




FCM Facultad de Ciencias
Médicas · UNR

GMD Facultad Cs. Médicas
Biblioteca

TDM 2604

Tesis Doctoral

**Procesamiento sensorial y mecanismos
moduladores del dolor asociados a características
del músculo infraespinoso en individuos con y sin
dolor de hombro**

Lic. Leonardo Intelangelo

Director: Dr. Osvaldo Patiño

Codirector: Dr. José Biurrun Manresa

-2024-

AGRADECIMIENTOS

La presentación de esta tesis no hubiera podido realizarse sin la colaboración de una gran cantidad de personas. Quiero agradecer enormemente su aporte:

En primer lugar, a mis directores, al Dr. Osvaldo Patiño y al Dr. José Biurrun Manresa, quienes han sido mis disparadores y son mis modelos a seguir, y cuya motivación constante han hecho posible la realización de esta tesis.

A mis amigos y colegas de CUADI, un gran agradecimiento por contribuir constantemente al desarrollo de nuestra disciplina. Un especial gracias al Dr. Mauro Barone y el Dr. Fernando Imaz por haber sido participes activos de este trabajo, y otro particular agradecimiento a Cristian Bustos por seguir mis locuras.

Al Dr. Christian Mista, otro gran hallazgo en mi carrera, un gracias totales por ser parte fundamental de este trabajo.

Un agradecimiento especial al Dr. Alexandre Barbosa y al Dr. Daniel Jerez-Mayorga por confiar en mí, en esta aventura de ser investigador ¡gracias amigos!

A mis padres, Oni y Nico por su amor y confianza. Sin ellos esto no hubiera sido posible.

A mi familia Dani e Isa, por su apoyo, su paciencia, por acompañarme en cada paso que doy. Mi más profundo agradecimiento, respeto y amor.

A todos...GRACIAS

Los resultados de este trabajo final dieron lugar a las siguientes publicaciones:

Resúmenes:

1) Generalizability of a new experimental model of acute muscle pain in humans based on short-wave diathermy. **L. Intelangelo**, C. A. Mista S. Laugero, J. Adur, Ole K. Andersen, J. A. Biurrun Manresa. 13th Congress of the European Pain Federation (EFIC) in Budapest, Hungary from 20-22 September 2023.

2) Electrophysiological and biomechanical characterization of the effects of dry needling for treating chronic unilateral shoulder pain. **L. Intelangelo**, C. Mendoza, I. Lassaga, A. Carvalho Barbosa, J. A. Biurrun Manresa, C. Mista. 13th Congress of the European Pain Federation (EFIC) in Budapest, Hungary from 20-22 September 2023.

3) Experimental Pain Model Based on Short-wave Diathermy Replicates the Clinical Experience of Chronic Shoulder Pain. **L. Intelangelo**, C. A. Mista, M. Barone, F. Imaz, S. Laugero, J. Adur, Ole K. Andersen, J. A. Biurrun Manresa. World Congress on Pain. (IASP) in Amsterdam, Netherlands from 5-9 August 2024.

Publicaciones:

1) **Intelangelo L**, Bordachar DJ, Mendoza CI, Imaz F, Barone M, Barbosa AW. Effect of different postures of the scapular girdle and arm on the pressure pain threshold in the infraspinatus muscle. *J Bodyw Mov Ther.* 2021;28:276-282. doi:10.1016/j.jbmt.2021.08.001

2) **Intelangelo L**, Bordachar D, Mendoza C, et al. Pressure pain threshold mappings of the infraspinatus muscle in chronic unilateral shoulder pain patients do not reflect generalized hypersensitivity. *Musculoskelet Sci Pract.* 2022;58:102495. doi:10.1016/j.msksp.2021.102495

3) Mista CA, **Intelangelo L**, Biurrun Manresa J. Personalized pain management: The relationship between clinical relevance and reliability of measurements. *Eur J Pain.* 2023;27(9):1056-1064. doi:10.1002/ejp.2110

4) **Intelangelo L**, Mendoza C, Lassaga I, Barbosa AC, Biurrun Manresa J, Mista C. No Evidence of Short-term Changes in Muscle Activity Elicited by Dry Needling in Chronic Unilateral Shoulder Pain Patients. *Clin J Pain*. 2023;39(11):595-603. Published 2023 Nov 1. doi:10.1097/AJP.0000000000001151

5) **Intelangelo L**, Mista CA, Barone M, et al. Spatiotemporal characterization of an experimental model of muscle pain in humans based on short-wave diathermy. *Eur J Pain*. Published online July 9, 2024. doi:10.1002/ejp.2309

ÍNDICE

Abreviaturas	I
Resumen	II
1. Introducción	1
1.1 Dolor de hombro.....	1
1.2 Perspectiva sensorial del dolor de Hombro.....	3
1.3 Perspectiva motora del dolor de Hombro	6
1.4 Modelos experimentales de dolor de hombro	8
1.5 Bases neuroanatomía del dolor de hombro	9
1.6 Neuroinflamación.....	13
1.7 Mecanosensibilidad del músculo infraespinoso	14
1.8 Hipótesis de trabajo.....	16
2. Objetivos	17
2.1 Objetivos generales.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3. Métodos	18
3.1. Diseño del estudio y participantes.....	18
3.2. Selección de la muestra	18
3.3. Pruebas sensoriales cuantitativas	19
3.3.1. Modulación condicionada del dolor	19
3.3.1.1. Protocolo de la modulación condicionada del dolor.....	19
3.3.2. Umbrales de sensibilidad térmica	20
3.3.2.1. Protocolo de los umbrales de sensibilidad térmica	21
3.3.3. Umbral de dolor por presión.....	22
3.3.4. Sensación de posición de la articulación del hombro.....	22
3.4. Evaluación de la distribución espacial del dolor	23
3.5. Cuestionarios de intensidad de dolor, calidad del dolor, duración de los síntomas y el impacto de los factores psicosociales.....	24
3.6. Diatermia por onda corta.....	25
3.6.1. Aplicación de diatermia por onda corta	25
3.7. Actividad Muscular	26

3.7.1. Actividad muscular durante tareas isométricas y de fatiga del hombro	26
3.7.2. Registro y preprocesamiento de la actividad muscular	27
3.8. Consideraciones sobre el tamaño de la muestra	28
3.9. Procedimiento experimental.....	29
3.10. Estadística	30
4. Resultados	32
4.1. Características de la población	32
4.2. Intensidad del dolor	32
4.3. Umbrales de dolor a la presión.....	33
4.4. Modulación condicionada del dolor e intensidad del dolor durante MDC.....	35
4.5. Umbrales de sensibilidad térmica.....	36
4.6. Sensación de posición de la articulación del hombro	38
4.7. Distribución espacial y calidad del dolor.	39
4.8. Análisis de la actividad electromiográfica	41
4.8.1. Análisis de la amplitud de la señal durante las tareas isométricas	41
4.8.2. Análisis de la frecuencia media durante las tareas isométricas.....	43
4.8.3. Análisis de la tasa de frecuencia media durante la tarea fatigante	44
5. Discusión	46
5.1. Intensidad del dolor y umbral de dolor a la presión.....	46
5.2. Sensación de posición de la articulación.....	47
5.3. Distribución espacial del dolor.....	48
5.4. Calidad del dolor	48
5.5. Modulación condicionada del dolor e intensidad del dolor	49
5.6. Umbrales de sensibilidad térmica.....	52
5.7. Análisis topográfico de la amplitud y la frecuencia media de EMG de los músculos infraespinoso y deltoides	54
5.8. Análisis de la tasa de frecuencia media del EMG durante la tarea fatigante ...	56
5.9. Limitaciones y fortalezas	58
6. Conclusiones	59
7. Bibliografía	60
8. Anexos	I
• Anexo I. Confiabilidad del modelo de Modulación condicionada del dolor.	
• Anexo III. Confiabilidad del modelo de Pruebas cuantitativas sensoriales.	

- **Anexo V.** Valores de F (post hoc) de los niveles de actividad del músculo infraespinoso durante las tareas isométricas.
- **Anexo V.** Valores de F (post hoc) de la frecuencia media del músculo infraespinoso durante las tareas isométricas.
- **Anexo VIII.** Valores de F (post Hoc) de la frecuencia media del músculo infraespinoso durante las tareas fatigantes.
- **Anexo XI.** Ficha de datos personal.
- **Anexo VII.** Cuestionario de los Cirujanos Americanos de Hombro y Codo.
- **Anexo VIII.** Cuestionario de Dolor Musculoesquelético de Örebro.
- **Anexo XVI.** Cuestionario Internacional de Actividad Física.
- **Anexo XVIII.** Programa de relajación pos inducción por Diatermia por onda corta.
- **Anexo XIX.** Publicaciones.

ABREVIATURAS

DH	Dolor de hombro
DOC	Diatermia por onda corta
DUH	Dolor unilateral de hombro
EVA	Escala analógica visual
IE	Músculo infraespinoso
MCD	Modulación condicionada del dolor
PGM	Puntos gatillo miofasciales
QST	Pruebas cuantitativas sensoriales
SC	Sensibilización central
SN	Sistema nervioso
SP	Sensibilización periférica
UDC	Umbral de detección al calor
UDF	Umbral de detección al frío
UDP	Umbral de dolor a la presión
UTC	Umbral de tolerancia al calor

RESUMEN

El dolor de hombro (DH) se considera una afección musculoesquelética y un problema de salud altamente prevalente, con una alta contribución a la carga global de discapacidad, y laboral. Entre las causas, el diagnóstico más frecuente es el síndrome de fricción subacromial. A pesar de la extensa literatura generada en torno a este síndrome, hoy en día no existe un consenso con respecto a los mecanismos de desarrollo del mismo, siendo su origen considerado de naturaleza multifactorial. Actualmente, se considera que la sensibilización del tejido miofascial de la musculatura del hombro juega un rol potencial. En este sentido, la presencia de puntos gatillos miofasciales (PGM) son una muestra de estos cambios.

El desarrollo de dolor crónico es una complicación frecuente en las afecciones de DH. La mitad de este tipo de pacientes presentan dolor persistente incluso después de un periodo de seis a doce meses desde el inicio del tratamiento del dolor. En los pacientes con dolor crónico de hombro, existen pruebas escasas y contradictorias de una hiperalgesia mecánica generalizada, así como algunos síntomas característicos de la sensibilización central (SC). Por otra parte, con frecuencia existe una discrepancia entre las causas periféricas del dolor y la magnitud del dolor y la discapacidad.

Se ha propuesto que los PGM son el resultado de fenómenos de sensibilización periférica, y que son fuente de aferencias nociceptivas y actividad eléctrica espontánea, lo cual a su vez resulta en la SC a nivel del asta dorsal de la médula. En otras palabras, la activación persistente de los nervios periféricos provoca modificaciones en el mecanismo de señalización del dolor, con un aumento de la excitabilidad de las fibras aferentes y una disminución del efecto inhibitorio de las vías moduladoras descendentes del dolor. Esto significa que los procesos de dolor periférico y central pueden contribuir a la presentación clínica del dolor persistente del DH. Por lo tanto, determinar si en el DH crónico predomina el mecanismo nociceptivo o nociplástico, podría contribuir a direccionar las conductas terapéuticas. Por tales motivos, el objetivo del presente estudio fue determinar los cambios en el procesamiento sensorial y en los mecanismos moduladores de dolor asociados a características del músculo infraespinoso en individuos con y sin DH crónico.

El análisis topográfico de la amplitud y la frecuencia media de la señal EMG del músculo infraespinoso mostró un comportamiento similar entre el grupo con dolor unilateral de hombro y el control. En general, el dolor experimental inducido por DOC reprodujo con precisión la calidad de la experiencia clínica del DH.

El actual trabajo determinó que no existen alteración, ni diferencias en las vías moduladoras descendentes entre ambos grupos. La diferencia y la magnitud de los umbrales térmicos al calor muestran parcialmente una alteración del procesamiento sensorial comparado con el grupo control. En general, el dolor experimental inducido por diatermia reprodujo con precisión la calidad de la experiencia clínica del dolor de hombro. Teniendo en cuenta el subgrupo seleccionado y la metodología empleada en el experimento, podemos inferir que la influencia del SN en este cuadro de dolor es de predominio del mecanismo nociceptivo.

