

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**TRABAJO FIN DE GRADO EN FISIOTERAPIA**



**Respuesta hemodinámica regional inducida por frío: un estudio fNIR.**

**AUTOR: PAMIES RAMÓN, LAURA.**

**Nº expediente: 1010**

**TUTOR: MARÍA ISABEL TOMÁS.**

**COTUTOR: JOAQUÍN BALLESTEROS IBAÑEZ.**

**Departamento y Área: PATOLOGÍA Y CIRUGÍA. ÁREA DE FISIOTERAPIA.**

**Curso académico 2016- 2017**

**Convocatoria de Junio.**



## ÍNDICE:

0. Resúmenes (español e inglés).....	1
1. Introducción.....	2
1.1. Crioterapia.....	2
1.2. Lesión tisular.....	3
1.3. Métodos crioterápicos.....	3
1.4. Espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIR).....	4
2. Hipótesis del trabajo y objetivos.....	4
3. Material y métodos.....	5
3.1. Población.....	5
3.2. Recursos materiales.....	6
3.3. Variables analizadas.....	6
3.4. Protocolo experimental.....	7
3.5. Análisis de datos.....	8
4. Resultados.....	9
5. Discusión.....	11
6. Conclusiones.....	14
7. Referencias bibliográficas.....	14
8. Anexo de figuras.....	17
9. Anexo de tablas.....	30

## 0. ABSRACT:

**Introduction:** Near-infrared functional spectroscopy (fNIR) allows the measurement of relative changes in the concentration of oxygenated and reduced hemoglobin, allowing the inferring of hemodynamics and regional vaso-motor skills of living tissues. **Objective:** To evaluate the hemodynamic effect by means of fNIR, of the application of cold in healthy volunteers. **Materials and methods:** Experimental study in which cold (ice and coldpack) was applied to the leg while locally fNIR signal was recorded, plus the systemic measurement of skin temperature, blood pressure and oxygen saturation (SO<sub>2</sub>). **Results:** The fNIR device was able to detect hemodynamic changes in muscle tissue submitted to cooling, manifested as extensive cycles of vasodilation/vasoconstriction, with no changes in systemic parameters detected. **Conclusion:** fNIR could be a valuable tool to measure the hemodynamic response during cold application and to better assess the limits of cryotherapy.

## 0. RESUMEN:

**Introducción:** La espectroscopia funcional de infrarrojo cercano (fNIR) permite medir cambios relativos en la concentración de hemoglobina oxigenada y reducida permitiendo inferir la hemodinámica y vaso-motricidad regional de los tejidos vivos. **Objetivo:** Valorar el efecto hemodinámico mediante fNIR, de la aplicación de frío en voluntarios sanos. **Materiales y métodos:** Estudio experimental en el que se aplicó frío (hielo y coldpack), en la pierna mientras se registraba localmente señal fNIR, más la medición sistémica de temperatura cutánea, presión arterial y la saturación de oxígeno (SO<sub>2</sub>). **Resultados:** El dispositivo fNIR ha sido capaz de detectar cambios hemodinámicos en el tejido muscular sometido a enfriamiento, manifestados como amplios ciclos de vasodilatación/vasoconstricción, sin que se detectaran cambios en parámetros sistémicos. **Conclusión:** FNIR podría ser una herramienta valiosa para medir la respuesta hemodinámica durante aplicación de frío y valorar mejor los límites de la crioterapia.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. CRIOTERAPIA.**

La crioterapia es el uso del frío con finalidad terapéutica (Arenas, et al, 2005) y varios autores lo consideran uno de los medios más usados para el tratamiento del dolor de origen musculoesquelético. (Cherterton LS et al. 2002)

La eficacia del enfriamiento depende del método, tiempo y área de aplicación (Algafy AA et al. 2007). También depende de la temperatura de la superficial de la piel y de la cantidad de tejido adiposo del individuo ya que es posible que exista una interferencia entre la captación térmica y el tejido adiposo. En consecuencia, sujetos con un mayor pliegue cutáneo necesitan un mayor tiempo de aplicación de crioterapia para producir los mismos efectos de cambio de temperatura en el tejido. (Saeki Y, 2002)

Gran parte de la bibliografía apoya que la crioterapia tiene como finalidad el alivio del dolor y/ o la reducción del edema a través de la generación de una respuesta tisular, fundamentada en la transferencia térmica de energía calorífica que generará diversas respuestas fisiológicas (Cherterton LS, 2002): reducción de la velocidad de conducción nerviosa, actividad metabólica encimar, inhibición de los nociceptores (Algafy AA et al. 2007) y reducción del flujo sanguíneo local. (Cameron MH, 1999) seguida de una vasodilatación y una disminución de la inflamación. (Arenas J., 2003)

En esta inhibición de los nociceptores se basa el efecto analgésico que se le atribuye a la crioterapia, asociado a una disminución de la velocidad de conducción nerviosa del axón debido a un retraso en la apertura y cierre de canales de sodio (Kiernan M et al. 2001)

La disminución de la tasa metabólica comentada anteriormente reduce la demanda de oxígeno de los tejidos, disminuyendo el riesgo de extensión del tejido lesionado por falta de oxígeno. De esta manera, se reducen al mínimo las probabilidades de una herida hipóxica secundaria de los tejidos debido a la isquemia. (Prentice W, 2001)

Sin embargo, a pesar del conocimiento de sus efectos fisiológicos y de resultar un medio de tratamiento muy extendido con resultados satisfactorios existen muchas controversias respecto a la aplicación y protocolización de la metodología del tratamiento.

## **1.2. LESIÓN TISULAR.**

La crioterapia se usa en la práctica clínica para lesiones en el tejido. La fisiopatología de los tejidos blandos se caracteriza por un aumento de la actividad metabólica, hemorragia, edema e inflamación local. (Brancaccio N et al. 2005)

Ante una lesión de los músculos, tendones, ligamentos y huesos o tejido conjuntivo adyacente y dependiendo del grado de lesión, se afectan los vasos sanguíneos y nervios situados en la zona, causando el “**daño traumático primario**” (Galíndez Ibarbengoetxea, 2004).

Esta lesión causa una hemorragia que junto con un aumento de la viscosidad de la sangre impedirá la oxigenación de los tejidos y causará muerte celular por hipoxia. Éstas células vierten al exterior enzimas que destruyen las membranas de las células que inicialmente no estaban dañadas causando el denominado “**daño traumático secundario**.” (Galíndez Ibarbengoetxea, 2004)

Se produce un edema que favorece la lesión hipóxica secundaria y que influirá en el aumento del dolor por compresión nerviosa.

## **1.3. MÉTODOS CRIOTERÁPICOS.**

Los efectos de la crioterapia están condicionados por aspectos relacionados con la termorregulación corporal y las propiedades termodinámicas de los diferentes métodos crioterápicos. Varios autores atribuyen la eficacia del agente crioterápico a la capacidad de éste para disminuir la temperatura en el tejido. (Chesterton, LS et al. 2002)

Entre las modalidades de crioterapia comercialmente disponibles para realizar aplicaciones terapéuticas, la compresa de hielo y el paquete de gel son las más usadas (Taber C et al. 1992) sin embargo la bibliografía afirma que el paquete de gel es el menos efectivo en la reducción de la temperatura cutánea e intramuscular. (Kennet et al. 2007)

La eficacia que se le atribuye al hielo viene determinada por su mayor capacidad de reducción de temperatura, hecho que puede ser debido al cambio de estado durante su aplicación, lo que propicia un aumento de capacidad para absorber energía térmica (Merrick MA et al. 2003)

A pesar de que la mayoría de los autores afirman que el método más eficaz es el hielo picado, es necesaria más investigación para comparar la diferencia que existen entre los diferentes métodos y establecer un protocolo eficaz para el tratamiento de lesiones.

#### **1.4. ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO (fNIR)**

La espectroscopia de infrarrojo cercano (fNIR) es una tecnología capaz de detectar los cambios de concentración de hemoglobina oxigenada (HbO) y reducida (HbR) en los tejidos vivos. Aprovechando que cada una de estas formas de hemoglobina es sensible a diferentes longitudes de onda en la luz cercana al infrarrojo (Chance, E et al. 1998) es posible medir cambios relativos en las concentraciones de éstas. (M. Cope, 1991).

Tradicionalmente este método ha sido usado principalmente para estudiar la actividad cerebral, sin embargo también puede ser útil en la medición de cambios hemodinámicos en el tejido muscular (Jones, S. et al. 2016). El funcionamiento básico de este tipo de tecnología se basa en la utilización de pares de emisores y receptores de luz cercana al infrarrojo. De esta forma un emisor produce fotones a diferentes longitudes de onda (una para la oxihemoglobina y otra para la hemoglobina reducida) que atraviesan las diferentes capas de tejido (piel, tejido subcutáneo y músculo) hasta llegar a un receptor situado a una distancia variable del emisor (G. Gratton et al. 1995), dependiendo de la distancia emisor-receptor, mayor es la profundidad que alcanzan los fotones. Por tanto la tecnología FNIR constituye un método no invasivo que permite observar cambios en tejidos musculares in vivo de una forma simple y económica.

## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.**

El objetivo principal fue comprobar si el FNIRS es válido para registrar cambios en la perfusión del tejido durante la aplicación de crioterapia.

El objetivo secundario: comparar la eficacia de dos métodos crioterápicos: coldpack y hielo.

Los objetivos anteriormente expuestos podrían servir, una vez analizados los resultados de este estudio para ser utilizados como referencia para el diseño de futuros protocolos de aplicación crioterápica.

Los objetivos específicos:

- a) Registrar y analizar las variaciones temporales de HbO, HbR y oxigenación.
- b) Estimar los cambios de flujo sanguíneo durante y tras la aplicación de crioterapia.
- c) Valorar si la aplicación local de frío provoca cambios sistémicos.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS.**

El estudio se ha realizado en el Dpto. de Fisiología, campus de Sant Joan d'Alacant de la universidad Miguel Hernández, los días 5, 10 y 11 de Abril entre las 9:30 - 12:30 horas.

