada por la acción de la norepinefrina (NE) en los vasos sanguíneos periféricos y en el hipotálamo, estimulando receptores adrenérgicos α -1 en las neuronas termosensibles al frío^{22,23}. En el caso de la IAH este proceso probablemente afectó a un mayor número de vasos sanguíneos generando variaciones en los niveles de NE^{24,25}, debido a la mayor superficie de enfriamiento, comparada con las otras modalidades.

Los resultados del presente trabajo mostraron una variación en la TM a lo largo del tiempo de aplicación, así como disminución en la TP donde éstas fueron administradas. Como se señaló previamente, la principal forma de transferencia de calor de estas modalidades es la conducción, la cual está determinada por la ley de Fourier. Esta ley establece que hay proporcionalidad entre el flujo de energía (energía por unidad de área y por unidad de tiempo) y el gradiente de T. Esta ley se cumplió en el presente estudio porque la modalidad que

inició con la menor temperatura pre-enfriamiento fue el hielo usado para el CM, por lo tanto en este grupo se encontró el mayor gradiente entre la TM y la TP (34,3°C) induciendo una mayor disminución de la TP, a diferencia de lo sucedido en la IAH donde el gradiente de T fue de 22,7°C y presentó una menor reducción de la TP.

En el caso del CM se observó una tendencia al incremento en la T del hielo a través del tiempo de aplicación. Esto se puede explicar porque el agua en su fase sólida tiene una T menor a 0°C y al entrar en contacto con la piel, se genera un sistema entre las dos superficies con un gradiente de T a favor de la piel del sujeto; para equilibrar este sistema la piel cede calor al hielo. Las moléculas del hielo en contacto directo con la pierna cambian su estado sólido a líquido y a su vez, esas moléculas se reemplazan por las más próximas, haciendo que la absorción continua de calor promueva la disminución en la TP. Al inicio, esta transferencia se da en forma rápida debido al alto gradiente entre las dos superficies, pero posteriormente se estabiliza la T del sistema. Estos factores explican por qué CM fue la modalidad que logró la mayor disminución de la TP, sumado a sus propiedades termodinámicas (punto de fusión y calor específico), las cuales determinan su capacidad para disminuir la T de los tejidos^{9,11}.

De otra parte, no se registró una variación estadísticamente significativa en la T del PH, manteniéndose muy estable durante la fase de enfriamiento, porque el hielo al recibir el calor suficiente de la piel para alcanzar su punto de fusión, comienza a pasar a estado líquido y posteriormente, la temperatura del sistema generado al interior de la bolsa se estabiliza, a pesar de que se continúa adicionando energía. En consecuencia, el enfriamiento que produce en la piel es menor. Los resultados del presente trabajo no coinciden con los hallazgos de estudios previos^{9,11,12} quienes al comparar diversas modalidades de enfriamiento han mostrado la mayor eficiencia en el enfriamiento con el PH.

La T del agua helada inició con la mayor temperatura pre-enfriamiento y consecuentemente con menor gradiente entre la TM y TP, pero luego registró una tendencia a la disminución. Este comportamiento se puede explicar porque en este tipo de enfriamiento intervienen dos sistemas: el primero conformado por el hielo y el agua y el segundo, por el agua helada y la piel del sujeto. Así, para que se dé la transferencia de calor en el segundo, es necesario que el primero haya alcanzado el equilibrio térmico. Luego, el hielo al estar en contacto directo con el agua, absorbe por conducción el calor necesario para alcanzar su punto de fusión, cambiando a estado líquido y disminuyendo a lo largo del tiempo la T del agua. Por las razones señaladas la

IAH disminuyó menos la TP de los sujetos, a pesar de que la zona de contacto expuesta al enfriamiento fue mayor.

Con respecto al periodo de recalentamiento, los resultados del estudio muestran que la TP aumenta rápidamente una vez se retiran las tres modalidades de enfriamiento, independiente de la actividad realizada, siendo mayor en los sujetos que realizaron marcha más reposo. Este resultado, evidencia que la actividad física realizada después del enfriamiento acelera el recalentamiento de la piel. Este mecanismo se da por la acción del Sistema Nervioso Autónomo y la actividad muscular consciente. Así, la marcha de intensidad moderada que realizaron los sujetos del grupo marcha más reposo produce energía calórica proveniente de las reacciones químicas requeridas para sintetizar y usar ATP en los músculos activos; adicionalmente, el calor proveniente de los músculos podría ser transferido por mecanismos de conducción hacia la piel aumentando su T²⁶. Aunque no totalmente comparables por el tipo de T medida, nuestros resultados coinciden con otros estudios^{15,26}, donde se reportaron mayores incrementos en las T superficial e intramuscular en sujetos que realizan actividad física después del enfriamiento, comparado con la permanencia en reposo.