1. INTRODUCCION

1.1. Dolor de hombro

El dolor de hombro (DH) se considera una afección musculoesquelética y un problema de salud altamente prevalente,⁶⁸ con una alta contribución a la carga global de discapacidad,²⁰ y ausencia laboral.²⁷ Se estima que el 70% de la población experimentará DH en su vida.²⁴ En las sociedades occidentales, la prevalencia anual oscila entre el 20% y el 50%, afectando diferentes rangos etarios.¹⁹ Se ha reportado una incidencia de 29.3 por 1000 individuos/año, siendo el dolor más común en mujeres de 45 a 64 años. Sin embargo, en sujetos entre 18 y 44 años, la incidencia es aproximadamente del 23%.¹⁰⁶ Esta diferencia en la prevalencia probablemente se explica por diferentes definiciones de casos, grupos de edad y diferencias de género.⁴² En este sentido, se sabe que la prevalencia aumenta con la edad,¹³¹ y a menudo se asocia con una resolución incompleta de los síntomas.¹¹⁰

El diagnóstico más frecuentemente asociado al DH es el síndrome de fricción subacromial.¹⁴⁴ A pesar de la abundante literatura generada en torno a este síndrome, hoy en día no existe un consenso con respecto a los mecanismos de desarrollo del mismo, siendo su origen considerado de naturaleza multifactorial.^{5,120} El síndrome de fricción subacromial se asocia con inflamación, degeneración de bolsas subacromiales y tendones, pero también ha sido implicado como el mecanismo desencadenante para alteraciones fisiopatológicas en el manguito rotador.^{88,110} En su revisión narrativa, Lo y cols. concluyen que el componente principal puede ser un trastorno bioquímico que desencadena inflamación tisular y dolor, en lugar de una lesión mecánica por uso excesivo.⁸⁰ Por otro lado, los factores mecánicos, los cambios neuropáticos y la sensibilización central (SC) ^a pueden ocurrir simultáneamente como factores contribuyentes en distintos grados. Cada destacar que estas conclusiones se extraen de grupos de estudios clínicos con edades mayores a 40 años.⁸⁰ Aunque su etiología no es

^a *Sensibilización*: aumento en la capacidad de respuesta de las neuronas nociceptivas a sus entradas normales y/o reclutamiento de una respuesta a entradas normalmente subumbrales. Clínicamente, la sensibilización sólo puede deducirse indirectamente de fenómenos como la hiperalgesia o la alodinia.

Sensibilización central: aumento en la capacidad de respuesta de las neuronas nociceptivas del sistema nervioso central a su entrada aferente normal o subumbral.

completamente conocida, hay autores que consideran que el DH tiene un origen mecánico, y que la sensibilización del tejido miofascial de la musculatura del hombro juega un rol potencial.^{58,62,66} **(Figura 1)**

Típicamente, el dolor se manifiesta en la región anterolateral y/o anterosuperior del hombro,¹⁰⁷ y se exagera ante posturas sostenidas y movimientos repetitivos de elevación de la extremidad por encima de la cabeza. Excluyendo las lesiones traumáticas, el DH en sujetos jóvenes es resultado de un cuadro de sobreuso que conduce a un síndrome de fricción subacromial o a una lesión del complejo bíceps-labral. Con frecuencia, el tratamiento conservador de estos cuadros no lleva al alivio de los síntomas, y el paciente experimenta un ciclo de cronificación del dolor que se asocia a una limitación progresiva en las actividades laborales, recreativas y deportivas.¹²⁹

El desarrollo de dolor crónico es una complicación frecuente en las afecciones que generan DH.¹⁰³ La mitad de este tipo de pacientes presentan dolor persistente incluso después de un periodo de seis a doce meses desde el inicio del tratamiento del dolor.⁶⁹ En los pacientes con dolor crónico de hombro, la evidencia es escasa y contradictoria acerca de la presencia de hiperalgesia mecánica generalizada, así como de otros síntomas característicos asociados a la SC.^{99,101,103,112,115} Por otra parte, con frecuencia existe una discrepancia entre las causas periféricas del dolor y la magnitud del dolor y la discapacidad.^{14,18}

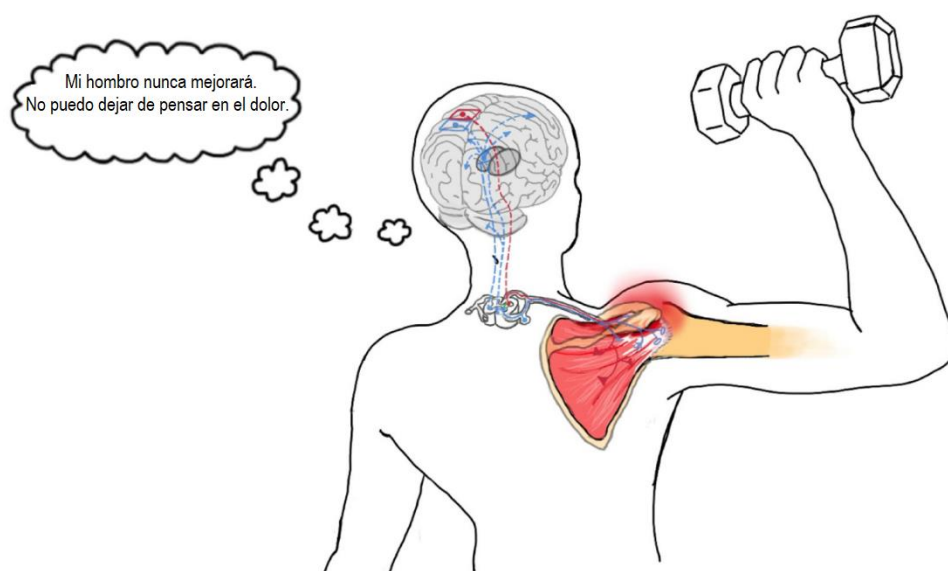


Figura 1: Ilustración de mecanismos propuestos para la comprensión del DH relacionado con el manguito rotador: estructura del tendón, factores neuromusculares, factores psicosociales y procesamiento del dolor y sensorio motor (adaptado de ¹³⁸).

1.2. Perspectiva sensorial del dolor de hombro

En años recientes, se ha puesto un interés creciente en el estudio de la influencia de cambios en el tejido miofascial en el desarrollo y la perpetuación del DH. Como resultado, diversos estudios han reportado que los pacientes con DH no traumático tienen elevada prevalencia de puntos gatillos miofasciales (PGM).^{5,22,66,84} Los PGM suelen caracterizarse por una banda tensa y un punto hipersensible.^{48,79} Además, la compresión del PGM se asocia con la presencia de dolor clínico y dolor referido (o, más generalmente, sensaciones referidas), y también puede producir síntomas informados por pacientes con DH, como respuestas motoras y autonómicas alteradas.⁵² En línea con esto, Bron y cols. evidenciaron un mayor número de PGM en el lado del hombro doloroso, siendo el PGM más frecuente el del músculo infraespinoso, con alrededor del 77% de las ocurrencias (**Figura 2**).²¹

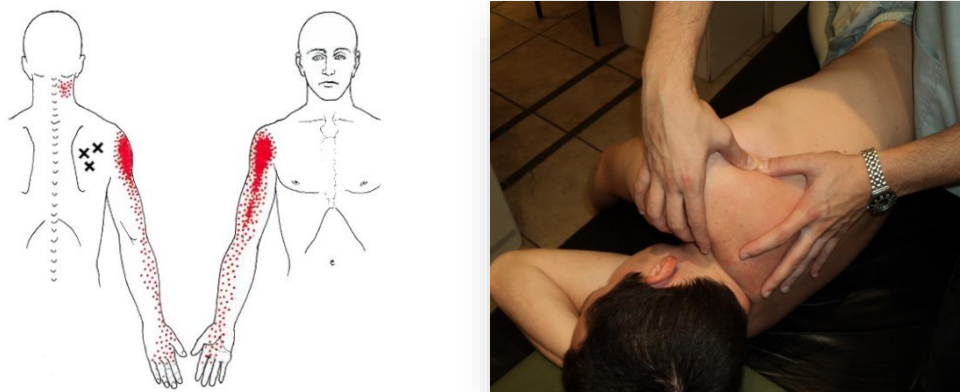


Figura 2: Izquierda, localización de los PGM en el músculo infraespinoso con el patrón típico de dolor referido ¹¹¹; Derecha, palpación de un PGM en el músculo infraespinoso.

De acuerdo con el modelo de las lesiones por esfuerzo repetitivo propuesto por Lynn B,⁸² el estrés mecánico excesivo sobre un tejido, estructura o región musculoesquelética conlleva a las alteraciones del entorno químico de los nociceptores periféricos, y simultáneamente a la inflamación del tejido miofascial y a la alteración del ambiente químico del nervio periférico, lo que resulta en descargas ectópicas hacia el sistema nervioso central.⁸² (**Figura 3**) Se ha propuesto que los PGM son el resultado de

fenómenos de sensibilización periférica (SP)^b, y que son fuente de aferencias nociceptivas y actividad eléctrica espontánea, lo cual a su vez resulta en SC, potencialmente a nivel del asta dorsal de la médula.³⁶ En otras palabras, la activación persistente de los nervios periféricos puede provocar modificaciones en el mecanismo de señalización del dolor, con un aumento excitabilidad de las fibras aferentes y una disminución efecto inhibitor de las vías moduladoras descendentes del dolor.⁵⁷

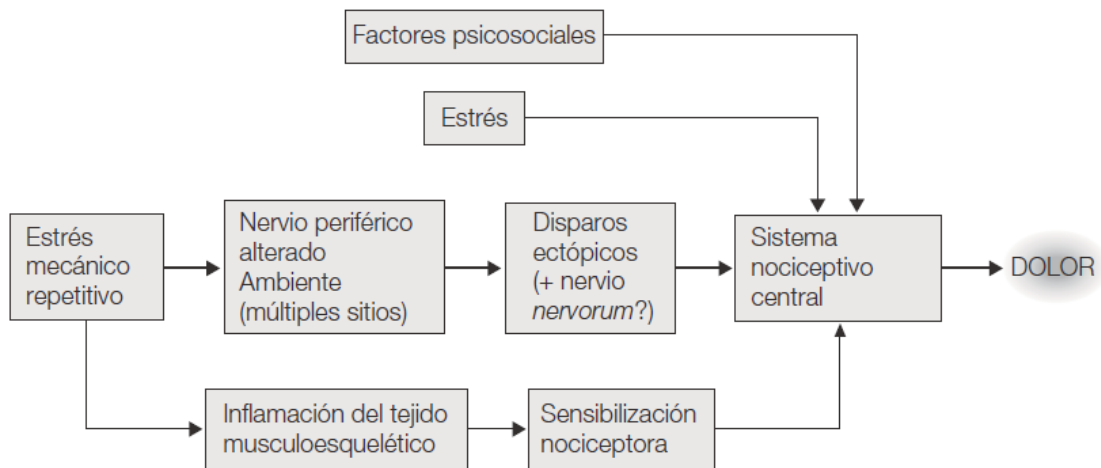


Figura 3: Modelo de Lynn integra la influencia del estrés mecánico repetitivo con la de los factores psicossociales, y proporciona un marco para pensar todos los cuadros de dolor crónico relacionados con el sobreuso.

En parte, esto puede verse reflejado en la mayor cantidad de PGM activos en el lado del hombro afectado. Como puede observarse, la presencia de PGM y SC y SP asociadas, son los procesos neurofisiológicos que pueden por sí solos ser responsables de la perpetuación y cronificación de los síntomas, y conducir a un peor resultado clínico después del tratamiento de la enfermedad primaria.^{59,69,112} Esto significa que los procesos de dolor periférico y central pueden contribuir a la presentación clínica del DH persistente.^{33,101,102} Por lo tanto, determinar si el DH crónico es una condición predominantemente nociceptiva (dolor nociceptivo)^c o nociplástica (dolor nociplástico)^d, podría contribuir a direccionar las conductas terapéuticas.

^b *Sensibilización periférica:* Mayor capacidad de respuesta y umbral reducido de las neuronas nociceptivas en la periferia a la estimulación de sus campos receptivos.

^c *Dolor nociceptivo:* Dolor que surge de un daño real o potencial al tejido no neuronal y se debe a la activación de los nociceptores.

^d *Dolor nociplástico:* Dolor que surge de una nocicepción alterada a pesar de que no hay evidencia clara de daño tisular real o potencial que cause la activación de los nociceptores periféricos o evidencia de enfermedad o lesión del sistema somatosensorial que causa el dolor.