Este estudio experimental fue aprobado por el comité de ética con el nº de Registro 2017.129.E.OEP; 2017.164.E.OEP y la Referencia DPC.MTR.01.17.

#### **3.1. Población de estudio.**

Muestra de 3 individuos voluntarios, que dieron su consentimiento para participar en el estudio tras recibir información detallada sobre el procedimiento.

Criterios de inclusión:

- Hombres entre 18-35 años
- IMC entre 18.5-25
- No alteraciones en la piel y en la zona a medir (pantorrilla)
- No fumador

Criterios de exclusión:

- Traumatismo o lesión en la zona a medir.
- Enfermedad (Diabetes mellitus, trastornos musculares o neurológicos)

- Hipersensibilidad al frío.
- Enfermedad vascular periférica o cardiovascular.
  - Haber ingerido alcohol o estimulantes o realizado ejercicio físico en las últimas 12 horas.
  - Pliegue cutáneo mayor a 40 cm.

### **3.2. Recursos materiales (Tabla 1):**

Material usado: báscula de composición corporal, tallímetro, cinta perimétrica, pulsioxímetro, tensiómetro, termómetro infrarrojo, fNIRS, y dos ordenadores.

Como material crioterápico se utilizaron bolsas de hielo y compresas de frío reutilizables (coldpack, ref. 10456), con el mismo volumen en ambos casos.

### **3.3. Variables analizadas**

#### **3.3.1 Antropométricas y temperaturas:**

- Edad, peso, altura, % grasa, circunferencia de la pierna, frecuencia cardiaca, presión arterial y saturación de oxígeno.
- Temperaturas: corporal, ambiente, local y contralateral (distal y proximal) y temperaturas iniciales y finales del hielo y coldpack.

#### **3.3.2. FNIR:**

Se utilizó un espectroscopio de luz cercana al infrarrojo de onda continua (longitudes de onda de 740 y 850 nm) con 16 canales cortos y 12 canales profundos (Figura 1). Para los canales cortos la distancia emisor-receptor es de 14 mm, y para los profundos es de 32mm. La profundidad estimada de penetración de la luz es de 0.7 mm y de 16 mm respectivamente. (Figura 1). La frecuencia de muestreo del espectroscopio fue de 10 Hz.

Este equipo ha sido diseñado en el dpto. de Fisiología de la UMH y se ha comprobado que los resultados obtenidos concuerdan con lo esperado según la literatura científica al respecto.

### 3.4. Protocolo experimental:

Previamente, los sujetos cumplimentaron un cuestionario para verificar los criterios de inclusión/exclusión.

Se midió la talla (cm), el peso (Kg), porcentaje de grasa/ IMC., y circunferencia de la pierna en una zona predeterminada a 10 cm de la cabeza del peroné.

Antes de la prueba, se mantuvieron relajados, en decúbito prono, durante 20 minutos en una habitación con temperatura constante entre 21° C y 24°C.

El equipo fNIR se posicionó, en la pierna no dominante, alineando el centro de los sensores con el tendón de Aquiles y a 10 cm por debajo del plano transversal que pasa por la cabeza del peroné. Las bolsas de material frío se aplicaron justo encima y debajo del fNIR. (Figura 2),

.Con cada sujeto se realizaron dos registros, uno con hielo y otro con coldpack. Aleatoriamente, en el primer registro se aplicó hielo o bien coldpack.

Cada registro, con una duración total de 30 minutos, se dividió en 3 fases:

Fase 1 - Registro basal durante 4 minutos.

Fase 2 - Aplicación del agente crioterápico y registro durante 15 minutos.

Fase 3 - Retirada del agente y registro durante 11 minutos.

En todas las fases, junto a la señal fNIR se midió:

- temperatura sistémica de referencia (en la frente) y temperatura local adyacente al fNIR.
- temperatura del agente crioterápico y del ambiente.
- frecuencia cardíaca, presión arterial, y SO<sub>2</sub>.

Se esperó, antes de comenzar el segundo registro, a que la temperatura en la pierna volviera a valores basales.

### 3.5. Análisis de datos.

1. A la señal de HbO se le aplicó un filtro pasabanda (0.5 – 1.5 Hz) para extraer las oscilaciones del pulso arterial.
2. Para simplificar el análisis fNIR, se extrajo la señal de oxigenación (OXY) a partir de la señal HbO y HbR ( $OXY = HbO - HbR$ ) y se le aplicó un filtro digital pasabanda (0.01 – 0.1 Hz) para eliminar las oscilaciones cardíacas y respiratorias, dejando solo las oscilaciones de baja frecuencia de interés para el presente estudio.
3. La señal OXY de los canales profundos se extrajo mediante regresión con los canales superficiales (Rolf B. Saager. 2011).
4. Finalmente, las señales de los 28 canales fNIRS (16 superficiales y 16 profundos) se agruparon en 8 superficiales y 8 profundos mediante promediado de parejas de canales adyacentes.

Con la señal OXY se realizó un análisis espectral por el método *multi-tapering* de Thompson, que proporciona una buena reducción de ruido y adecuada resolución de frecuencia. Para hallar la frecuencia dominante de cada canal y su potencia espectral.

La distribución espectral resultante se ajustó a una función “gaussiana” para obtener valores simplificados de frecuencia central, amplitud y dispersión.

Para valorar los cambios de la magnitud de las oscilaciones se calculó un RATIO espectral, dividiendo el valor de poder espectral de la frecuencia dominante durante la aplicación de frío entre el valor del poder espectral de la frecuencia durante el periodo de línea base.

De esta forma los ratios superiores a 1 indicarían que la amplitud de las oscilaciones, ha aumentado durante la aplicación del agente crioterápico, mientras que ratios inferiores a 1 indicarían que el poder

espectral tiende a lo contrario. Además, se realizó un análisis tiempo/frecuencia del registro mediante Transformada Continua Wavelet (usando una wavelet de Morlet). De esta forma se puede analizar la evolución de las oscilaciones en el tiempo, de tal manera que el aumento de amplitud de las oscilaciones se manifiesta como aumento de la magnitud espectral (colores cálidos en el gráfico) y serían compatibles con vasodilatación, mientras que, la disminución de la amplitud sería compatible con vasoconstricción (colores fríos).

#### **4. RESULTADOS.**

- **Temperatura de la piel:**

La temperatura media de descenso tras la aplicación del coldpack fue de 0.4 grados centígrados para la zona proximal y de 1.6 grados centígrados para la zona distal. (Tabla 3)

Mientras que para la aplicación del hielo el descenso fue mayor, en concreto de 1,76 grados centígrados para la zona proximal y de 2,36 grados centígrados para la porción distal.

- **Temperatura del agente crioterápico:**

Durante el experimento la temperatura del coldpack aumento en 6.6 grados centígrados (Tabla 3) mientras que el aumento de temperatura el hielo fue 2,6 grados centígrados (Tabla 4).

- **Medidas fisiológicas:**

No se produjeron grandes diferencias en lo referente a la frecuencia cardiaca ni a la y SO<sub>2</sub> al comparar los periodos de registro basal, aplicación y retirada del agente crioterápico. (Tabla 5)

Por último, en la presión arterial media con el coldpack mostró un valor de 98,1 mmHg en durante el registro basal y un valor de 77,3 mmHg en la fase de retirada del agente. En lo referente al agente crioterápico hielo el valor de presión arterial media mostrado previamente a la aplicación fue de 95,7 mmHg, mientras que el post aplicación fue de 98,3 mmHg.

- **Resultados de la señal NIRS en la capa superficial con coldpack:**

Como podemos observar en la Figura 3 y en la tabla 6 se produce una disminución de la frecuencia dominante de oscilación en la mayoría de canales tras la aplicación de coldpack en la capa superficial. Dicha disminución en la frecuencia dominante se alarga al periodo de retirada.

Con respecto a la amplitud del pulso pletismográfico podemos decir que se observan incrementos en la mayor parte de canales observados en la figura 4 al aplicar el coldpack.

En lo referente a los ratios, el 70% de las canales presentaron un valor superior a 1, lo que evidencia el aumento de la amplitud de las oscilaciones (vasodilataciones) durante la aplicación del coldpack.

Sin embargo existen periodos en los que las oscilaciones aumentan la amplitud (vasodilatación) intercalados con periodos en los que se producen disminución de las mismas (vasoconstricción) tanto en la fase de aplicación como en la de retirada. (Figura 4)

- **Resultados de la señal NIRS en la capa profunda con coldpack:**

Como podemos observar en la Figura 5 y en la tabla 6 se produce una disminución de la frecuencia dominante de oscilación en todos los canales de la señal profunda al aplicar coldpack. Por otro lado, encontramos que el 75% de los ratios fueron superior a 1, lo cual se traduce en que de forma neta existe un aumento de las amplitudes en capas profundas al aplicar hielo. Sin embargo, tal y como pasaba en la capa superficial estos periodos de aumento de la amplitud (vasodilatación) se intercalan con periodos de disminución de dichas amplitudes (vasoconstricción) (Figura 5) tanto en la fase de aplicación como en las posteriores.

- **Resultados de la señal NIRS en la capa superficial con hielo:**

Podemos comprobar como existe un ligero descenso de la frecuencia dominante en algunos de los canales tras la aplicación de hielo. En lo referente a la amplitud del pulso arterial se observan ligeros incrementos en la mayoría de canales observados en la figura 7 y 8 y en la tabla 7.

En segundo lugar, encontramos un considerable y generalizado aumento de la amplitud de las oscilaciones evidenciado por el hecho de que el 79% de los canales presentaron ratios superiores a 1. En este sentido, estos periodos de incrementos en la amplitud de las oscilaciones, (compatibles con

fenómenos de vasodilatación), se intercalan con periodos de disminución de dicha amplitud, (compatible con vasoconstricción) (Figura 7 y 8) tanto en la fase de aplicación del hielo como en las posteriores.