A pesar que hubo aumento significativo en la TP durante el recalentamiento en todos los grupos de modalidad, éste fue menor para aquellos que habían recibido IAH, independientemente del tipo de actividad post-enfriamiento realizada, mostrando una mayor capacidad de esta modalidad para mantener el enfriamiento de los tejidos; ésta observación coincide con el estudio de Jonson y cols.¹⁰. Una de las posibles explicaciones para esta observación fue la mayor superficie de contacto entre la piel y el agua helada, y por tanto un gran número de vasos que presentaron vasoconstricción y un mayor número de receptores cutáneos estimulados^{24,25}, hecho que posiblemente logró también disminuir la T de los tejidos circundantes y profundos de la zona de aplicación; todo lo anterior se tradujo en una menor transferencia de calor desde estos tejidos hacia el sitio de registro durante el periodo de recalentamiento^{27,28}.

Adicionalmente, al comparar las T en los grupos de marcha más reposo y reposo, en las tres modalidades antes del enfriamiento y al finalizar el recalentamiento, se observó que en el grupo de reposo no se alcanzó la T pre-enfriamiento, resultado coincidente con otros estudios^{10,12-15}; lo anterior se pudo presentar porque al permanecer todo el tiempo en reposo durante el recalentamiento no se presentaron los efectos producidos por la actividad muscular consciente, los cuales pueden ser tan grandes como para revertir los efectos del enfriamiento²⁶.

La selección de una muestra homogénea tuvo como fin asegurar que los resultados encontrados se derivaran principalmente de las diferencias entre las modalidades aplicadas y no de las características individuales de los sujetos; sin embargo, esta característica de la población limita la extrapolación de los resultados a otros grupos etéreos y a personas que presentan patologías y podría ser considerada como una limitación de este estudio. En relación con los parámetros de aplicación de las modalidades utilizadas en nuestro trabajo, es importante tener en cuenta que aunque existe similitud entre el área de enfriamiento del CM y el PH, éstas difieren sustancialmente de la IAH, cuya aplicación incluyó el pie y gran parte de la pierna.

Finalmente, es importante mencionar que este estudio comparó la efectividad de las modalidades de enfriamiento considerando los cambios en la temperatura cutánea. Aunque la variación de la TP se relaciona estrechamente con los cambios en la temperatura de los tejidos subcutáneos, no los representa de manera adecuada¹⁴. Por tanto, es necesario corroborar nuestros hallazgos realizando investigaciones futuras en las que se analice la variación de la temperatura registrada directamente en tejidos subcutáneos.

Implicaciones clínicas

Las diferencias en la velocidad y magnitud del enfriamiento de cada modalidad utilizada en este estudio ofrecen bases físicas y fisiológicas para la utilización de la crioterapia en diferentes condiciones clínicas. De acuerdo con nuestros resultados, podría sugerirse la utilización del CM y el PH en alteraciones músculo esqueléticas agudas, debido a su capacidad para enfriar rápidamente los tejidos, previniendo la lesión hipóxica secundaria, limitando la formación de edema y disminuyendo el espasmo muscular. De otro lado, en situaciones clínicas que requieran una mayor duración de los efectos del enfriamiento, como la hipertonia, probablemente resulte más eficaz la aplicación de la IAH. Se recomienda la realización de futuras investigaciones que comparen la eficacia del enfriamiento derivado de estas modalidades de crioterapia en diversas condiciones clínicas. Nuestros hallazgos también soportan el uso de la criocinética, pues los efectos terapéuticos derivados del enfriamiento, como la disminución del dolor, favorecen la realización de ejercicio terapéutico, fundamental para una rápida recuperación después de la lesión.

Dado que el presente trabajo se realizó en una población de sujetos sanos y jóvenes, se recomienda la realización de investigaciones dirigidas a examinar los efectos de las modalidades de enfriamiento en sujetos con algún tipo de lesión y de diferentes grupos etéreos. Así mismo,

sería conveniente explorar los efectos de las diferentes modalidades aplicadas en áreas y volúmenes diferentes, sobre la T intramuscular.

CONCLUSIONES

Las tres modalidades analizadas en este estudio indujeron una disminución significativa de la TP, con diferencias en cuanto a la magnitud y velocidad de enfriamiento, siendo el CM el que causó mayor enfriamiento en el menor tiempo, seguido del PH y la IAH.