En la actualidad, no existen medidas directas de la SC ni un método “estándar de oro” para identificarla.¹⁰⁰ Las pruebas cuantitativas sensoriales (QST por sus siglas en inglés, de *quantitative sensory testing*) implican medidas psicofísicas diseñadas para evaluar la sensibilización, son consideradas subjetivas frente a otras como la resonancia magnética funcional cerebral.⁹⁸ Las QST se pueden combinar utilizando diferentes estímulos sensoriales, y se han desarrollado múltiples protocolos de QST para investigar la función sensorial del sistema nervioso, y también se utilizan para investigar los mecanismos del dolor central y periférico en pacientes con diversas afecciones de dolor musculoesquelético.¹⁰⁹ La mayoría de los protocolos de QST permiten la evaluación del dolor mediante distintas modalidades de estimulación: térmica, eléctrica, táctil^e o por presión mecánica (punzante o roma).¹⁰⁹ En relación a las diferentes modalidades de QST y la predominancia de mecanismos centrales o periféricos en el DH, existe evidencia limitada y contradictoria. A manera de ejemplo, Kuppens y cols. no encontraron características compatibles con SC en un grupo de pacientes con DH, basadas en la ausencia de alteraciones en los umbrales de detección mecánica, dolor por presión, y vibración, en los mecanismos dinámicos de modulación del dolor, ni en los aspectos psicológicos relacionados con la vigilancia del dolor y el catastrofismo. Sin embargo, las medidas locales de la función sensorial se realizaron sólo en el vientre del músculo trapecio superior, y sólo se evaluó el dolor a la sensibilidad mecánica.⁷⁴ Conclusiones similares fueron reportadas por Haik y cols.⁵⁹

En contraposición, reportes de Coronado y cols. y Paul y cols. informaron sobre hiperalgesia mecánica generalizada^{28,85}, aumento de la sumación temporal local del dolor por estímulos térmicos y la disminución de la efectividad de los mecanismos inhibitorios descendentes en pacientes con DH.¹³⁴ Recientemente, Hollis y cols. reportaron presencia de signos clínicos de procesamiento sensorial alterado y malos resultados de salud en 119 pacientes con DH.⁶³ Otra evidencia que apoya estos resultados es la manifestación clínica de las tendinopatías de la extremidad superior con respecto a la extremidad inferior. En general, las tendinopatías de la extremidad superior se identifican déficits sensoriomotores y sensibilidad local, regional y remota, lo que sugiere una participación de mecanismos centrales.¹¹⁵

^e En el caso de alodinia.

Recientemente, Previtali y cols. mostraron en su metaanálisis que la sensibilización a los estímulos que evocan dolor afecta a un elevado número de pacientes con DH, con una prevalencia que varía entre el 29% y el 77% basada en evaluaciones mediante QST. Por otro lado, las evaluaciones basadas en cuestionarios de dolor permitieron detectar una tasa más baja de sensibilización al dolor que las pruebas de QST, pudiendo documentar síntomas de disfunción del sistema nervioso periférico o central ubicada entre el 11% y el 24%.¹¹² Estas discrepancias podrían explicarse por diferencias metodológicas, cuadros clínicos, y rangos etarios diferentes. En una reciente revisión sistemática, Bilika y cols. concluyen que existe una necesidad de mejorar las propiedades psicométricas de estas pruebas en pacientes con DH.¹⁸ En este sentido, adquiere relevancia definir un subgrupo clínico, como también regiones anatómicas o tejidos de relevancia clínica, y determinar si estos mecanismos estarían presentes en el DH. Se podría sospechar que, en sujetos con DH sin cambios degenerativos, la hiperalgesia generalizada podría no ser un rasgo prevalente. Sin embargo, resulta necesario ampliar el conocimiento en este campo, lo que contribuiría al pronóstico y a la planificación de las estrategias de rehabilitación.

1.3. Perspectiva motora del dolor de hombro

Otro aspecto poco esclarecido en relación con el dolor musculoesquelético es el concerniente a las alteraciones asociadas en la actividad de la musculatura vinculada a la región o estructura afectada. Las dos teorías principales al respecto son la teoría del círculo vicioso y el modelo de adaptación al dolor.¹⁰⁸ La primera esencialmente propone que un factor iniciador, como una anomalía estructural, postural o cinemática, conduce a hiperactividad muscular, que a su vez provoca espasmo y fatiga, y por lo tanto incrementa el dolor y la disfunción, perpetuando el ciclo. El modelo de adaptación al dolor de Lumb y cols., cuenta con mayor soporte científico, y sugiere que la presencia de dolor modifica el control motor de manera que, durante cualquier movimiento angular, la actividad de los músculos agonistas disminuye, mientras que la de los músculos antagonistas se incrementa.⁸¹ El objetivo de estos cambios sería reducir la amplitud y la velocidad del movimiento, protegiendo la estructura afectada. En una revisión integradora basada en estudios experimentales y clínicos, Arendt-Nielsen y Graven-Nielsen señalan que los efectos que el dolor induce en la actividad muscular dependen de la tarea motora específica, concluyendo que: 1) el dolor muscular no incrementa la actividad muscular en reposo; 2) el dolor disminuye la máxima contracción voluntaria isométrica por

mecanismos de modulación central; y 3) la adaptación funcional al dolor produce aumento de la actividad de los músculos antagonistas y disminución de la actividad de los agonistas.¹¹ Ambas teorías destacan la compleja relación entre el dolor musculoesquelético crónico y la función motora, y enfatizan la naturaleza multifacética de la influencia del dolor en el sistema sensoriomotor.^{10,130}

Por otro lado, diversas investigaciones han evaluado los cambios en la actividad muscular en presencia de DH. En pacientes con síndrome de fricción subacromial, Reddy y cols. reportaron disminución de la actividad del músculo infraespinoso en el rango de 30° a 90° de flexión en plano escapular, concluyendo que el déficit en la depresión de la cabeza humeral puede conducir a fricción subacromial.¹¹³ Similares resultados documentan Skolimowski y cols., sobre 58 individuos con síndrome de fricción subacromial entre 24 y 85 años con un promedio de 40 meses de dolor.¹²³ Al parecer, el dolor inducido como el adquirido afecta aspectos tanto de la cinética como de la cinemática del hombro. Sin embargo, la mayoría de los estudios basados en electromiografía de superficie (EMG) utilizan un solo canal de registro por músculo, y esto puede conllevar a interpretaciones erróneas. **(Figura 4)** Una alternativa menos estudiada para el análisis de la actividad eléctrica muscular es mediante la implementación de múltiples canales monopolares en un mismo músculo. Esto permite el monitoreo más preciso del reclutamiento de unidades motoras preferente de diferentes partes del músculo durante tareas específicas,^{44,60} por ejemplo, la fatiga y la recuperación. La recuperación después de la fatiga desempeña un papel importante no solo en el éxito deportivo, sino también en la recuperación y la prevención daño de la fibra muscular durante el entrenamiento y la rehabilitación. En este aspecto, es indispensable precisar cómo influye el dolor inducido en la reorganización de la coordinación entre las diferentes fibras del músculo infraespinoso, su relación con el músculo deltoides (por ser antagonico), y con la cinemática durante una tarea funcional. Conocer estos patrones contribuiría a conocer mejor la biomecánica de activación de este músculo durante la fase de rehabilitación.

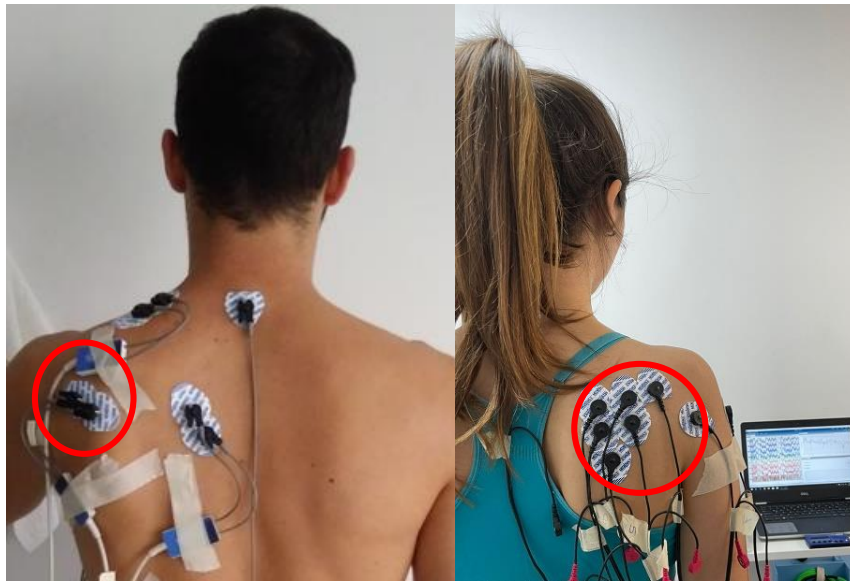


Figura 4: Derecha, registro de la EMG del músculo infraespinoso con un solo canal; Izquierda, aplicación de múltiples canales sobre el mismo músculo.

1.4. Modelos experimentales de dolor de hombro

Los modelos experimentales de dolor muscular probados en voluntarios sanos son técnicas útiles para estudiar los aspectos funcionales del dolor de tejido profundo.⁵⁷ En este sentido, la correlación entre el dolor muscular experimental y las alteraciones en el control motor no se puede extrapolar directamente al dolor muscular crónico observado en entornos clínicos.⁵⁷ Sin embargo, estos modelos pueden proporcionar información adicional para mejorar el tratamiento del dolor musculoesquelético.¹⁴² Quizás el modelo experimental de DH más utilizado sea la inyección de solución salina hipertónica en el músculo supraespinoso o el espacio subacromial en voluntarios sanos^{16,35,40,126,141,142}, y menos frecuentemente en el músculo infraespinoso.^{73,76} En estudios experimentales, la inyección de solución salina hipertónica, tanto en el músculo supraespinoso como a nivel subacromial, produjo una disminución de la actividad de los músculos infraespinoso (0° a 60°)^{26,35,124} y deltoides anterior durante abducciones concéntricas, asociado a incremento de la actividad muscular del músculo dorsal ancho.³⁵ Otro hallazgo relacionado, reportado por Stackhouse y cols., es la disminución en la fuerza muscular de rotación externa asociada a la disminución de la actividad del músculo infraespinoso.¹²⁶ Estos resultados parecen apoyar la teoría de Lund. No obstante, el dolor muscular experimental afecta el comportamiento de la unidad motora de manera diferente dependiendo del nivel de fuerza de la contracción.⁸⁶

Algunas investigaciones han demostrado que las tasas de descarga de la unidad motora tienden a disminuir en presencia de dolor durante las contracciones de fuerza baja, mientras que tienden a aumentar su actividad con niveles de fuerza mayor.^{86,92} Esta respuesta diferencial es crucial para mantener la producción de fuerza durante el dolor agudo, pero puede aumentar la fatiga muscular y el estrés a largo plazo. Además, se ha observado que el dolor muscular inducido reduce el rendimiento de resistencia, altera el control motor y la activación cortical e influye en las respuestas perceptuales.¹¹⁹ Además, el dolor de corta duración puede alterar el equilibrio inhibitorio en la corteza motora primaria, con un aumento intracortical de intervalo corto y una inhibición observada en el área cortical de los músculos sometidos a dolor.⁹² Si bien estos modelos basados en sustancias algidas a menudo requieren procedimientos invasivos, los plazos para la inducción son relativamente cortos, y en general no son representativos de cuadros de dolores musculoesqueléticos crónicos.⁴⁹ Una alternativa a estas limitaciones, es utilizar diatermia de onda corta (DOC), que es un método seguro, no invasivo y confiable con el potencial de inducir dolor de forma controlada.^{39,65,94}

1.5. Bases neuroanatómicas del dolor de hombro

La articulación del hombro exhibe una biomecánica quizás de las más complejas del cuerpo humano. Actualmente, existen amplios conocimientos que permiten entender su funcionamiento. En este sentido, los músculos del manguito rotador son sin dudas las estructuras fundamentales del hombro, y, por otro lado, son la base del proceso degenerativo del hombro. Uno de los interrogantes con pocas respuestas es: *¿por qué duele el hombro?* Para empezar a comprender esto, es fundamental conocer su neuroanatomía. La inervación del hombro está representada por cuatro nervios periféricos^f: En la cara anterior el *nervio subescapular* (surgen en lo alto del cordón posterior del plexo braquial) que, además de inervar el músculo subescapular, inerva la

^f Nervio articular: esta inervado por fibras Aβ mielinizadas de diámetro grueso, fibras Aδ mielinizadas de diámetro pequeño y una alta proporción (alrededor del 80 %) de fibras C no mielinizadas. Las fibras C se subdividen en aferentes sensoriales o eferentes simpáticos, con aproximadamente el 50 % de cada una. Los nervios musculares consisten en axones de neuronas motoras, neuronas sensoriales y neuronas simpáticas posganglionares.