### **Resultados de la señal NIRS en la capa profunda con hielo:**

En lo referente a la Figura 9 podemos observar como existe un descenso en algunos de los canales profundos al aplicar hielo (Tabla 7). En lo relativo a los cambios de la amplitud observamos que el 70% de los canales presentan ratios superiores a 1 lo que indica que la aplicación de hielo produce un incremento de la amplitud de las oscilaciones. En este sentido, tal y como observamos en la figura 9 y 10, estos periodos de aumento de la amplitud se alteran con periodos de disminución de las mismas, lo cual es compatible con fenómenos de vasodilatación y vasoconstricción tanto durante la aplicación de hielo como en la fase de retirada.

## **5. DISCUSIÓN.**

### **5.1. ¿Es el dispositivo fNIR un método válido para el registro de cambios en la perfusión durante la aplicación de crioterapia?**

El principal objetivo de esta investigación fue comprobar si el FNIR constituye un método válido para el registro de cambios en la perfusión durante la aplicación de crioterapia. En base a los resultados obtenidos podemos comprobar como el dispositivo FNIR ha sido capaz de registrar cambios hemodinámicos en el tejido muscular en las diferentes fases experimentales tanto en capas superficiales (7 mm) y profundas (16 mm) durante la aplicación de crioterapia.

### **5.2. ¿Vasoconstricción asociada al uso del agente crioterápico?**

En primer lugar, los resultados relativos tanto a la aplicación de hielo como de coldpack tanto en capas superficiales como en capas profundas muestran que las oscilaciones vasomotoras disminuyeron a una frecuencia más lenta, mientras que se observó una tendencia clara a aumentar la amplitud de las mismas. En términos fisiológicos estos datos se traducen en que la aplicación de frío produce en los vasos, oscilaciones del tono vasomotor que genera periodos alternos de vasoconstricción y

vasodilatación, lo cual significa una mayor llegada de volumen de sangre. En este sentido existe un mecanismo fisiológico denominado efecto “Hunting” (Daanen, H.A., 2003) descrito inicialmente en los vasos de los dedos que consiste precisamente en la alternancia de ciclos de vasoconstricción y vasodilatación como una respuesta del organismo en un intento de termorregular adecuadamente el tejido sobre el cual se está aplicando el frío. Esta evidencia concuerda con los datos presentados ya que consideramos que hemos registrado un fenómeno similar en el tejido muscular de la pierna.

Por otro lado, los resultados presentados en anteriores apartados contrastan con los encontrados en la literatura revisada; por un lado tenemos el trabajo realizado por Taber et al. (1992) que observa vasoconstricción en el maléolo peroneal al aplicar frío con coldpack. En este sentido, estos resultados entran en discordancia con los obtenidos en este trabajo, sin embargo hay que tener en cuenta que este autor realiza una medida del flujo sanguíneo que está influenciada por los fenómenos sudomotores (impedancia de la piel) y que en la zona en la que realiza la mediación tiene escasa masa muscular.

En segundo lugar, encontramos los trabajos realizados por Khoshnevis et al. 2015 que muestran resultados contrarios a presentados en anteriores apartados. Dichos autores encontraron que la aplicación de crioterapia generaba una vasoconstricción local en el área de tratamiento de una manera persistente. En este sentido se ha tener en cuenta que los fenómenos vasomotores fueron evaluados con un láser Doppler que únicamente informa de la cantidad relativa de sangre presente exclusivamente en la piel, mientras que el dispositivo FNIR utilizado en el presente trabajo es capaz de evaluar cambios hemodinámicos en capas más profundas en las que sí que se observa fenómenos de vasodilatación.

En tercer lugar, encontramos el trabajo realizado por Merrick, MA. (2003) el cual señala que la aplicación de coldpack y frío genera disminuciones de la temperatura tal y como hemos encontrado en nuestro trabajo, sin embargo Merrick no evalúa de una forma directa el flujo sanguíneo (ni en la piel ni en el músculo). Por todo ello no se puede inferir en base a los resultados presentados en su trabajo que la disminución de la temperatura este asociada únicamente a fenómenos de vasoconstricción (Merrick, M.A., 2003).

#### **5.4. ¿Coldpack o hielo?**

Los resultados mostrados en apartados anteriores señalan la mayor capacidad del hielo para reducir la temperatura cutánea, en este sentido encontramos que estos resultados están en concordancia con los mostrados por Kennet J.N. (2007) y Hardy M et al (1998) que encuentran que el hielo es un método crioterápico más efectivo para disminuir la temperatura de la piel que el coldpack. Al parecer, este hecho viene motivado por la propiedad de cambio de fase que posee el hielo que incrementa la capacidad del agente crioterápico para absorber energía calorífica. Por todo ello es lógico que relacionado con su mayor capacidad para el descenso de temperatura sea precisamente el hielo el que en mayor medida ha generado episodios de vasodilatación alterante con vasoconstricción.

#### **5.5. Cambios sistémicos en la aplicación de la crioterapia.**

La aplicación de frío mediante hielo o coldpack no ha producido variación clara de los parámetros fisiológicos, en este sentido no encontramos modificaciones de la frecuencia cardíaca, ni de la tensión arterial media que justifiquen la idea de que exista una activación simpática. Probablemente este hecho este relacionado con que la aplicación del agente crioterápico ha sido local.

#### **5.5. Limitaciones y futuras investigaciones.**

- Bajo tamaño muestral. (3 sujetos)
- Los agentes crioterápicos no se aplican en la misma porción de tejido muscular sobre el cual se está realizando la medición, se aplican por encima y por debajo del dispositivo FNIR

Para futuras investigaciones sería conveniente:

- Aumentar el tamaño muestral para la realización de análisis estadísticos de mayor consistencia. Se podría diseñar un protocolo que permitiese la medición directamente en la zona en la que se está aplicando el agente crioterápico.
- Diseñar un protocolo que evaluase los efectos vasomotores de la aplicación de calor en el tejido muscular.

- Por último, no se ha de olvidar el interés que tendría evaluar el efecto de la crioterapia en sujetos con lesiones musculares para comprobar si la presencia de una lesión altera o no el mecanismo descrito de vasoconstricción y vasodilatación en el presente trabajo.

## **6. CONCLUSIONES.**

La tecnología NIRS se erige como un método no invasivo de registro de la actividad hemodinámica muscular asociada a los cambios de temperatura que destaca por su bajo coste y su facilidad de utilización. Por lo tanto, puede ser un método útil para evaluar los efectos de la crioterapia.

En este sentido, tradicionalmente se ha considerado que la aplicación de frío es un método adecuado para generar fenómenos de vasoconstricción en tejidos musculares, sin embargo, en la actualidad existen diversos trabajos que cuestionan la utilidad de la aplicación de la crioterapia en este campo (Bleakley, 2004).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo ponen en duda la idea de que el frío genera únicamente fenómenos de vasoconstricción durante su aplicación. (Khoshnevis et al. 2015) (Taber et al. 1992). De hecho, en base a los resultados mostrados podemos comprobar cómo se generan episodios intensos de vasodilatación con la consecuente llegada de un mayor flujo de sangre durante la aplicación del frío y la hiperemia que se genera una vez el agente crioterápico es retirado.

Podría ser interesante la aplicación de un frío controlado para que de esta forma no se activen los mecanismos de termorregulación que son los responsables de la aparición el efecto “Hunting” y evitar los episodios alternantes de vasodilatación y vasoconstricción (Daanen, H.A.M, 2003).

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

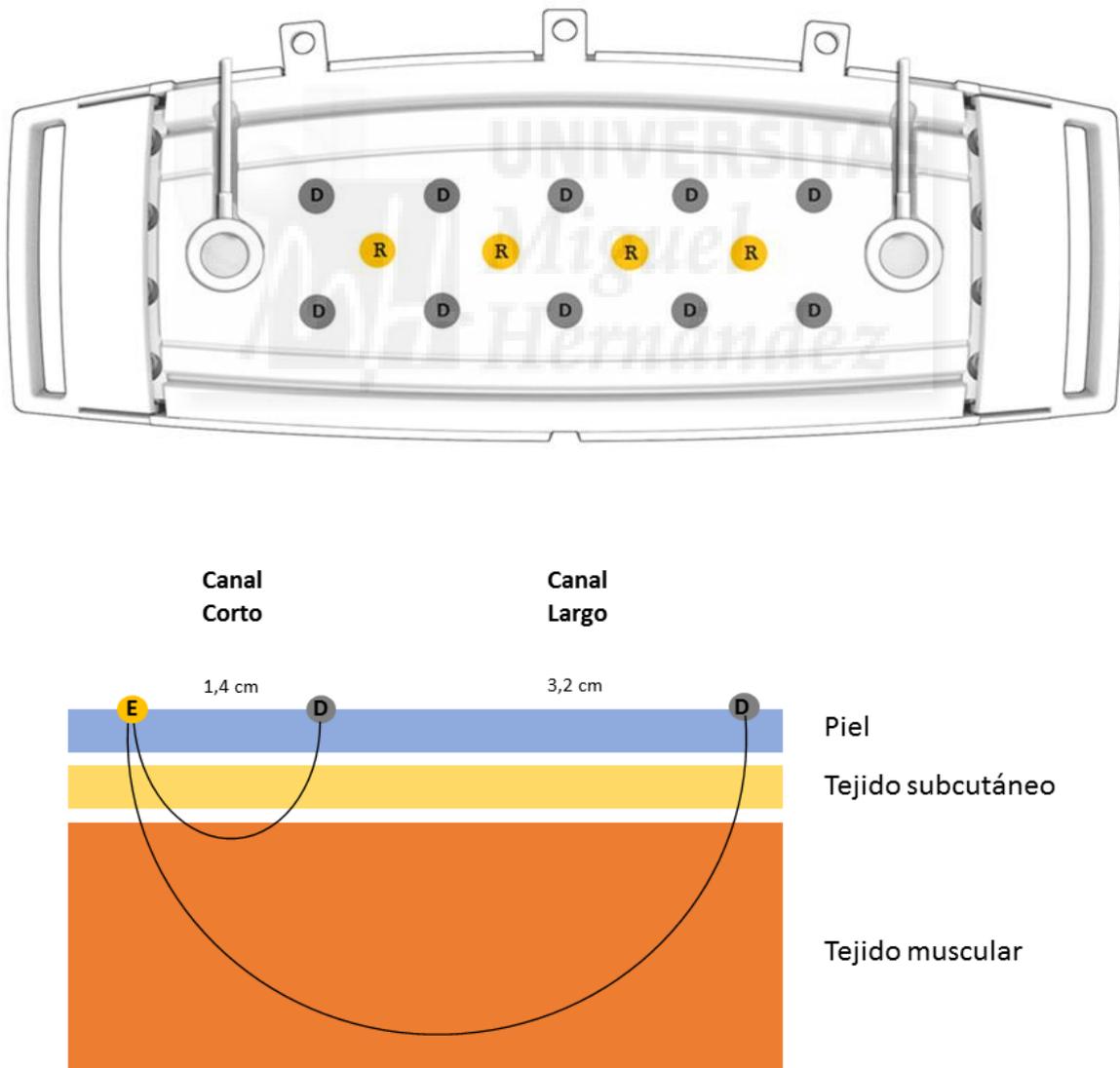
1. Algafy AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *Br J Sports Med.* 2007; 41(6):365-69.
2. Arenas J. Crioterapia y termoterapia en las lesiones del aparato locomotor. *Revista Digital Deportiva.* 2005; 17 – 23.