La realización de marcha de intensidad moderada indujo una mayor recuperación de la TP en comparación con el reposo, lo cual podría restringir la duración de los efectos terapéuticos del enfriamiento. La IAH fue la modalidad que mantuvo por mayor tiempo el enfriamiento. Treinta minutos no fueron suficientes para recuperar los valores iniciales de la TP.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por la Universidad Industrial de Santander

CONFLICTOS DE INTERES

Los autores manifiestan no tener conflicto de interés alguno para la realización de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Knight K. Sport injury management. United States of America. Human Kinetics; 1995.
2. Ruiz D, Myrer J, Durrant E, Fellingham G. Cryotherapy and sequential exercise bouts following cryotherapy on concentric and eccentric strength in the quadriceps. *J Athl Train* 1993; 28: 320-323.
3. Palmieri R, Craing J, Leonard J, Edwards J, Weltman A, Ingersoll C. Peripheral ankle cooling and core body temperature. *J Athl Train* 2006; 41:185-188.
4. Galvan H, Tritsch A, Tandy R, Rubley M. Pain perception during repeated ice-bath immersion of the ankle at varied temperatures. *J Sport Rehabil* 2006; 15: 105-115.
5. Enwemeka C, Allen C, Avila P, Bina J, Konrade J, Munns S. Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 45-50.
6. Rubley M, Denegar C, Buckley W, Newell K. Cryotherapy, sensation, and isometric-Force variability. *J Athl Train* 2003; 38:113-119.
7. Myrer J, Measom G, Fellingham G. Temperature changes in the human leg during and after two methods of cryotherapy. *J Athl Train* 1998; 33: 25-29.
8. Zemke J, Andersen J, Guion W, McMillan J, Joyner A. Intramuscular temperature responses in the human leg to two forms of cryotherapy: ice massage and ice bag. *J Orthop Sport Phys Ther* 1998; 27: 301-307.
9. Kanlayanaphotporn R, Janwantanakul P. Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86: 1411-1415.
10. Johnson D, Moore S, Moore J, Oliver R. Effect of cold submersion on intramuscular temperature of gastrocnemius muscle. *Phys Ther* 1979; 59: 1238-1242.
11. Merrick M, Jutte L, Smith M. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train* 2003; 38: 28-33.
12. Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train* 2007; 42: 343-348.
13. Belitsky R, Odam S, Hubble-Cosey C. Evaluation of the effectiveness of wet ice, dry ice, and cryogen packs in reducing skin temperature. *Phys Ther* 1987; 67: 1080-1084.
14. Jutte L, Merrick M, Ingersoll C, Edwards J. The relationships between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82: 845-850.
15. Myrer W, Meason G, Fellingham G. Exercise after cryotherapy greatly enhances intramuscular rewarming. *J Athl Train* 2000; 35: 412-416.
16. Long B, Cordova M, Brucker J, Demchak T, Stone M. Exercise and Quadriceps Muscle Cooling Time. *J Athl Train* 2005; 40:260-263.
17. Burnham R, Mckinley R, Vicent D. Three Types of Skin-Surface Thermometers: A Comparison of Reliability, Validity, and Responsiveness. *J Med Phys Rehabil* 2006; 85: 553-558.
18. Buono M, Jechort A, Marques R, Smith C, Welch J. Comparison of infrared versus contact thermometry for measuring skin temperature during exercise in the heat. *Physiol Meas* 2007; 28: 855-859.
19. Sawasaki N, Iwase S, Mano T. Effect of skin sympathetic response to local or systemic cold exposure on thermoregulatory functions in humans. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 2001; 87: 274 -281.

20. Bratincsák A, Palkovits M. Activation of brain areas in rats following warm and cold ambient exposure. *Neuroscience* 2004; 127: 385-397.
21. Griffin J. Central thermosensitivity and the integrative responses of hypothalamic neurons. *Thermal Biol* 2004; 29: 327-331.
22. Saito T, Ishiwata T, Hasegawa H, Nomoto S, Otokawa M, Aihara Y. Changes in monoamines in rat hypothalamus during cold acclimation. *J Thermal Biol* 2005; 30: 229-235.
23. Mallick B, Jha S, Islam F. Presence of α -1 adrenoreceptors on thermosensitive neurons in the medial preoptico-anterior hypothalamic area in rats. *Neuropharmacologic* 2002; 42: 697-705.
24. Mercer J, Simon E. Lessons from the past-human animal thermal physiology. *Thermal Biol* 2001; 26: 249-253.
25. Roberts M, Rivers T, Oliveria S, Texeira P, Raman E. Adrenoceptor and local modulator control of cutaneous blood flow in thermal stress. *Comp Biochem Physiol Part A* 2002; 131: 485-496.
26. Bender A, Kramer E, Brucker J, Demchak T, Cordova M, Stone M. Local ice-bag application and triceps surae muscle temperature during treadmill walking. *J Athl Train* 2005; 40: 271-275.
27. Myrer J, Myrer K, Measom G, Fellingham G, Evers S. Muscle temperature is affected by overlying adipose when cryotherapy is administered. *J Athl Train* 2001; 36: 32-36.
28. Janský L, Matoušková E, Vávra V, Vybíral S, Janský P, Jandová D, et al. Thermal, Cardiac and Adrenergic Responses to Repeated Local Cooling. *Physiol Research* 2006; 55: 543-549.