Las fibras articulares Aβ terminan como terminaciones corpusculares de los tipos Ruffini, Golgi y Pacini en la cápsula, ligamentos articulares, meniscos y periostio adyacente. Mientras que las fibras articulares Aδ y C terminan como terminaciones nerviosas no corpusculares o libres en la cápsula fibrosa, el tejido adiposo, los ligamentos, meniscos, el periostio y la membrana sinovial. En los músculos, las aferencias mielinizadas gruesas terminan como terminaciones organizadas, como husos musculares y órganos tendinosos, mientras que las fibras Aδ y C terminan como terminaciones nerviosas libres.

capsula anterior.^{33,147} El *nervio axilar* (el último nervio del cordón posterior del plexo braquial antes de que este último se convierta en el nervio radial) se divide en dos ramas principales en la parte inferior del subescapular, las ramas medial y lateral; la rama medial inerva el lado escapular de la cápsula anteroinferior, mientras que la rama lateral lo hace en el lado humeral de la cápsula anteroinferior. La rama muscular que inerva el músculo redondo menor, también emite una pequeña rama articular a nivel de la inserción de la cabeza larga del tríceps.^{33,147} Por su lado, el *nervio pectoral lateral* (surge del cordón lateral del plexo braquial, pasa superficial a los vasos axilares y perfora la fascia clavipectoral para alcanzar la superficie profunda del pectoral mayor) emite ramas a los ligamentos coracoacromial y coracohumeral en su camino lateral. Entre estos ligamentos luego se divide en dos ramas principales; uno pasa por debajo del ligamento coracoacromial para inervar la bursa subacromial, el otro pasa a través del ligamento coracohumeral para inervar la porción anterior de la articulación acromioclavicular.^{33,147}

Los nervios que contribuyen a la inervación de la articulación posterior son el *nervio supraescapular* y el *nervio axilar*. **(Figura 5)** El nervio supraescapular surge del tronco superior del plexo braquial. Una rama articular superior se separa del nervio principal a un promedio de 4.5 cm proximal al ligamento escapular transverso, juntos estos nervios pasan por debajo del ligamento escapular transverso y entran en la escotadura supraescapular. Después de entrar en la escotadura, el nervio gira lateralmente y libera una pequeña rama a los ligamentos coracoclaviculares. La rama articular principal luego avanza lateralmente entre el coracoides y el supraespinoso, se divide en dos ramas terminales en este punto; uno desciende para inervar el ligamento coracohumeral y la cápsula adyacente, el otro se divide en varias ramas pequeñas que inervan la bursa subacromial y la porción posterior de la cápsula articular acromioclavicular. La rama principal pasa a la fosa supraescapular donde libera una gran rama muscular que inerva el supraespinoso; a nivel de la espina escapular, una gran rama articular inferior se separa y viaja oblicuamente a la cápsula posterior. Esta rama articular inferior libera varias ramas que se desvían hacia arriba y hacia abajo para terminar donde el tendón del infraespinoso se fusiona con la cápsula posterior. El nervio supraescapular termina inervando al músculo infraespinoso.^{33,67,147}

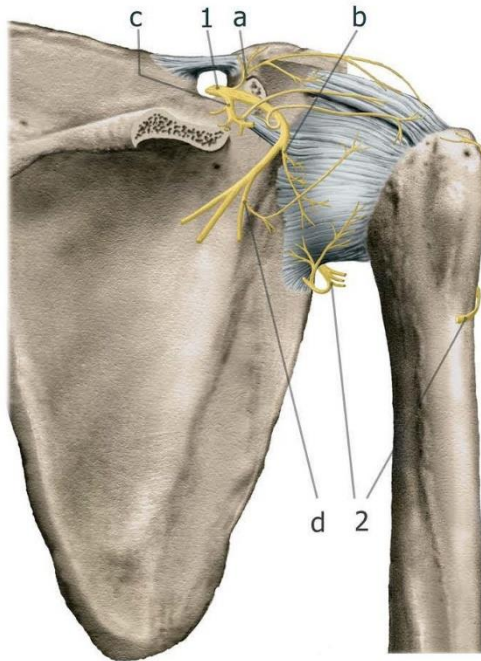


Figura 5: Ilustración de la neuroanatomía de la cara posterior del hombro. 1. Nervio supraescapular; a y b ramas articulares; c y d ramas motoras. 2. Nervio axilar.

Un aspecto común a destacar es que estos cuatro nervios tienen el mismo nivel de integración a nivel medular (cervical 5 - cervical 6), lo que significa que todas las aferencias sensoriales provenientes de las diferentes estructuras convergen en un mismo lugar.⁶⁷ Clínicamente, la irritación o lesión de algunas de las estructuras mencionadas se manifiestan con patrones de dolor similares (superposición de dolor), como consecuencia de una mecanosensibilidad de toda la metámera. Por este motivo, es bastante común encontrar estos cambios a nivel lateral del codo e incluso en la mano (y confundir un posible diagnóstico). El otro aspecto importante, es que el nervio supraescapular es el responsable del 70% de la inervación de la articulación del hombro, y tiene a su cargo la inervación de estructuras como los músculos supraespinoso e infraespinoso, y gran parte de los elementos articulares.²³ Puede que esta particularidad se relacione con mayor prevalencia de proceso degenerativo en las estructuras mencionadas, o con la prevalencia de PGM, aunque esto es una hipótesis sin confirmar. Existe evidencia que ha vinculado las rupturas del manguito rotador con la neuropatía de este nervio.⁵⁵ Durante la última década, la liberación de este nervio era un procedimiento complementario a la reconstrucción del manguito rotador, aunque esta indicación es controvertida.⁸³ Yang y cols. en su reciente meta-análisis, mostraron que agrega un beneficio adicional, aún en presencia de una neuropatía confirmada por estudios de conducción nerviosa.¹⁴⁶ Otros reportes recomiendan la liberación en caso de neuropatía preoperatoria.⁵⁴ La discusión de la influencia del SN en estas etapas del proceso degenerativo (rupturas masivas) podría

ser una mirada limitada, teniendo en cuenta que existen factores como el esfuerzo repetitivo o la pobre vascularización que pueden generar cambios homeostáticos y condicionar al tejido en forma desde estadios iniciales

Los modelos fisiopatológicos del dolor crónico son esquemas que agrupan la evidencia epidemiológica, experimental y clínica existente, con el fin de determinar un potencial riesgo de desarrollar una condición clínica o los cambios que produce una entidad clínica a nivel biológico, o intentando vincular ambos aspectos. El modelo de las lesiones por esfuerzo repetitivo de Lynn intenta explicar esto.⁸² Cada vez cobra más valor la idea que el SN sensibilizado o mecanosensibilizado forma parte de cuadros de dolor comunes que afecten al aparato locomotor (DH, epicondilitis, etc.), y que tiene una lectura similar a la interpretación del dolor inespecífico. Este modelo excluye a cuadros como el síndrome del túnel de carpo, donde ahí es evidente el compromiso del SN.

Se sabe que en el DH existe una alteración en los tejidos musculoesqueléticos que sufren procesos inflamatorios y cambios tróficos, entre otros, y que esta respuesta inflamatoria está asociada a mecanismos de sensibilización de los nociceptores que lo inervan (sensibilización que puede ser causa o consecuencia). Pero paralelamente, también como causa o consecuencia, hay una alteración del entorno químico o bioquímico del SN, que puede ser fuente de desarrollo de ectopias o de activación de los nociceptores relacionados con el nervi nervurum, y esto también ser fuente de nocicepción. Lo que se puede poner de manifiesto es que en el DH puede existir un trastorno de la mecanosensibilidad del SN, se sabe que la hay en los tejidos no nerviosos, como la bolsa subacromial o el manguito rotador, pero también del SN que lo inerva (procesos paralelos).⁸² **(Figura 6)**

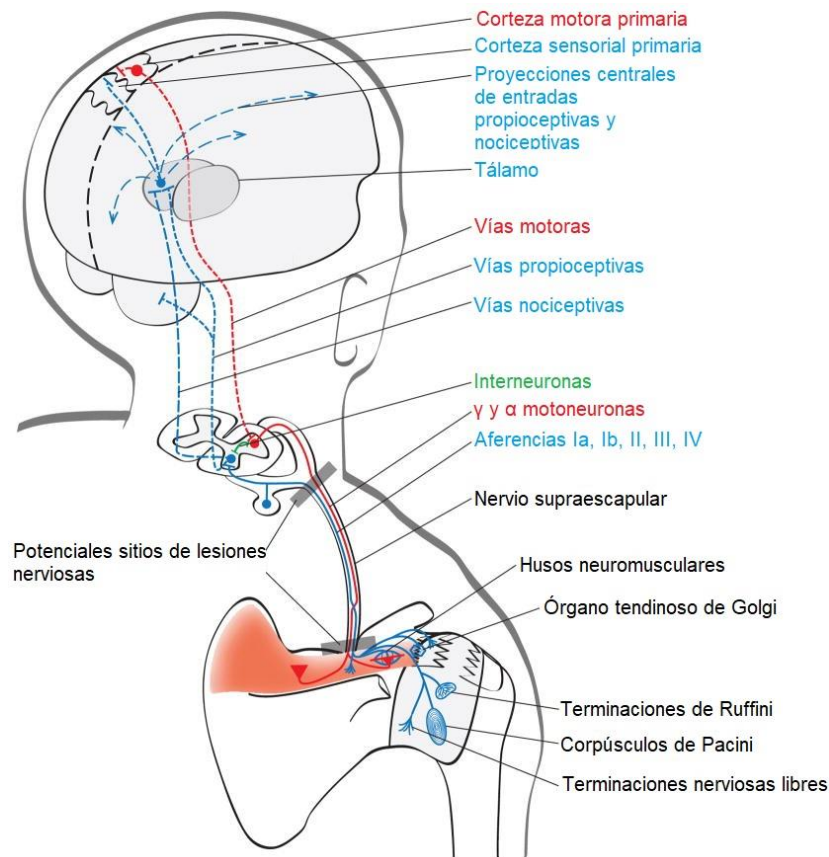


Figura 6: Ejemplo de posibles sitios de deterioro sensorial y motor asociado a lesión del tendón del supraespinoso. El daño de los tejidos blandos y/o las articulaciones y el entorno inflamatorio local sensibilizan a los nociceptores periféricos (nociceptores periféricos mecánicos o químicos de umbral alto (p. ej., terminaciones libres) que causan dolor y aumentan la sensibilidad de los centros centrales del dolor (sensibilización periférica y central, respectivamente). También pueden inducir deterioros en las salidas propioceptivas (husos musculares; órgano tendinoso de Golgi, terminaciones de Ruffini; corpúsculos de Pacini) y en el procesamiento central de la información propioceptiva (vías propioceptivas; corteza sensorial primaria). Las neuronas motoras que inervan fibras musculares extrafusales e intrafusales (neuronas motoras α y γ , respectivamente) pueden sufrir igualmente remodelación y deterioro. La unión neuromuscular también puede alterarse como resultado de la actividad neuronal reducida, deterioros musculares y alteraciones centrales dentro del sistema nervioso motor (adaptado de ¹³).

1.6. Neuroinflamación

Los nociceptores se activan en condiciones normales por estímulos que presentan riesgo potencial o real de daño tisular en las estructuras profundas, como en los casos de sobrecarga mecánica, esguinces, compresión intensa y contracción bajo isquemia.⁸⁹ Una característica como la plasticidad funcional y química los hace capaces de modificar las entradas aferentes antes de que lleguen al SN central, y de ejercer también funciones eferentes en los tejidos periféricos (como proliferación celular, expresión de citocinas, inflamación, respuestas inmunes, liberación de hormonas) a través de su actividad antidrómica.²⁵ Esta propiedad única tiene a su cargo la homeostasis de los tejidos

musculoesqueléticos a través de una red de mecanismos reguladores tanto a nivel periférico como central.¹⁴⁵

Otra función de los nociceptores es la de iniciar, potenciar e incluso de atenuar la inflamación neurogénica mediante la liberación de sustancias neuroquímicas, como la sustancia P, el péptido relacionado con el gen de la calcitonina y el glutamato, principalmente. A este nivel las terminales aferentes primarias de las fibras C peptidérgicas interaccionan con células gliales y endoteliales liberando los mismos neuropéptidos, aumentando el flujo sanguíneo espinal y dando lugar a la neuroinflamación neurogénica.⁸⁹ Esta se diferencia de la inflamación clásica porque es desencadenada y regulada por actividad neuronal. Como se señaló anteriormente, en condiciones normales de actividad neuronal, los nociceptores ejercen funciones homeostáticas que resultan en plasticidad sináptica, neuroprotección, reparación y regeneración. Por el contrario, cuando los nociceptores se someten a una estimulación mecánica nociva y/o repetitiva, la liberación excesiva de neuroquímicos en el SN periférico y el SN central puede conducir a respuestas desadaptativas o, en los peores casos, respuestas neurotóxicas que afectarían el nivel de reversibilidad de los cambios y darían lugar a una patología crónica.¹⁴⁵ Tanto la inflamación neurogénica como la neuroinflamación pueden ser autosostenidas y autoamplificadas, y las reacciones homeostáticas y desadaptativas pueden ocurrir simultáneamente con las reacciones antiinflamatorias, lo que dificulta predecir la respuesta final.¹⁴⁵