3. B. Chance, E. E. Anday, S. Nioka, S. Zhou, L. K. Worden, C. Li, T. Murray, Y. Ovetsky, D. Pidikiti, and R. Thomas. A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light. *Opt. Express*. 1998 May 11; 2(10):411-23.
4. Bleakley C, McDonough S, MacAuley D. The use of ice in treatment of acute soft-tissue injury. A systematic review of randomized controlled trials. *The American Journal of Sports Medicine* 2004; 39(1):88-94.
5. Brancaccio N, Klein AA, Böettche GA, Colla PHS, Machado DM, Moser GR, et al. Analise de lesao muscular em ratos treinados e sentarios submetidos a crioterapia. *Fisioter Mov.* 2005; 18(1):59-65.
6. Cameron MH, editor. *Physical agents in rehabilitation: from research to practise*. Philadelphia: WB Saunders; 1999.
7. Cherterton LS, Foster nE, Ross L. Skin temperature response to cryotherapy. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002; 83(4):543-9.
8. Galíndez Ibarbengoetxea X. Técnicas de fisioterapia en patología deportiva: fase aguda. *Fisioterapia* 2004; 6(1):36-40.
9. G. Gratton, P.M. corballis, E. Cho, M. Fabiani, D.C. Hood. Shades of gray matter: “Noninvasive optical images of human brain responses during visual simulation”. *Psychophysiology*. 1995;32:505-509.
10. H. A. M. Daanen. Finger cold-induced vasodilation: a review. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89: 411–426.
11. Hardy M, Woodall W. Therapeutic effects of heat, cold, and stretch on connective tissue. *J Hand Ther*. 1998; 11:148-156.
12. Kiernan M, Cikurel K, Bostock H. Effects of temperature on the excitability properties of human motor axons. *Brain*. 2001; 124:816-25.
13. Kennet J, Hardaker N, Hobbs S, Selfe J. Cooling efficiency of 4 common cryotherapeutic agents. *J Athl Train*. 2007; 42:343-348.

14. M. Cope, "The development of a near-infrared spectroscopy system and its application for non-invasive monitoring of cerebral blood and tissue oxygenation in the newborn infant" Univ. College London, London. 1991.
15. Merrick MA, Jutte LS, Smith ME. Cold modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures. *J Athl Train.* 2003 Jan-Mar; 38(1): 28–33.
16. Prentice W. *Técnicas de rehabilitación en medicina deportiva*, 3 ed. ED. Paidotribo; 2001.
17. Rolf B. Saager, Nicole I, Telleri, Andrew J. Berger. Two-detector Corrected near Infrared Spectroscopy (C-NIRS) detects hemodynamic activation responses more robustly than single-detector NIRS. *NeuroImage.*2011: (55) 1679–1685
18. Saeki Y. Effect of local application of cold or heat for relief of pricking pain. *Nurs Health Sci.* 2002; 4:97-105.
19. Sepideh Khoshnevis, Natalie K, Craik, and Kenneth R. diller. "Cold- induced vasoconstricción may persist long after cooling ends: and evaluation of multiple cryotherapy units. *Knee surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015 September; 23 (9): 2475-2483.
20. Siana Jones, Scott T. Chiesa, Nishi Chaturvedi, Alun D. Hughes. "Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen". 2016; 16, 25-33.
21. Taber C, Contyman K, Fahrenbruch J, LaCount K, Cornwall MW. Measurement of reactive vasodilation during cold grl pack application to nontraumatized ankles. *Phys Ther* 1992; 72:294-9.

## 8. ANEXO 1: FIGURAS.

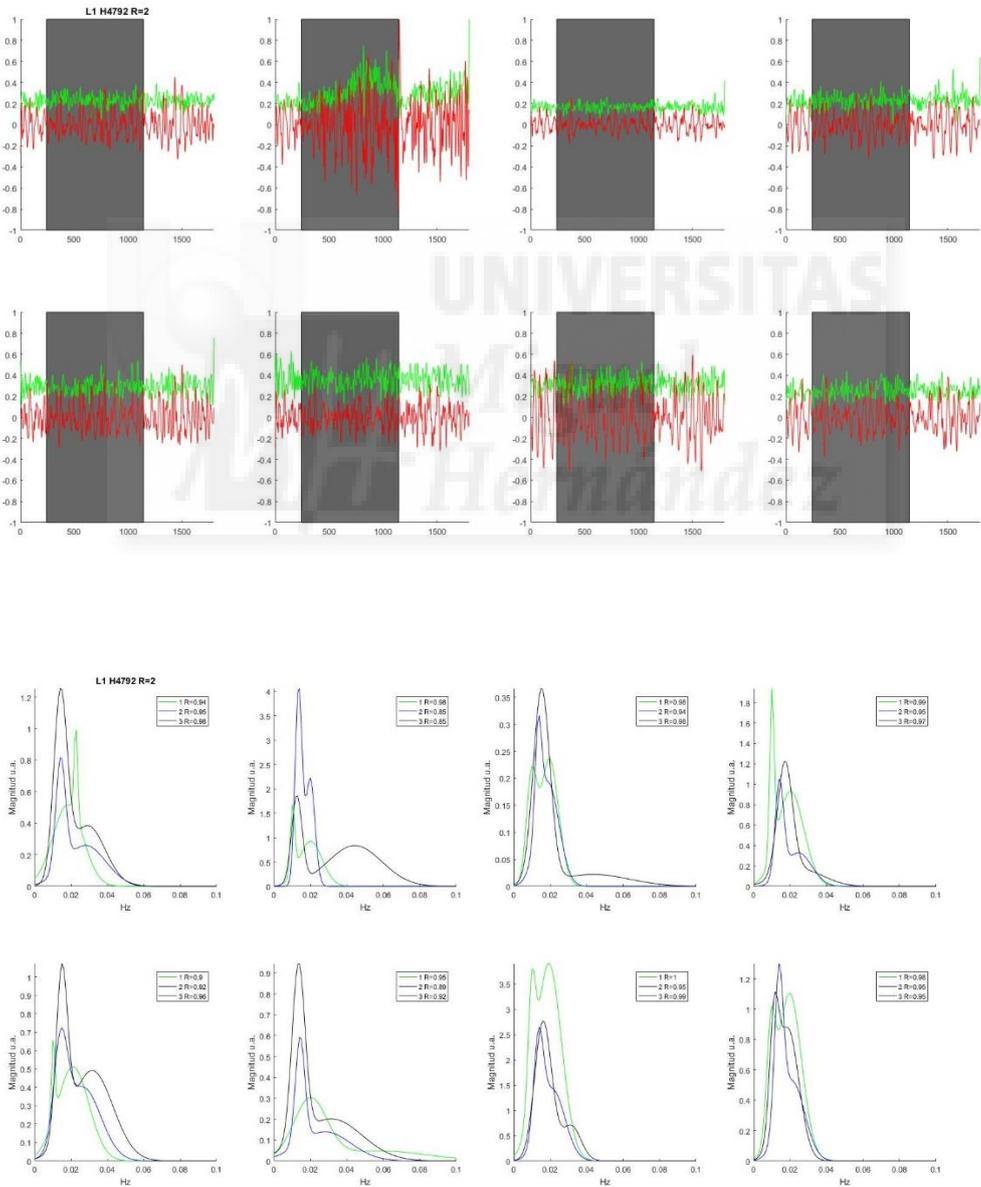
**Figura 1.** Parte superior: Representación esquemática de los diferentes emisores y receptores del dispositivo FNIR. En amarillo (R) se representan los 4 emisores de luz cercana al infrarrojo y en gris (D) los 10 detectores de luz cercana al infrarrojo. Parte inferior: Representación gráfica de las diferentes capas (piel, tejido subcutáneo y tejido muscular) siendo atravesada por la luz cercana al infrarrojo en el canal corto (superficial) y en el canal largo (profundo).