Una de las consecuencias de la pérdida de la homeostasis es el crecimiento axonal; condición descrita en diferentes condiciones patológicas, como por ejemplo las tendinopatías.^{9,56,143} La proliferación axonal está representada por la liberación del factor de crecimiento neural de las fibras somatosensoriales y simpáticas.¹⁴⁵ En los tejidos musculoesqueléticos sanos, las terminaciones nerviosas libres se localizan en las superficies conectivas circundantes y alrededor de los vasos, sin estar en contacto con el tejido propiamente dicho.¹ Al dañarse el tejido, las terminaciones nerviosas libres invaden el tejido en un intento de curación, lo que puede dar como resultado una reparación y adaptación óptima, con la retracción posterior de las fibras nerviosas a su ubicación original en las vainas conectivas circundantes o una reparación fallida, en cuyo caso las fibras nerviosas no se retraen y persisten en el área de la lesión y degeneración del tejido (se organiza y responde frente a la sobrecarga y la lesión de manera similar en tendones, músculos y ligamentos).¹ Por lo tanto, el aumento de la liberación de neuropéptidos, así

como el brote axonal (asociado tanto con la señalización del dolor como con los cambios degenerativos), puede dar como resultado sensibilización y dolor crónico. Recientemente, una revisión sistemática identificó una serie de marcadores presentes en la neuroinflamación (sistema nervioso glutamatergico y simpático) en los tendones del manguito rotador, indicando que estos procesos están presentes en el hombro.¹⁴⁰

1.7. Mecanosensibilidad del músculo infraespinoso

La morfología macroscópica del músculo infraespinoso no ha sido descrita completamente.⁶⁶ Se sabe a partir de análisis histológicos y morfológicos que el músculo infraespinoso presenta predominantemente fibras musculares en los dos tercios proximales del músculo, con una mayor proporción de estructuras tendinosas en el tercio del extremo lateral.⁶⁶ Es interesante notar que la estimulación en el vientre muscular produce una mayor sensibilidad al dolor por presión (es decir, umbrales de dolor más bajos) en comparación con la estimulación en otras regiones. Por lo tanto, es natural esperar valores de umbral de dolor a la presión (UDP, definido como la presión mínima aplicada que evoca una sensación dolorosa) más bajos en regiones con mayores proporciones de tejido muscular.⁸ En una propuesta reciente de un mapa sensorial del músculo infraespinoso, los resultados concuerdan con esta noción (y en contraste con mapas de sensibilidad al dolor por presión del músculo infraespinoso informados anteriormente), mostrando un sitio de menor sensibilidad en el extremo lateral del músculo, es decir, en la región tendinosa.⁶⁶

Anteriormente se sugirió que las estructuras óseas subyacentes en esta área aumentan la dureza del tejido, lo que resulta en una mayor resistencia a la deformación en comparación con el vientre muscular, requiriendo así mayores intensidades de estimulación para alcanzar el umbral del dolor.⁴ La presencia de PGM podría ser otra razón anatómica para encontrar valores de UDP más bajos en el borde medial de la escápula. Se informó que tres PGM estaban alineados con los tres vientres del músculo infraespinoso. Estos puntos se ubicaron de la siguiente manera: 1) centralmente en la dirección horizontal directamente debajo de la espina de la escápula, 2) centralmente en la dirección vertical a lo largo del borde medial de la escápula, y 3) 1 cm superolateral al ángulo inferior de la escápula.^{22,121} **(Figura 2)** Se ha sugerido que estos PGM son concomitantes con tres bandas de la fascia infraespinosa.²² La fascia es un tejido resistente ricamente innervado con terminaciones nerviosas libres y receptores encapsulados.¹²⁷ Por lo tanto, la estimulación mecánica en estos sitios puede percibirse como dolorosa para

intensidades de presión más bajas en relación con otras ubicaciones. Nuestras investigaciones previas se corresponden con esta característica anatómica, ya que se encontraron valores de UDP más bajos para ambos grupos en los puntos más sensibles, es decir, alrededor del borde escapular del músculo infraespinoso.⁶⁶ (Figura 7)

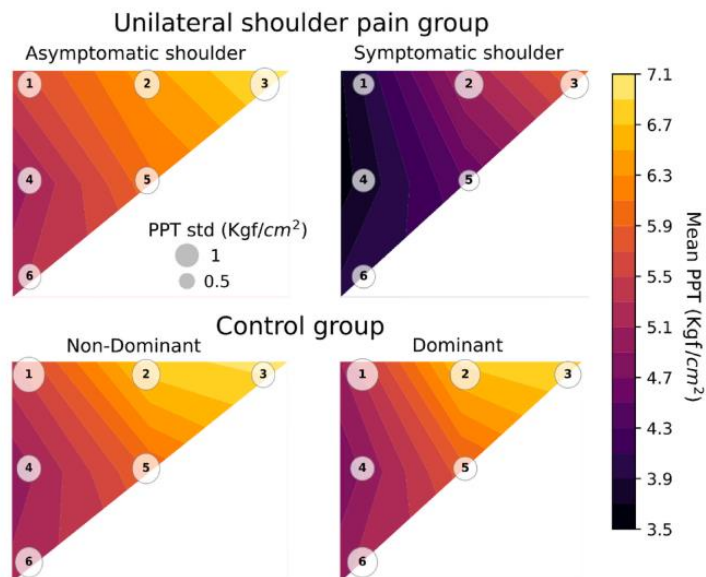


Figura 7: Mapas de sensibilidad al dolor por presión del músculo infraespinoso de los hombros dominante y no dominante (dominant and non-dominant) en voluntarios sanos (Control group) y de los hombros asintomáticos y sintomáticos (asymptomatic and symptomatic shoulder) de pacientes con dolor unilateral de hombro (Unilateral shoulder pain group). Los sitios de evaluación están resaltados con círculos numerados de color blanco. Los tamaños de los círculos representan la desviación estándar de los valores del UDP (PPT por sus siglas en inglés), y el valor medio de la medida está representado por diferentes colores utilizando contornos rellenos (reproducido de ⁶⁶).

Las diferencias en la inervación también podrían desempeñar un papel en la distribución de la mecanosensibilidad del músculo infraespinoso. Las fibras nerviosas distribuidas en el músculo infraespinoso llegan desde la rama distal del nervio supraescapular. Esta rama corre a lo largo de la fosa infraespinosa contra el hueso y luego se ramifica medialmente hacia el lado profundo del cuerpo muscular antes de penetrarlo. Por lo tanto, se plantea la hipótesis de que el estrés mecánico sobre el tejido nervioso sensibilizará el entorno en la región medial del músculo,¹⁴ aunque se requieren más estudios sobre la vascularización, la inervación y la organización morfológica del músculo infraespinoso para confirmar esta suposición. A partir de los diferentes reportes anatómicos como clínicos, postulamos a este músculo como una estructura de relevancia en diferentes procesos dolorosos de la extremidad superior, con mayor énfasis en la articulación del hombro.

1.8. Hipótesis de trabajo

En base a lo expuesto anteriormente, se hipotetiza que existen diferencias en el procesamiento sensorial del dolor, y que puede determinarse predominancia de mecanismos nociceptivos o nociplásticos. Para verificar la hipótesis, se estudió un subgrupo clínico de individuos jóvenes con dolor de hombro unilateral (DUH) crónico, que presentan como característica clínica distintiva la presencia de mecanosensibilidad en el músculo infraespinoso. Se implementaron protocolos clínicos de evaluación sensoriomotora previamente ensayados en la población de estudio, y teniendo en cuenta tejidos de relevancia clínica tanto a nivel local (músculo infraespinoso), como también a nivel regional (región del antebrazo). Finalmente, se evaluaron los mismos parámetros en un grupo control de voluntarios sanos asintomáticos, al que se le indujo posteriormente dolor experimental con DOC, para comparar las variables en estudio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar diferencias en el procesamiento sensorial y en los mecanismos moduladores de dolor asociados a características del músculo infraespinoso en individuos con y sin DUH.

2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar las respuestas moduladoras descendentes en individuos con y sin DUH.
- Establecer la existencia y magnitud de las diferencias en los umbrales térmicos locales y regionales entre individuos con y sin DUH.
- Evaluar diferencias topográficas en la activación del músculo infraespinoso durante la realización de una tarea funcional fatigante, en individuos con y sin DUH.

3. MÉTODOS

3.1. Diseño del estudio y participantes

Para la consecución de los objetivos, se realizó un estudio cuasiexperimental con dos grupos: voluntarios sanos (asintomáticos) y pacientes con DUH. Los voluntarios con DUH fueron reclutados entre pacientes que acudieron a consulta médica al Centro Universitario de Asistencia, Docencia e Investigación (CUADI, Rosario, Argentina), y por invitación a través de las redes sociales. Todos los voluntarios recibieron una explicación verbal y escrita del estudio, y se obtuvo un consentimiento informado por escrito antes de la inclusión. El estudio fue aprobado por el Comité de Investigación en Bioética para la Investigación en Humanos del Instituto Universitario Italiano de Rosario (Número de aprobación 25/20). Este estudio se registró en ClinicalTrials.org con el número de registro: [NCT05368649](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT05368649).

3.2. Selección de la muestra

Los potenciales candidatos fueron entrevistados individualmente y evaluados clínicamente para valorar los criterios de inclusión y exclusión. Se *incluyó* a los voluntarios que presentaban dolor de hombro unilateral (DUH), definido como el dolor que surge en el hombro o a su alrededor desde sus articulaciones y tejidos blandos circundantes, durante más de 3 meses y que eran sintomáticos en el momento de la evaluación.^{8,25} Además, se incluyó a los voluntarios que tenían entre 18 y 35 años. Otros criterios de inclusión fueron: intensidad del dolor ≥ 2 y ≤ 8 en la escala visual analógica (EVA), PGM activos en el músculo infraespinoso y la presencia de al menos 3 de los siguientes criterios: Signo de Neer positivo, test de Hawkins-Kennedy positivo, test de Jobe positivo, arco doloroso y la prueba de rotación externa resistida positiva.¹⁷ Un PGM activo se definió como la presencia de todos los criterios siguientes: punto hipersensible en una banda tensa palpable, contracción local palpable o visible a la palpación y reproducción de dolor referido provocado por la palpación del punto sensible.

Los *criterios de exclusión* fueron los siguientes: intervenciones quirúrgicas/traumatismos previos en la extremidad superior, tratamientos kinésicos recientes, antecedentes de trastornos neurológicos, trastornos sistémicos, lesiones de la columna cervical o deformidades posturales, inyecciones de cortisona en los últimos 6

meses, actividad inusualmente extenuante 48 h antes de la sesión de pruebas, inestabilidad glenohumeral, hiperlaxitud articular (Beighton > 4). Adicionalmente, se solicitó a los pacientes que se abstuvieran de tomar analgésicos al menos 48 h antes del experimento.

3.3. Pruebas sensoriales cuantitativas

3.3.1. *Modulación condicionada del dolor*

Esta es una medición psicofísica experimental de la vía endógena de inhibición del dolor en humanos. El paradigma utilizado consiste en aplicar un estímulo doloroso condicionante (de una modalidad determinada como frío, calor, presión, otras.) y determinar si el mecanismo inhibitorio de dolor funciona mediante la evaluación de cambios en las respuestas a otro estímulo doloroso de prueba (que puede o no ser de la misma modalidad que el estímulo condicionante).^{72,133} En humanos ha sido demostrado que la inhibición endógena de dolor es deficiente en una serie de poblaciones con dolor crónico, pero el alcance e incluso la presencia de disfunción es inconsistente. Parte de esta variabilidad en los hallazgos entre los estudios puede explicarse por las diferencias en los tipos de estímulo condicionante y de prueba empleados, las medidas de resultado del dolor adoptadas y las características de la población de dolor involucrada.⁷² Se sabe que varios factores individuales y ambientales influyen en MCD, como la edad, el sexo, ciclo menstrual, los factores psicosociales, la ingesta de cafeína y sustancias farmacológicas, y el momento de día de prueba, etc.⁷⁸ Estos factores de confusión, junto con mejoras en el diseño, cálculo de tamaño de la muestra, se establecen como recomendaciones para futuros protocolos de confiabilidad.^{47,72} Para dar respuesta a este punto, se diseñó, desarrollo y se estudió la confiabilidad de un protocolo de MCD sobre 30 voluntarios sanos. En el **Anexos I-II**, se encuentra los resultados que validan su confiabilidad.

3.3.1.1. *Protocolo de modulación condicionante de dolor*

La función de la vía inhibitoria se evaluó sumergiendo la mano hasta la muñeca en una batea de agua fría (0.6 - 0.8°C, temperatura que se logró llenando la batea con 10 litros de agua y 4 kg de hielo) con una bomba de agua circulante para mantener la temperatura estable. Se sumergió la mano del brazo dominante de los voluntarios asintomáticos y el lado sintomático en los voluntarios con DUH. En general, el estímulo condicionante se aplicó hasta alcanzar el umbral de tolerancia o durante 2 min (lo que ocurriera primero). Se utilizó una EVA computarizada y hecha a medida para realizar un

seguimiento continuo del perfil de respuesta a los estímulos condicionantes en todos los participantes durante la aplicación de la MCD (**Figura 8**). El rango de la EVA se definió entre 0 y 100, donde 0 representa la ausencia de percepción, 30 representa el umbral de dolor (definido como el tiempo para alcanzar una sensación dolorosa) y 100 representa el umbral de tolerancia (definido como la sensación de dolor cuando se vuelve intolerable). Antes e inmediatamente después de la inmersión, se evaluaron los UDP en ambos músculos infraespinosos.



Figura 8: Protocolo de modulación condicionada de dolor. Los voluntarios estaban sentados, con la mano seleccionada sumergida elegida hasta la muñeca. Con la mano libre, los voluntarios calificaron continuamente la intensidad del dolor en una EVA computarizada.

3.3.2. Umbrales de sensibilidad térmica

La medición precisa de la sensibilidad al dolor puede considerarse una parte esencial de la evaluación clínica.¹³³ A diferencia de los métodos tradicionales (como la electromiografía o la velocidad de conducción nerviosa) que se centran en las grandes fibras, éstas lo hacen sobre fibras finas (representan el 80% del cuerpo humano). La sensación de dolor en los tejidos profundos se transmite a través de fibras A δ (grupo III) y C (grupo IV) de pequeño calibre^g.¹³⁶ Son un método clínico factible para medir las

^g Las fibras nociceptivas δ se subdividen en dos clases principales: Tipo I A δ , responden a estimulación tanto mecánica como química, pero tienen umbrales de calor relativamente altos (>50–53 °C). Las fibras nociceptivas tipo II A δ tienen un umbral térmico mucho más bajo (47°C), pero un umbral mecánico muy alto. Las fibras A δ tienen una velocidad de conducción nerviosa de 5 a 30 m/s y son responsables de la percepción inicial del dolor agudo. Las fibras aferentes de pequeño diámetro también transmiten información térmica nociceptiva: A δ para sensación de frío y C para sensación de calor. Las fibras A δ tienen una frecuencia máxima de descarga entre 20 °C y 30 °C; a temperaturas > 40 °C o < 17 °C, estas fibras mantienen una baja frecuencia de descarga o se vuelven silenciosas.

La nocicepción al calor también corresponde a las fibras C y tienen un pequeño campo receptivo, con velocidades de conducción de 1 m/s y no responden a estímulos mecánicos. Presentan actividad continua a 30 °C, con frecuencia máxima de descarga entre 40 °C y 43 °C y actividad mínima a 50 °C, y con bajas temperaturas.

respuestas a los estímulos sensoriales y pueden utilizarse como indicador de la función neuronal o de la sensibilidad dolorosa alterada. El protocolo y la interpretación de las pruebas pueden centrarse en el umbral mínimo percibido, la localización, el umbral percibido como doloroso, la tolerancia o la diferenciación de las diferentes entradas sensoriales.¹³³ A diferencia de las medidas de conducción nerviosa, evalúan una respuesta subjetiva a un estímulo controlado y bajo control voluntario. Para la realización, se diseñó, desarrollo y se determinó la confiabilidad un termodo de bajo costo.⁹⁵ En el **Anexos III-IV**, se encuentra los resultados que validan su confiabilidad.

3.3.2.1 Protocolo de evaluación de umbrales de sensibilidad térmica

Los cambios en los umbrales de detección al frío y calor (UDF y UDC, respectivamente, en °C), y los umbrales de tolerancia al calor (UTC) se evaluaron mediante el Termodo (RUT-S, Argentina). El estímulo de frío/calor se aplicó sobre el área del músculo infraespinoso y sobre la cara anterior del antebrazo medial del brazo dominante para el lado sano y sintomático para los voluntarios con DUH. Las pruebas se realizaron en orden aleatorio, con los voluntarios sentados. Los estímulos se entregaron mediante una celda de Peltier con un contacto de 9 cm², en un rango de temperaturas entre 0 °C y 50 °C). La temperatura inicial se estableció en 30 °C y la piel se enfrió (UDF) o se calentó (UDC) a una velocidad de 1 °C/s hasta que los participantes informaron la primera sensación de frío/calor (UDF y UDC, respectivamente) y la sensación de tolerancia (UTC), tras lo cual el termodo retornó a una temperatura de 30 °C a una velocidad de 5 °C/s. Se tomó un intervalo de descanso de 30 s antes de la siguiente medida. Cada prueba se repitió 3 veces en cada punto de evaluación (**Figura 9**).

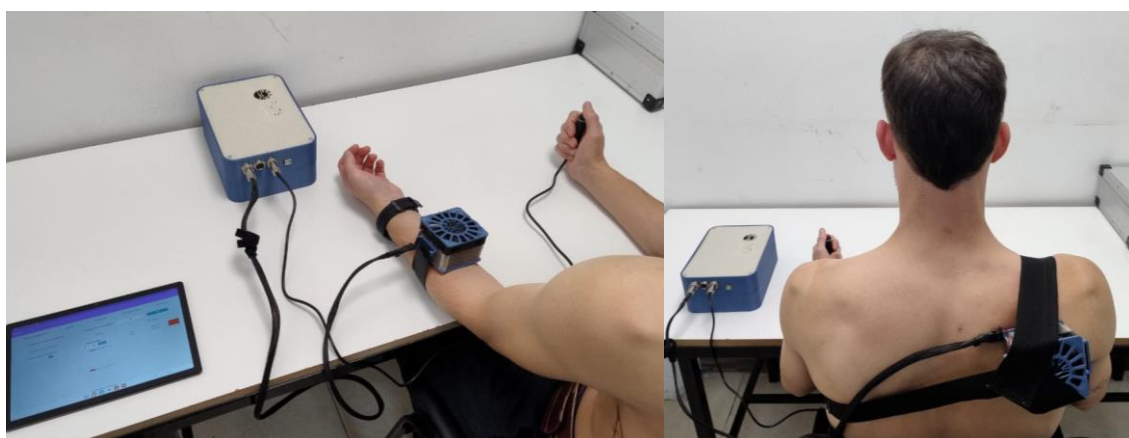


Figura 9: Medición de los umbrales térmicos sobre el antebrazo y en el vientre del músculo infraespinoso.

3.3.3. Umbral de dolor por presión

La prueba se lleva a cabo aplicando fuerza a un ritmo constante sobre un área conocida, para generar un estímulo de presión inicialmente no doloroso en constante aumento que se convierte en una sensación de presión dolorosa, momento en el cual el voluntario detuvo la prueba y se registró el valor de la presión. Un aumento del UDP se interpreta como una menor sensibilidad al dolor y viceversa. El UDP se evaluó mediante un algómetro digital (Somedic SenseLab AB, Suecia) con punta redonda de 1 cm² (**Figura 10**). La presión se aumentó gradualmente desde 0 kPa a una velocidad de aproximadamente 50 kPa/s (presión máxima alcanzable del algómetro: 2000 kPa). La evaluación se realizó bilateralmente en el vientre del músculo infraespinoso. La evaluación se repitió 3 veces para cada lado, alternando lados entre mediciones. Cada medida se realizó en intervalos de 30 s.



Figura 10. Medición del umbral de dolor por presión sobre el vientre del músculo infraespinoso.

3.3.4. Sensación de posición de la articulación del hombro

La propiocepción abarca la capacidad de sentir dónde están las extremidades y articulaciones en relación con el cuerpo y con el entorno circundante (posición y movimiento) en ausencia de retroalimentación visual.² Existen submodalidades para estimarla, como de la sensación de la posición articular, la cinestesia (sensación de movimiento), la sensación de fuerza y la sensación de cambio de velocidad. Más específicamente, la sensación de la posición articular puede apreciarse como la capacidad de reproducir ángulos articulares de forma activa o pasiva.^{50,116} La función sensoriomotora requiere la integración de procesos sensoriales, motores y centrales. En la periferia, los mecanorreceptores específicos presentes en los ligamentos, la cápsula y

los músculos detectan cambios en la presión, el movimiento y la velocidad, produciendo señales aferentes que se transmiten al asta dorsal de la columna vertebral. Estos impulsos pueden generar reflejos monosinápticos y/o polisinápticos que provocan una reacción motora eferente.¹¹⁶

La evaluación de la sensación de la posición de la articulación del hombro (en grados, °) se realizó en ambos hombros para voluntarios asintomáticos y voluntarios con DUH en posición supina con los ojos vendados. El evaluador rotó externamente el brazo hasta una posición del 75% de la rotación externa máxima, denominado ángulo objetivo, y se indicó a los participantes que mantuvieran esa posición durante tres segundos antes de que el evaluador reposicione pasivamente el brazo a la posición inicial.^{12,38} Luego se le indicó al participante que rotara activamente el brazo de regreso al ángulo objetivo. El ángulo se midió con un inclinómetro digital (Acumar Digital Inclinometer, Lafayette Instrument, Lafayette, Indiana, EE. UU.) y se registró la diferencia con respecto al ángulo objetivo (error de percepción de la posición de la articulación) (**Figura 11**). La medición se repitió tres veces y para el análisis se utilizó el valor medio del error de percepción de la posición articular.



Figura 11. Evaluación del error de percepción de la posición articular.

3.4. Evaluación de la distribución espacial del dolor

La distribución espacial del dolor se evaluó mediante el software Humanoide (CUADI, Argentina). Se digitalizaron dibujos de áreas de dolor mediante una pantalla táctil que mostraba una representación tridimensional de la parte superior del cuerpo (**Figura 12**). El software permitió seleccionar y cuantificar áreas con diferente intensidad de dolor mediante codificación de colores, donde el amarillo representó baja intensidad de dolor (puntuaciones EVA superiores a 0 y hasta 3), el naranja representó una intensidad

de dolor moderada (puntuaciones EVA superiores a 3 y hasta 7), y el rojo representó una alta intensidad del dolor (puntuaciones EVA superiores a 7 y hasta 10).

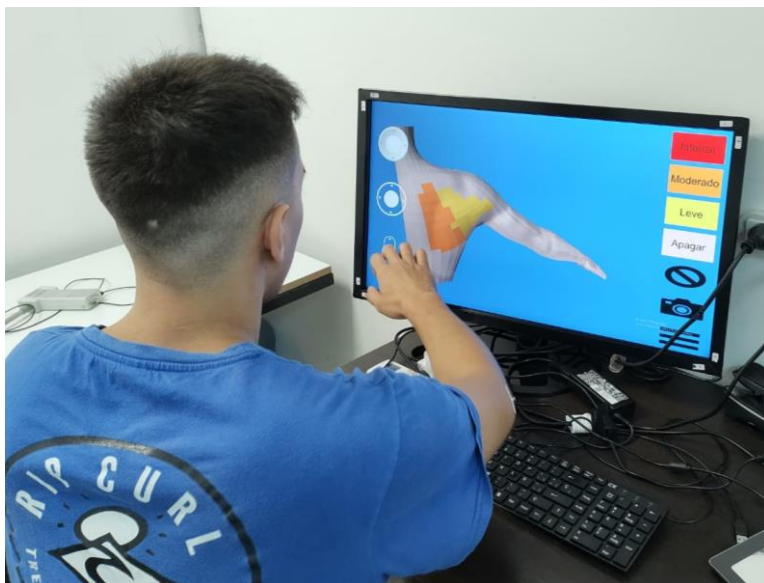


Figura 12. Evaluación de la distribución espacial del dolor.

3.5. Cuestionarios de intensidad de dolor, calidad del dolor, duración de los síntomas e impacto de factores psicosociales

Se utilizó el Cuestionario de dolor de McGill para evaluar la calidad del dolor (dimensiones sensorial, afectiva y cognitiva) para describir la sensación entre después de la DOC. Se recogieron de una lista de descriptores de dolor (78 palabras) en la versión española del Cuestionario de dolor de McGill. Se les pidió que eligieran uno o ningún descriptor que mejor describiera su dolor, en cada una de las 20 categorías. Los voluntarios de la DUH también completaron esta escala.⁷⁵

- Se utilizó una EVA para describir la intensidad del dolor después de la DOC en voluntarios sanos asintomáticos y voluntarios con DUH. Se pidió a los voluntarios que calificaran la intensidad del dolor que iba desde "sin dolor" (dolor = 0 cm) hasta "el peor dolor imaginable" (dolor = 10 cm), utilizando una regla con un recorrido de 10 cm.

Se utilizó el Cuestionario de los Cirujanos Americanos de Hombro y Codo (ASES –versión Argentina)¹¹¹ para evaluar la extensión de los síntomas en el hombro afectado y como puntuaciones adicionales para clasificar a los participantes en ambos grupos. Este instrumento compuesto proporciona resultados en el rango de 0 a 100, donde 0 indica una

peor condición del hombro y 100 indica la mejor condición del hombro, por lo que cuanto mayor sea la puntuación, menor será el nivel de discapacidad del hombro.

El Cuestionario de Dolor Musculoesquelético de Örebro³⁰ se utilizó para evaluar los factores psicosociales en personas con quejas de trastornos musculoesqueléticos y predecir aquellos con probabilidad de desarrollar síntomas persistentes. La puntuación total oscilará entre 1 y 210, donde una puntuación de 1 indica que no se estima ningún riesgo de incapacidad laboral futura y una puntuación de 210 es la peor puntuación.