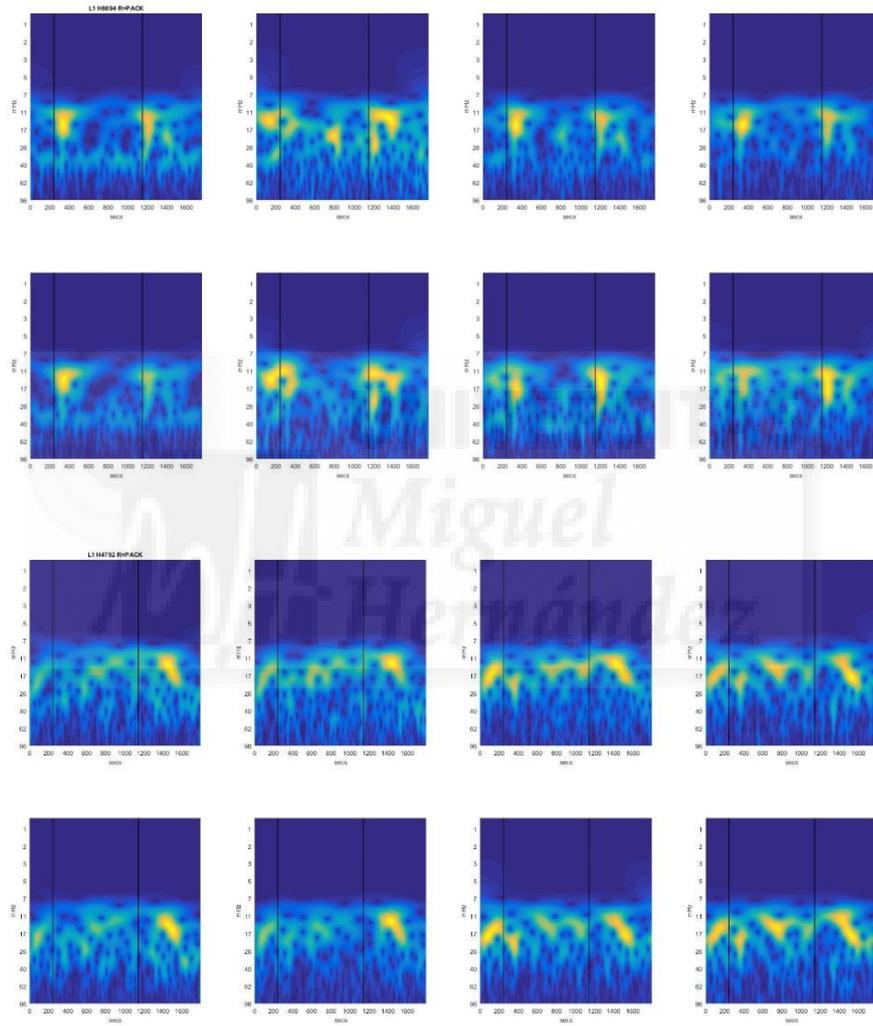
**Figura 2.** Aplicación de los 2 coldpacks (imagen superior) y las dos bolsas de hielo (imagen inferior), en la zona delimitada y el FNIRS.



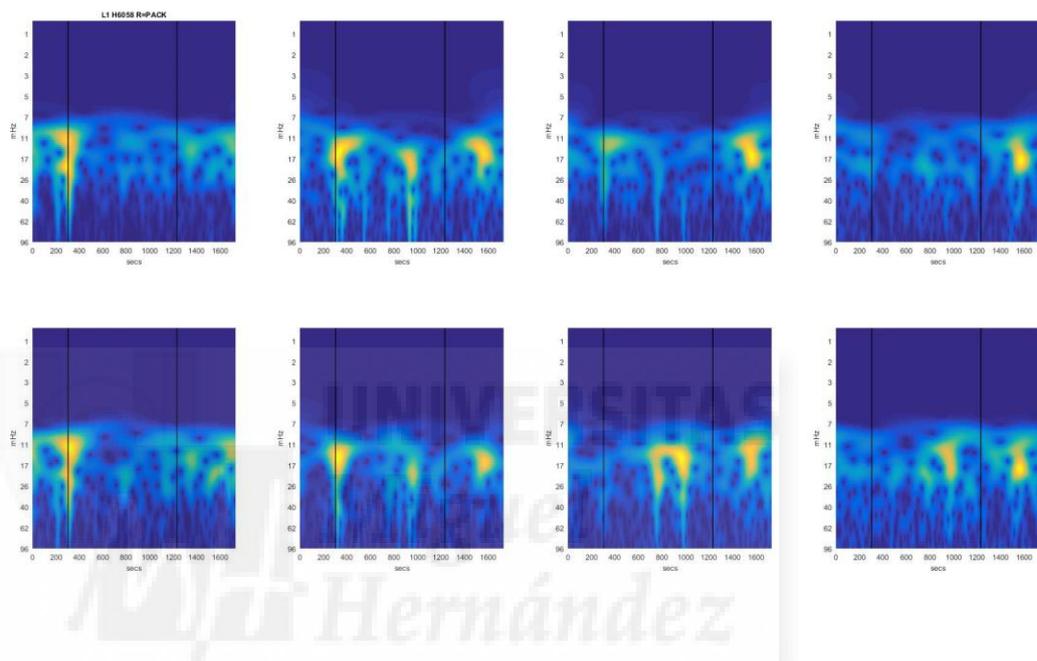
**Figura 3.** Parte superior: Ejemplo de la representación gráfica de la señal NIRS en capa superficial en el que se muestra la señal de oxigenación normalizada (rojo) y amplitud del pulso pletismográfico normalizad (verde). La sombra gris indica el periodo de aplicación del agente crioterápico (Coldpack). Parte inferior: Ejemplo la representación espectral de la señal NIRS en la capa superficial durante las tres condiciones: pera-plicación del agente crioterápico (verde), aplicación del agente crioterápico Coldpack (azul) y post aplicación del agente crioterápico (negro).



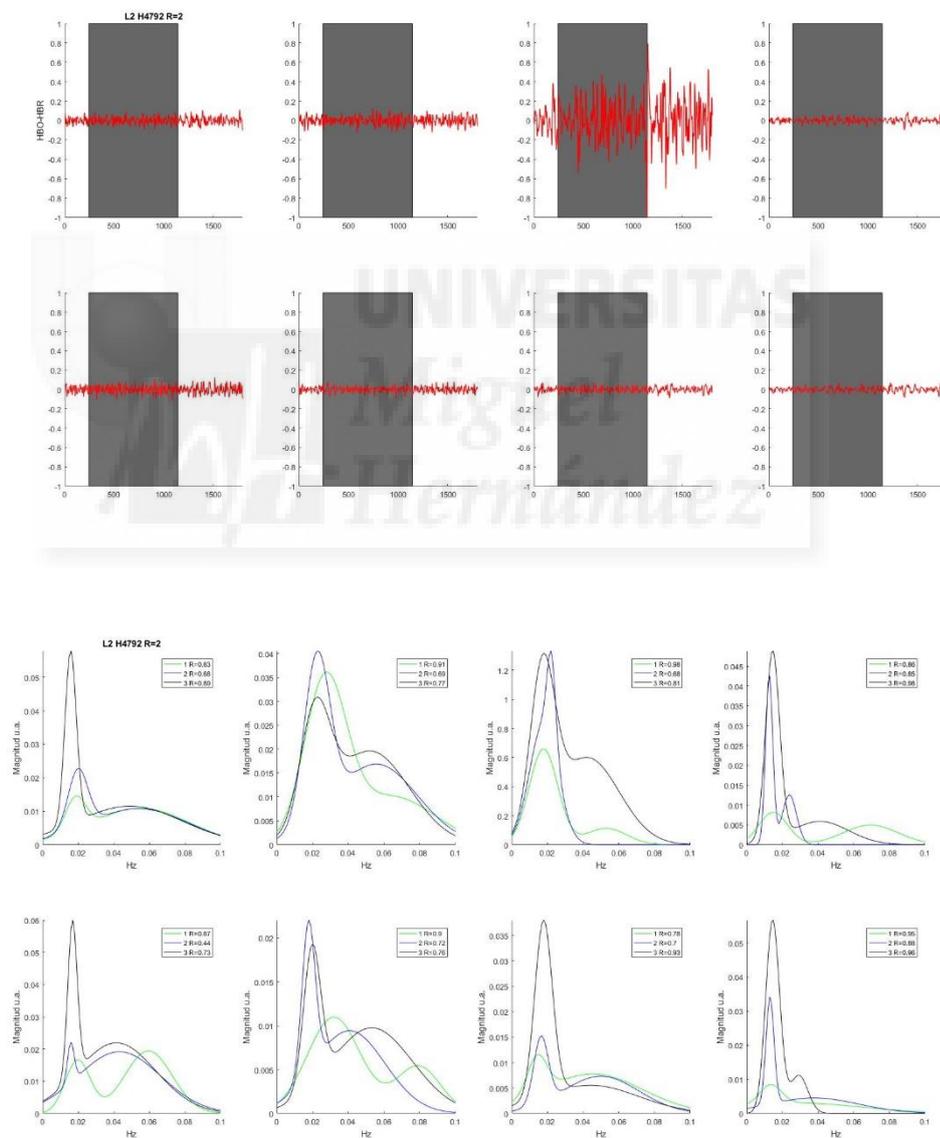
**Figura 4:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa superficial durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Coldpack (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