Finalmente, se utilizó el Cuestionario Internacional de Actividad Física IPAQ⁹⁰ para medir el nivel de actividad física.

3.6. Diatermia por onda corta

Recientemente, demostramos que la reactivación con el modelo DOC provocó dolor muscular agudo en el área del hombro.⁶⁵ En general, la intensidad del dolor, la calidad y la distribución del dolor inducido por DOC son comparables con los informados para otros modelos. Por otro lado, la dinámica temporal de este modelo es una característica única, dado que no es de corta duración y no requiere reinducción. También puede aplicarse y evaluarse de manera confiable dentro de la misma sesión de inducción y tener una duración de hasta 1 hora, e incluso sin ningún efecto de arrastre entre sesiones. El modelo mostró ventajas potenciales: no es invasivo, brinda la capacidad de controlar con precisión los parámetros de estimulación y el período de tiempo en el que se desarrolla el dolor es conveniente para las pruebas dentro y entre sesiones.

3.6.1. Aplicación de diatermia por onda corta

La DOC se administró mediante un equipo de termoterapia de onda corta CEC M-8 (CEC Electrónica S.R.L., Argentina) que emite radiofrecuencia a 27.12 MHz. El dispositivo tiene dos aplicadores capacitivos rectangulares (18 x 12 cm), que se colocaron en una disposición contraplanar (es decir, debajo y encima) del hombro dominante. Los voluntarios estaban en posición supina lateral y se utilizó una toalla de algodón para absorber la transpiración y evitar efectos de calor no deseados (**Figura 13**). La aplicación se realizó utilizando el modo de onda continua. La intensidad del DOC se aumentó gradualmente hasta que el voluntario percibió una sensación de calor, y una vez familiarizado con esta percepción, se aumentó la intensidad hasta que se evocó una sensación de dolor constante pero tolerable (es decir, hasta que los voluntarios alcanzaron

el umbral de tolerancia al dolor térmico), en momento en el que se interrumpió inmediatamente la estimulación. Una vez completada la primera aplicación, se permitió al voluntario descansar un periodo de 2-3 minutos y se repitió la aplicación de DOC dos veces más (para un total de tres aplicaciones).



Figura 13. Los voluntarios estaban en posición supina lateral y se les aplicó diatermia de onda corta (DOC) utilizando dos aplicadores capacitivos en una disposición contraplanar. Los voluntarios calificaron continuamente la intensidad del dolor en una EVA computarizada.

3.7. Actividad muscular

3.7.1. Actividad muscular durante tareas isométricas y de fatiga del hombro

Para cuantificar la actividad muscular durante las tareas isométricas del hombro, los voluntarios mantuvieron una carga distal en posición de pie. El peso de la carga se seleccionó en función del peso de los voluntarios.⁸⁷ Se utilizó una carga de 1.5 kg para los voluntarios con un peso menor a 68 kg y, en caso contrario, se utilizó una carga de 2.5 kg. Tras un breve periodo de familiarización, los voluntarios realizaron 5 repeticiones de elevaciones de hombro hasta 90° en el plano escapular con rotación externa y extensión del codo.^{37,113} El movimiento se sincronizó utilizando un metrónomo para reducir la variabilidad entre voluntarios, y las tareas de isometría duraron 6 s cada una, con 20 s de descanso entre repeticiones. Una vez finalizada la evaluación se les asignó 5 min de descanso, para evitar algún fenómeno de arrastre por fatiga. Para la tarea de fatiga, los voluntarios replicaron el procedimiento, a excepción de la acción. El rango de movimiento activo se delimitó entre los 30° y 90° del plano escapular (para fijar estos

ángulos se utilizó un goniómetro electrónico EasyAngle® Digital Goniometer). Se les solicitó a los voluntarios que flexionen y extiendan dentro de los rangos delimitados a un ritmo de un bit por segundo. Se registraron todos los movimientos, hasta la aparición de fatiga máxima y/o no completen el rango de movimiento establecido.

3.7.2. Registro y preprocesamiento de la actividad muscular

La actividad muscular se registró utilizando registro monopolar multicanal (6 canales) se distribuyó espacialmente a través del músculo infraespinoso y monopolar (2 canales) se registró para el músculo deltoides medial y posterior. Para el registro de las señales electromiográficas (EMG) se utilizó un amplificador biopotencial BIOAMP de 8 canales (Ch) (UNER, Argentina) durante la ejecución de las tareas motoras. Las señales EMG fueron amplificadas, filtradas (Butterworth de cuarto orden, filtro pasabanda de 20 a 450 Hz, filtro *notch* de 50 Hz), muestreadas (2 kHz) y digitalizadas (resolución de 14 bits). El registro se realizó antes y después de la aplicación de DOC para evaluar cambios en la actividad muscular causados por el dolor transitorio.

Las señales EMG se registraron con electrodos de superficie Kendall Medi-Trace™ Pediatric (Ludlow Technical Products) de Ag/AgCl. Antes de la colocación del electrodo EMG, se limpió la piel con alcohol al 70% para eliminar la grasa residual, se exfolió la piel con papel de lija y se volvió a limpiar con alcohol. Los electrodos se colocaron en orientación transversal alineados con las fibras musculares subyacentes. La distribución de los electrodos en el músculo infraespinoso se llevó a cabo basándose en el mapa sensorial propuesto por Intelangelo et al.⁶⁶ (**Figura 14a**) Se evaluaron seis localizaciones en el músculo, tres de las cuales se situaron a lo largo del borde medial de la escápula (Ch1: ángulo superomedial, Ch4: mitad del borde medial, y Ch6: ángulo inferomedial), una por debajo de la mitad de la espina escapular (Ch2), una sobre el vientre muscular (Ch5), y una cerca de la unión musculotendinosa (Ch3). Los electrodos se colocaron en el músculo deltoides posterior (Ch7) y medial (Ch8) siguiendo las recomendaciones de SENIAM.⁶¹ Se colocó un electrodo de referencia en la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical. (**Figura 14a, b**).



Figura 13a: Izquierda, mapa sensorial de músculo infraespinoso. Derecha: Distribución monopolar en el músculo infraespinoso y los músculos deltoides medial y posterior durante tareas isométricas y de fatiga del hombro.

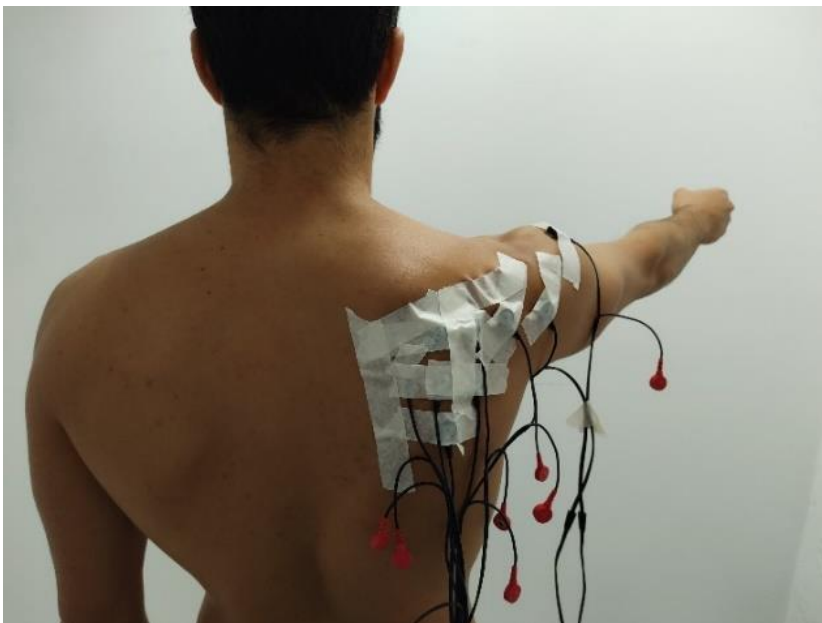


Figura 13b: Tarea de elevación de brazo en el plano escapular para tareas isométricas y de fatiga del hombro.

3.8. Consideraciones sobre el tamaño de la muestra

Para el cálculo de muestra se realizó un estudio piloto sobre 30 participantes sanos. El UDP en esta muestra aumentó 50 kPa tras la inmersión en agua fría (Prueba de la modulación condicionada del dolor - MCD). El tamaño de la muestra se calculó considerando una probabilidad de cometer un error de tipo I (α) del 5%, una potencia

estadística ($1 - \beta$) del 80%, con una desviación estándar media del resultado de 48 kPa y un límite de no inferioridad de 30 kPa. Se necesitó una muestra de 64 voluntarios (32 para cada grupo) para estar seguros en un 80% de que el límite inferior de un intervalo de confianza unilateral del 95% (o equivalentemente un intervalo de confianza bilateral del 90%) estará por encima del límite de no inferioridad de -30 kPa. Utilizando esta muestra, es posible demostrar estadísticamente que la diferencia en UDP entre los voluntarios sanos y con dolor unilateral de hombro (si la hay) no puede considerarse clínicamente relevante.

3.9. Procedimiento experimental

El estudio se llevó a cabo en tres sesiones experimentales en días diferentes, con al menos 48 h de diferencia entre sí para evitar efectos de arrastre. En cada sesión experimental se realizaron varias mediciones para evaluar diferentes parámetros fisiológicos (**Figura 14**). En la primera sesión, los participantes fueron entrevistados para recolectar datos antropométricos e historia de salud. Se realizará un examen físico básico del cuadrante superior para verificar los criterios de inclusión o exclusión. Luego se evaluaron la EVA, la sensación de posición de la articulación del hombro, la puntuación de la escala funcional de ASES, el cuestionario del nivel actividad física IPAQ y el cuestionario de dolor musculoesquelético de Örebro. En la segunda sesión, se continuó con las evaluaciones UDF, UDC y UTC. Finalmente, para concluir esta sesión, se realizó la prueba de MCD para evaluar los mecanismos inhibidores descendentes. Todo lo realizado fue, tanto para voluntarios con DUH como para voluntarios sanos asintomáticos. En la tercera sesión, para probar el cambio inducido por el dolor muscular transitorio, solo los voluntarios sanos recibieron aplicaciones de DOC. Antes y después (entre 30 y 60 min) de que se realizara la evaluación de los UDP de las aplicaciones de DOC. Después (entre 30 y 60 minutos) de la aplicación de DOC se evaluó el EVA, el cuestionario de McGill, la distribución especial del dolor y finalmente se registró la actividad muscular para ambos grupos.

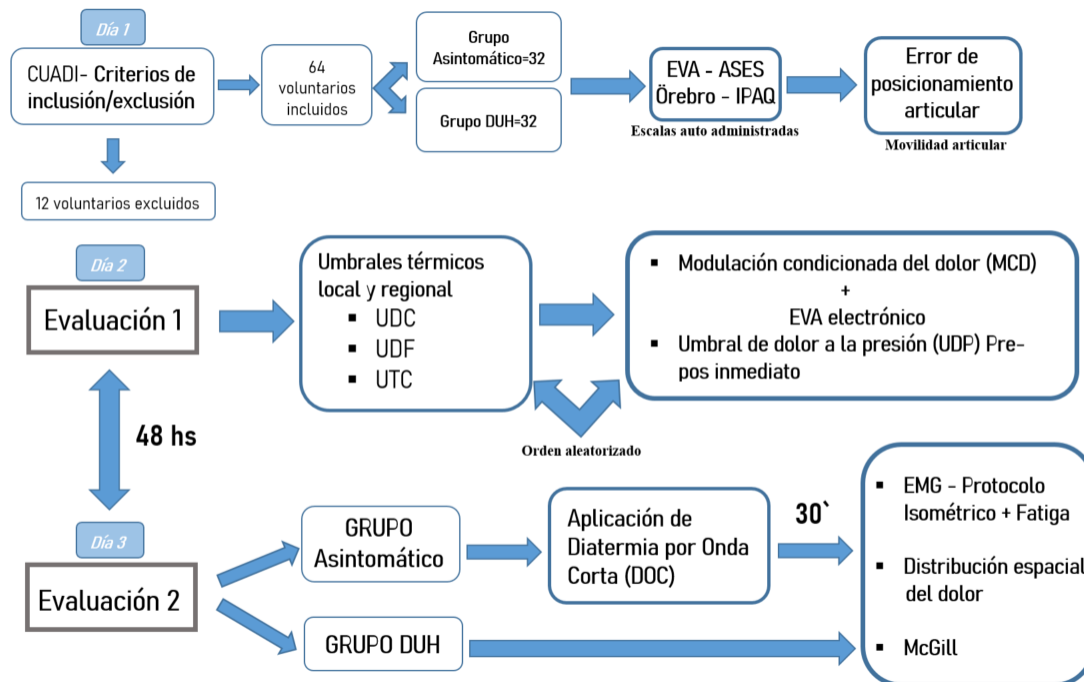


Figura 14. Diagrama de flujo del procedimiento experimental

3.10. Estadísticas

Las estadísticas se realizaron en jamovi ver. 2.3.28 y R versión. 4.3.2. Los datos se presentaron como media \pm desviación estándar (para resultados con distribución normal) o mediana [rango intercuartil] (para resultados con distribución no normal), a menos que se indique lo contrario. Las diferencias en las características antropométricas de los voluntarios se evaluaron mediante una prueba t de muestra independiente, y la lateralidad se evaluó mediante una prueba de igualdad de proporciones de dos muestras. Las diferencias en UDP después de la DOC se evaluaron mediante modelos lineales de efectos mixtos (LMM por sus siglas en inglés) con intersecciones aleatorias para cada voluntario. Las estimaciones de los parámetros de efectos fijos de los modelos lineales se informaron como estimación \pm error estándar. La equivalencia estadística se evaluó mediante el procedimiento TOST (dos pruebas t unilaterales, *two one-sided t test* por sus siglas en inglés). Las diferencias en la amplitud y la frecuencia de la señal EMG después de la DOC y en los voluntarios con DUH se evaluaron mediante LMM con intersecciones aleatorias para cada canal y grupo para el músculo infraespinoso. Para el músculo deltoides se evaluó mediante un modelo lineal general (GLM, *general lineal model* por sus siglas en inglés). Siempre que fue necesario, se aplicó la corrección de Bonferroni-

Holm para comparaciones múltiples post hoc. Los valores de p inferiores a 0.05 se etiquetaron como estadísticamente significativos, pero los resultados se interpretaron además considerando los tamaños del efecto y también las diferencias mínimas experimentalmente relevantes.