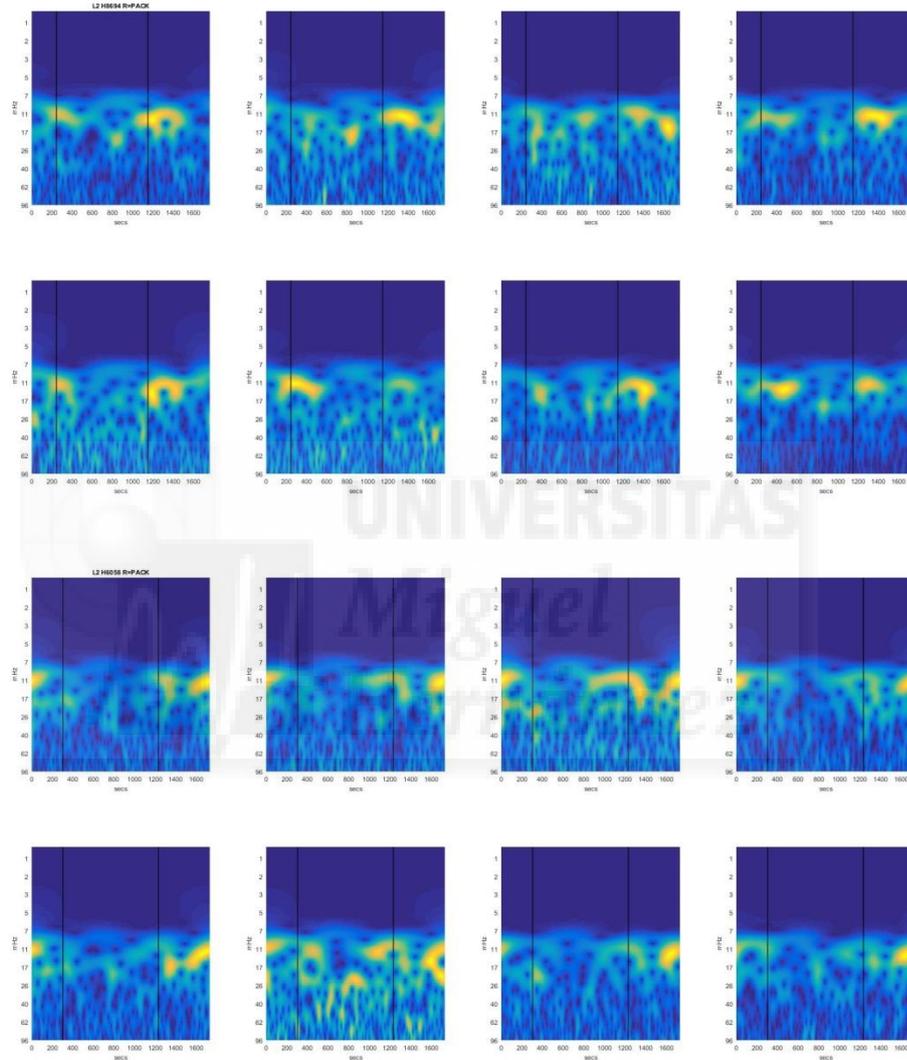
**Figura 4:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa superficial durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Coldpack (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



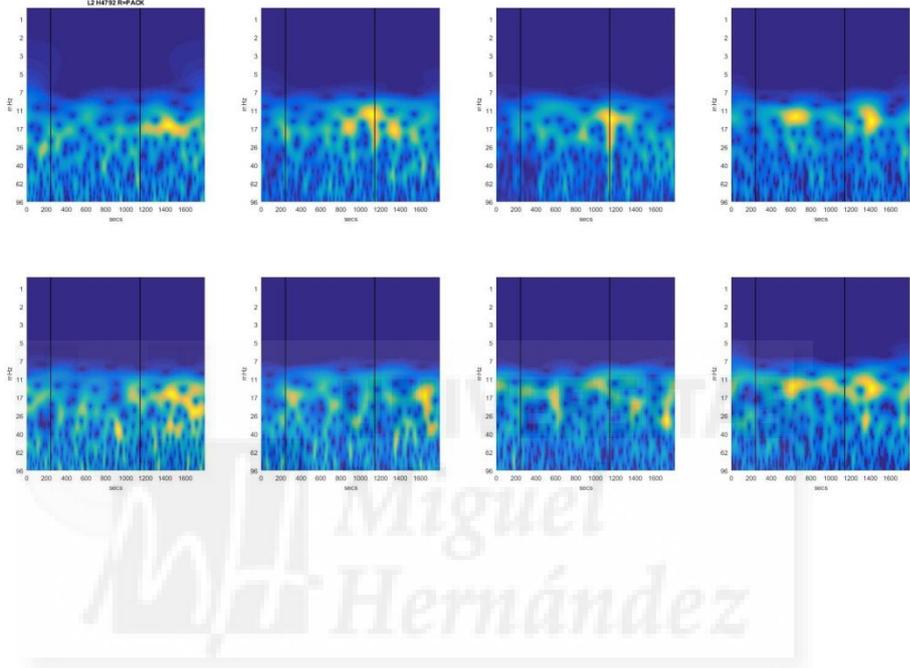
**Figura 5.** Parte superior: Ejemplo de la representación gráfica de la señal NIRS en capa profunda en el que se muestra la señal de oxigenación normalizada (rojo) y amplitud del pulso pletoisomográfico normalizado (verde). La sombra gris indica el periodo de aplicación del agente crioterápico (Coldpack). Parte inferior: Ejemplo la representación espectral de la señal NIRS en la capa profunda durante las tres condiciones: pre aplicación del agente crioterápico (verde), aplicación del agente crioterápico (azul) y post aplicación del agente crioterápico (negro).



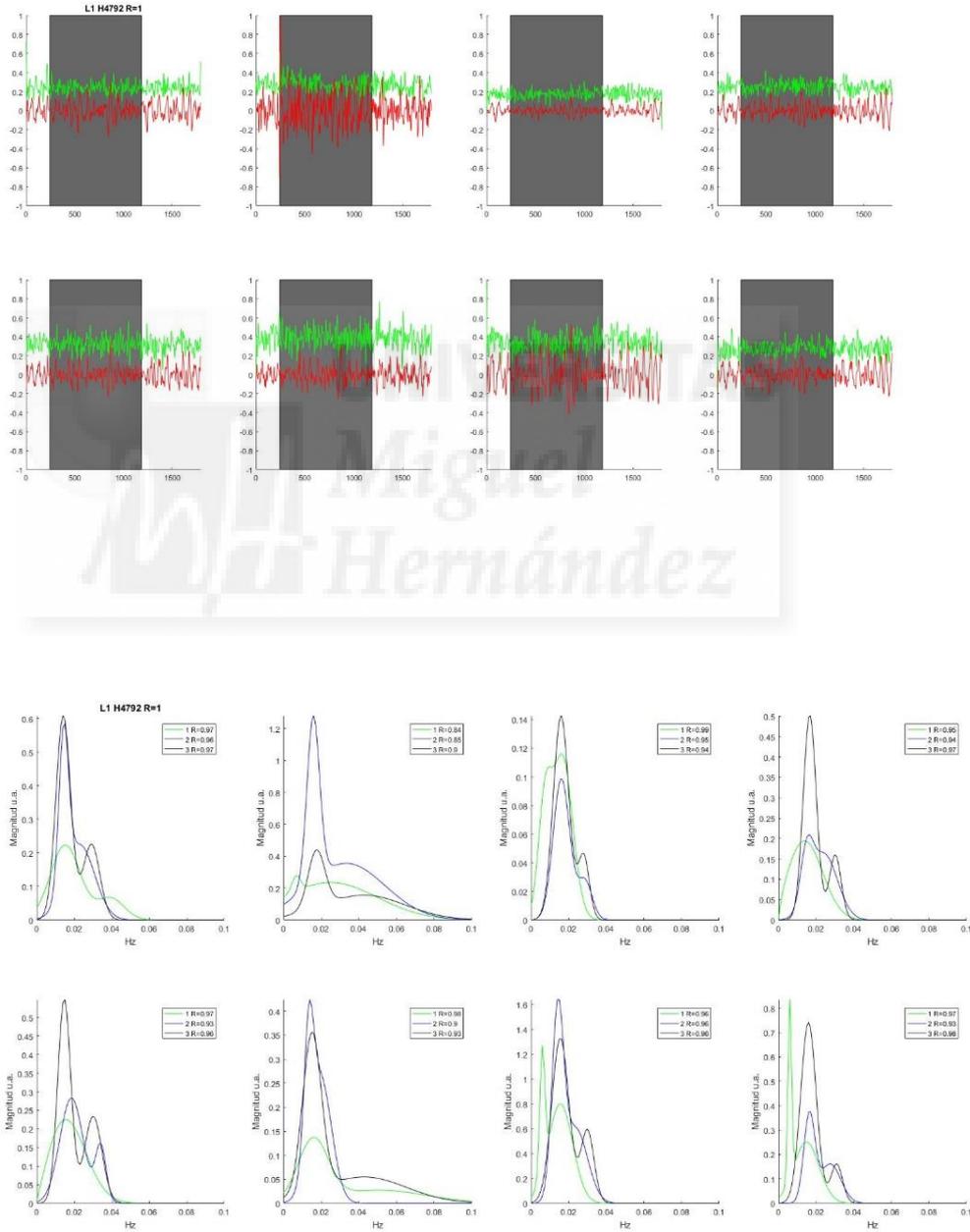
**Figura 6.** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa profunda durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Coldpack (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



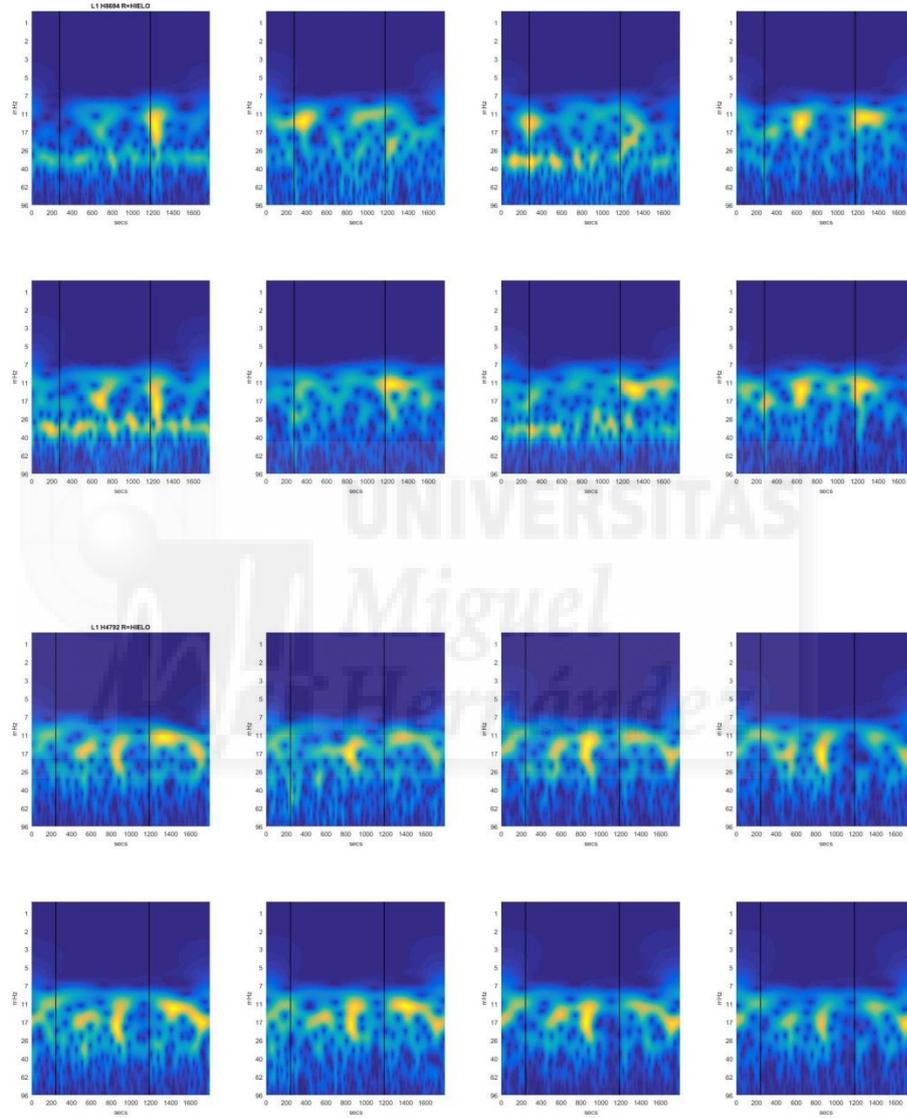
**Figura 6.** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa profunda durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Coldpack (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



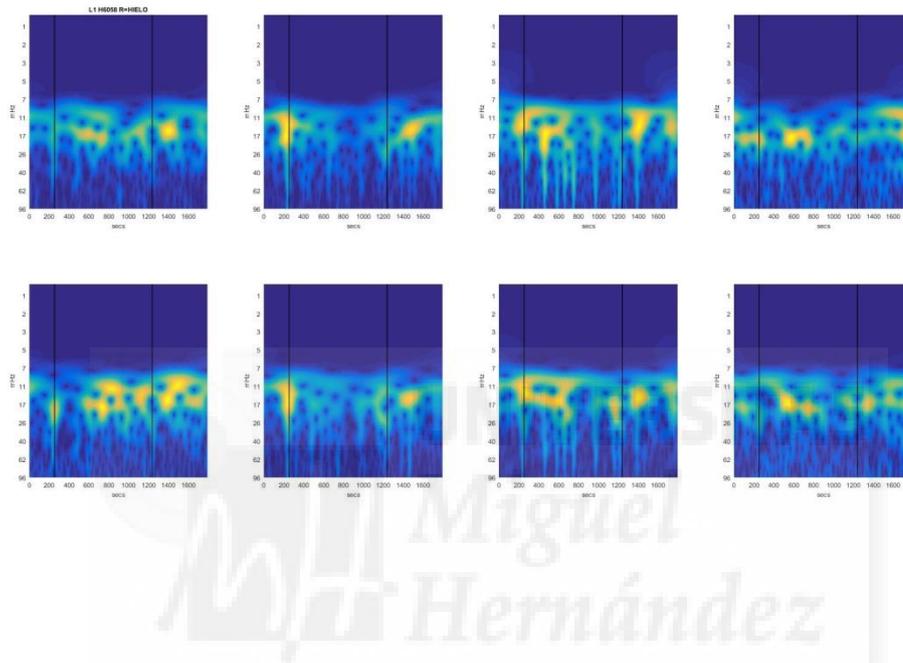
**Figura 7:** Parte superior: Ejemplo de la representación gráfica de la señal NIRS en capa superficial en el que se muestra la señal de oxigenación normalizada (rojo) y amplitud del pulso pletoisométrico normalizado (verde). La sombra gris indica el periodo de aplicación del agente crioterápico (Hielo). Parte inferior: Ejemplo la representación espectral de la señal NIRS en la capa superficial durante las tres condiciones: pre aplicación del agente crioterápico (verde), aplicación del agente crioterápico hielo (azul) y post aplicación del agente crioterápico (negro).



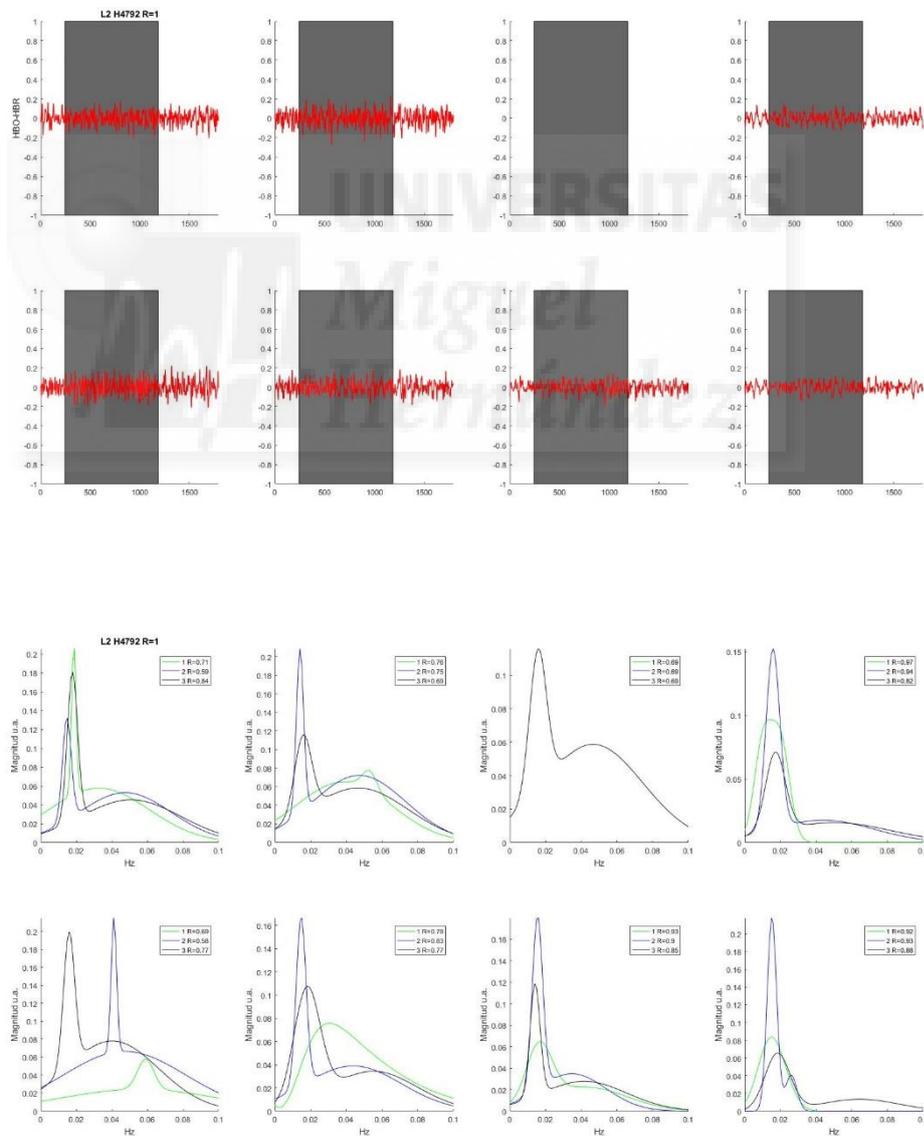
**Figura 8:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa superficial durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Hielo (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones)



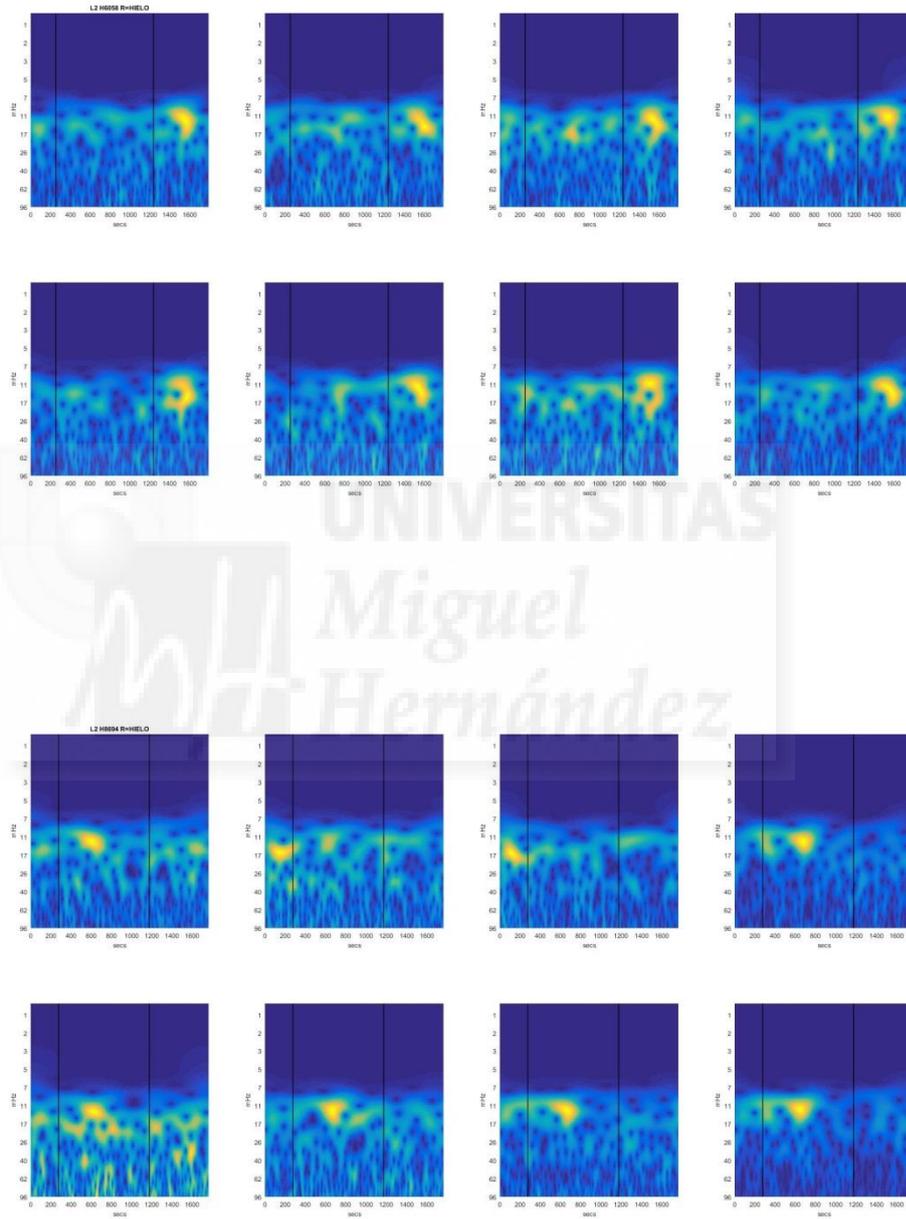
**Figura 8:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa superficial durante el periodo de aplicación del agente crioterápico Hielo (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones)



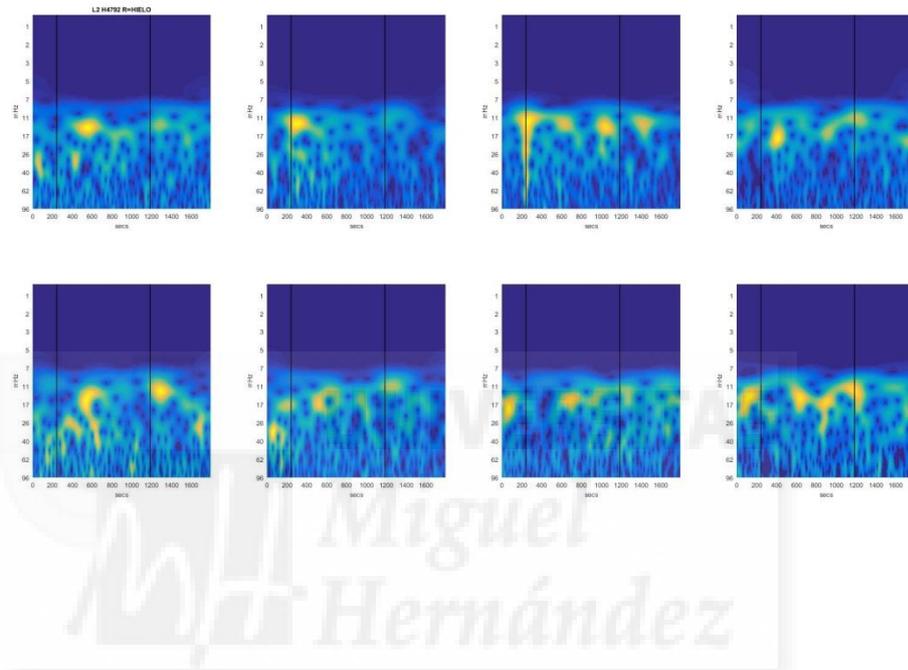
**Figura 9. Parte superior:** Ejemplo de la representación gráfica de la señal NIRS en capa profunda en el que se muestra la señal de oxigenación normalizada (rojo) y amplitud del pulso pletismográfico normalizado (verde). La sombra gris indica el periodo de aplicación del agente crioterápico (Hielo). **Parte inferior:** Ejemplo la representación espectral de la señal NIRS en la capa profunda durante las tres condiciones: pre-aplicación del agente crioterápico (verde), aplicación del agente crioterápico hielo (azul) y post aplicación del agente crioterápico (negro).



**Figura 10:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa profunda durante el periodo de aplicación del agente crioterapico Hielo (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



**Figura 10:** Representación en tiempo frecuencia de las oscilaciones de la señal NIRS en la capa profunda durante el periodo de aplicación del agente crioterapico Hielo (representado por las líneas negras). Las zonas amarillas representan momentos de vasodilatación (manifestado por incrementos en la amplitud de las oscilaciones).



**9. ANEXO 2: TABLAS.**

<b>Tabla 1:</b> Se muestra de forma específica los diferentes instrumentos usados en el estudio piloto clasificados por el objetivo de uso.					
Mediciones del sujeto	Báscula (kg) Tanita, BC-730.		Tallímetro (cm)	Cinta métrica (cm)	Monitor de grasa corporal (IMC, % grasa) OMRON BF306
Intervención	Nevera	1 camilla	2 bolsas de frío/calor reusable		Dos bolsas de hielo picado de 1 kg
Aparatología de la medición	FNIRS (Newmanbrain)		Pulsioxímetro		Termómetro Clabi FR 1DZ1 (NC100)
	Monitor de presión arterial		1 Ordenador: registro del FNIRS		

**Tabla 2:** Características antropométricas de la muestra (N=3). Resúmenes numéricos (Media y desviación estándar)

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>
Edad	22.33	0.57
Altura	185	6.08
Peso	83,03	14,27
IMC	23.9	2.51
% grasa	16.46	3.16
Circunferencia de la pierna	35.46	2.2



**Tabla 3:** Resultados de los datos de las Temperaturas (T°C), medidas por el termómetro sin contacto Clabi.

<b>Temperaturas</b>	<b>Coldpack</b>		<b>Hielo</b>	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Disminución local proximal	0.4	0.17	1.76	2.62
Disminución local distal	1.6	0.7	2.36	3.83



**Tabla 4:** Resultados de los datos de las Temperatura (T°C) pre-aplicación y post aplicación los diferentes agentes crioterápicos (Hielo/Coldpack)

	<b>Coldpack</b>		<b>Hielo</b>	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Temperatura Inicial	0.9	0.6	2.86	1.42
Temperatura Final	7.5	1.9	5.5	0.51



**Tabla 5:** Resultados de la Frecuencia Cardíaca, Presión arterial media (PAM) y saturación de oxígeno de la muestra (N=3). Resúmenes numéricos pre-aplicación y post aplicación.

	<b>Pre-aplicación Coldpack</b>		<b>Post aplicación Coldpack</b>	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Frecuencia cardiaca	63	7	53.3	6.11
PAM	98.1	-	97	-
Saturación de oxígeno	96.66	0.57	96.66	0.57
	<b>Post aplicación Hielo</b>		<b>Post aplicación Hielo</b>	
Frecuencia cardiaca	65	3.46	58	7.5
PAM	95.7	-	98.3	-
Saturación de oxígeno	96.66	1.15	97	1

**Tabla 6:** Resumen de las frecuencias (Media y Desviación estándar) en la aplicación de coldpack en la **capa superficial**.

<b>CANALES</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Pre-aplicación</b>	0.026(0.009)	0.014(0.005)	0.023(0.008)	0.014(0.003)	0.0233(0.008)	0.013(0.006)	0.018(0.002)	0.017(0.002)
<b>Aplicación</b>	0.020(0.0133)	0.016(0.002)	0.015(0.003)	0.016(0.004)	0.013(0.001)	0.013(0.001)	0.015(0.001)	0.016(0.004)
<b>Post aplicación</b>	0.015(0.002)	0.013(0.0005)	0.014(0.001)	0.015(0.002)	0.153(0.002)	0.015(0.0005)	0.014(0.001)	0.016(0.003)

Resumen de las frecuencias (Media y Desviación estándar) en la aplicación de coldpack en la **capa profunda**.

<b>CANALES</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Pre-aplicación</b>	0.026(0.024)	0.021(0.007)	0.016(0.001)	0.015(0.0005)	0.032(0.023)	0.021(0.01)	0.024(0.018)	0.017(0.005)
<b>Aplicación</b>	0.017(0.003)	0.017(0.005)	0.016(0.001)	0.012(0.0005)	0.025(0.015)	0.021(0.011)	0.017(0.001)	0.013(0)
<b>Post aplicación</b>	0.014(0.001)	0.016(0.004)	0.016(0.001)	0.014(0.001)	0.015(0.002)	0.016(0.003)	0.015(0.002)	0.014(0.001)

<b>Tabla 7: Resultados de los Ratios durante la aplicación de coldpack.</b>							
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>							
<b>CANALES</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
0.953	2.853	1.866	1.076	1.013	2.713	3.976	1.79
<b>CAPA PROFUNDA</b>							
<b>CANALES</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1.113	1.996	1.66	2.510	0.756	1.463	2.246	3.01



**Tabla 8:** Resumen de las frecuencias (Media y Desviación estándar) en la aplicación de hielo.

<b>CAPA SUPERFICIAL</b>								
<b>CANALES</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Pre-aplicación</b>	0.021(0.009)	0.018(0.005)	0.024(0.013)	0.013(0.001)	0.02(0.009)	0.015(0.001)	0.018(0.131)	0.013(0.007)
<b>Aplicación</b>	0.02(0.01)	0.014(0.022)	0.022(0.01)	0.018(0.005)	0.022(0.008)	0.015(0.003)	0.021(0.011)	0.015(0.001)
<b>Post aplicación</b>	0.02(0.01)	0.017(0.002)	0.021(0.012)	0.014(0.002)	0.02(0.01)	0.013(0.001)	0.014(0.001)	0.014(0.002)
<b>CAPA PROFUNDA</b>								
<b>CANALES</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Pre-aplicación</b>	0.013(0.002)	0.025(0.011)	0.019(0.011)	0.013(0.001)	0.032(0.023)	0.005(0.03)	0.017(0.003)	0.019(0.007)
<b>Aplicación</b>	0.013(0.001)	0.013(0.001)	0.016(0.009)	0.015(0.002)	0.026(0.013)	0.016(0.003)	0.014(0.002)	0.013(0.001)
<b>Post aplicación</b>	0.015(0.002)	0.021(0.011)	0.012(0.007)	0.014(0.004)	0.015(0.001)	0.017(0.004)	0.015(0.001)	0.016(0.002)

<b>Tabla 9:</b> Resultados de los Ratios durante la aplicación de hielo.							
<b>CAPA SUPERFICIAL</b>							
<b>CANALES</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
3.276	2.71	1.20	1.733	3.073	1.71	2.073	1.446
<b>CAPA PROFUNDA</b>							
<b>CANALES</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
1.336	1.746	1.11	2.633	2.753	1.92	2.35	2.133