4. RESULTADOS

4.1. Características de la muestra

Se incluyeron treinta y dos pacientes con DUH, y treinta y dos voluntarios sanos asintomáticos (**Figura 8**). Las características antropométricas y funcionales de los voluntarios se muestran en la Tabla 1. Todos los voluntarios completaron el protocolo y no informaron efectos secundarios adversos de la intervención (**Figura 8**).

Tabla 1. Características de los participantes

Variable	Grupo voluntarios DUH	Grupo voluntarios sanos	P	TE
n (% masculino/femenino)	32 (50/50)	32 (50/50)	1.00 ^a	.00 ^d
Edad (años)	27 [24-31.5]	24 [22-27]	.015 ^b	-.62 ^e
Peso (kg)	70 [60-79.3]	70.5 [61.8-76.3]	.90 ^c	.01 ^f
Altura (cm)	174 [160-177]	176 [165-181]	.13 ^c	.21 ^f
IMC (kg/m ²)	23.5 [21.8-25.6]	22.8 [21.6-24.8]	.28 ^c	-.2 ^f
Brazo Dominante D/I	31/1	28/4	.16 ^a	.17 ^d
Hombro afectado D/I	18/14	-	-	-
Nivel de actividad física (IPAQ)				
- Bajo	6	10	.24 ^a	.14 ^d
- Moderado	26	22		
Intensidad del dolor (EVA) (cm)	5.6 [5-6.62]	4.1 [3.58-5.30]	<.001 ^c	.61 ^f
Duración del dolor (meses)	12 [6-25.5]	-	-	-
Cuestionario de dolor musculoesquelético (Örebro)	77.9±13.2	-	-	-
Evaluación funcional (ASES)	35.2±12.1	-	-	-

Abreviaciones: IMC, Índice de Masa Corporal; D, derecha; I, izquierda; IPAQ-SF, Cuestionario Internacional de Actividad Física – Versión corta; EVA, Escala Visual Analógica; ÖMPQ, Cuestionario del dolor Musculoesquelético Örebro; ASES, Cuestionario de los Cirujanos Americanos de Hombro y Codo; TE, tamaño de efecto. Los valores son media ± DE o mediana [rango intercuartil] según la distribución de los datos; ^a prueba de Chi-cuadrado; ^b Prueba t independiente de Student; ^c Prueba de Mann-Whitney; ^d Cramer's V; ^e d de Cohen; ^f Coeficiente de correlación biserial.

4.2. Intensidad de dolor

La intensidad del dolor de los pacientes con DUH (5.67 ± 0.97) fue significativamente mayor a los voluntarios asintomáticos a los que se les aplicó DOC (4.45 ± 1.09 , $t(61.1)=-4.72$, $p<0.001$) (**Figura 15**). No obstante esto, la intensidad de dolor en ambos grupos también es estadísticamente equivalente dentro de un intervalo de ± 2 puntos de la EVA ($t(61.1)=-12.5$, $p=0.002$ y $t(61.1)=-12.5$, $p<0.001$) para los límites inferior y superior, respectivamente.

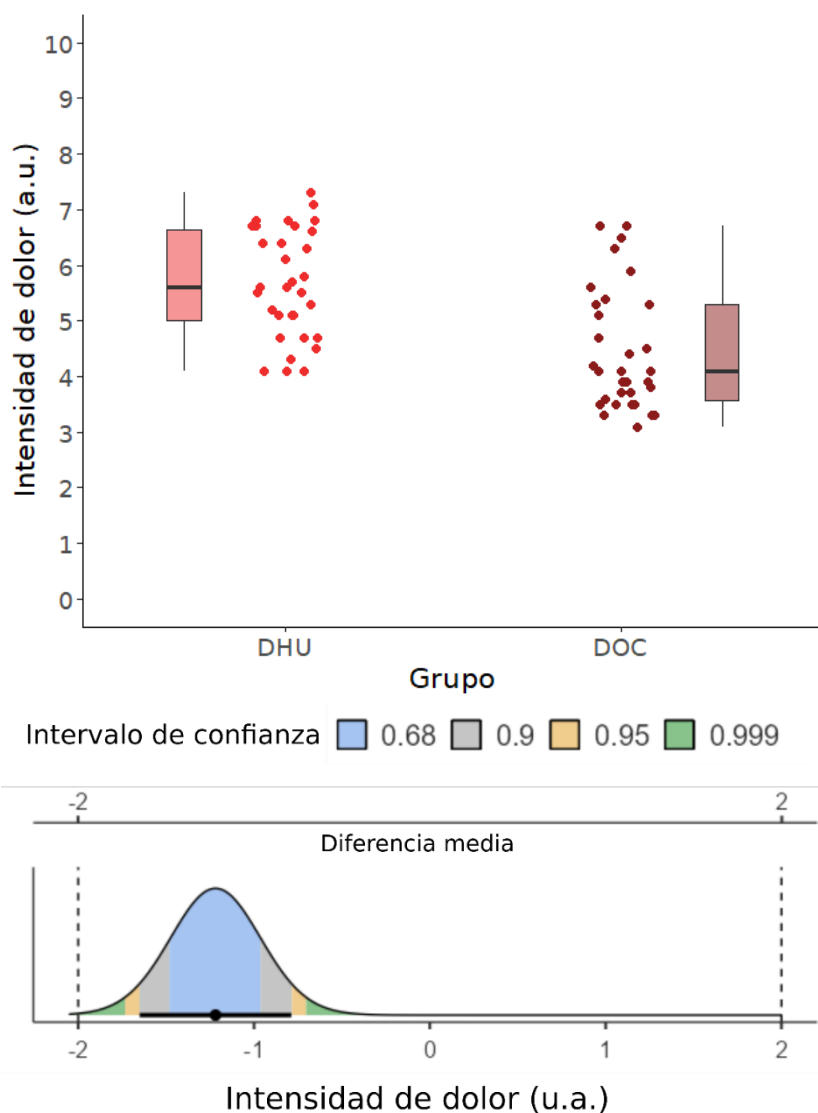
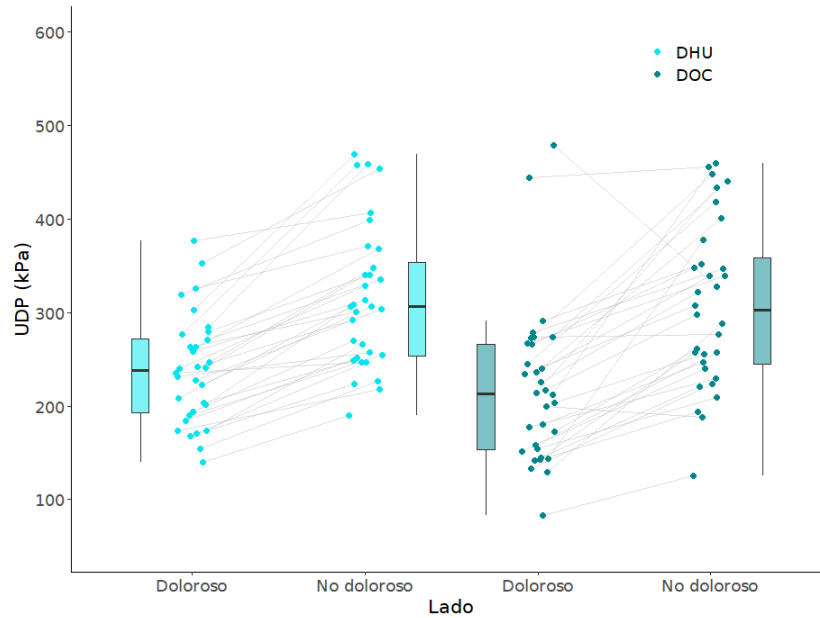


Figura 15: Arriba, intensidad del dolor de los voluntarios con DUH y la de los voluntarios asintomáticos tras la DOC. Abajo, gráfico de equivalencia de intensidad de dolor para ambos grupos.

4.3. Umbrales de dolor a la presión

Los UDP fueron significativamente más bajos en el lado doloroso que en el lado no doloroso para ambos grupos ($F(1.62)=119.4$, $p<0.001$). No se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(1.62)=0.559$, $p=0.458$) ni de la interacción ($F(1.62)=0.725$, $p=0.398$) (**Figura 16**). Los UDP no fueron significativamente diferentes ($t(55.2)=-1.1$, $p=0.276$) en el lado doloroso entre los grupos DUH (238 ± 58.1 kPa) y DOC (218 ± 83.8 kPa), y fueron estadísticamente equivalentes dentro de un rango de ± 50 kPa ($t(55.2)=1.67$, $p=0.05$ y $t(55.2)=-3.87$, $p<0.001$ para el límite inferior y superior, respectivamente). Los PPT no fueron significativamente diferentes ($t(60.7)=-0.326$, $p=0.746$) en el lado no doloroso entre los grupos DUH (316 ± 76.2 kPa) y asintomático

tras DUH (309 ± 88.4 kPa), y fueron estadísticamente equivalentes dentro de un rango de ± 50 kPa ($t(60.7)=2.10$, $p=0.02$ y $t(60.7)=-2.75$, $p=0.004$ para el límite inferior y superior, respectivamente).



Intervalo de confianza ■ 0.68 ■ 0.9 ■ 0.95 ■ 0.999

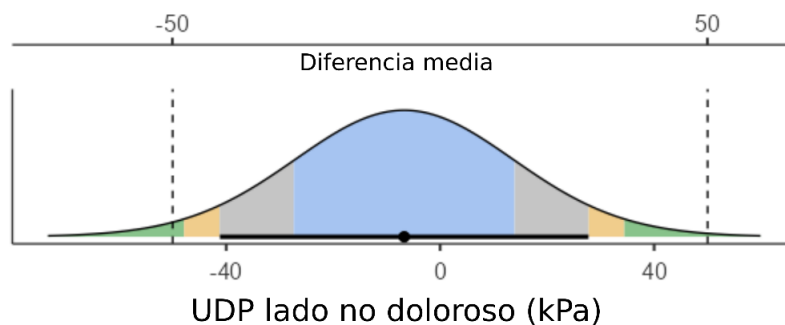
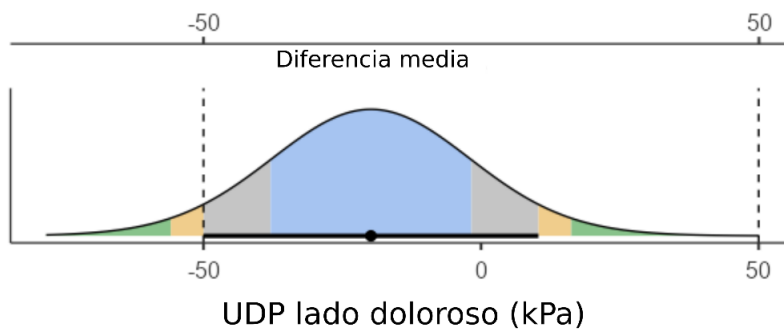


Figura 16: Arriba. Comparación de los UDP sobre el músculo infraespinoso por lado (doloroso vs no doloroso, y estimulado vs no estimulado). Abajo: Gráfico de equivalencia de UDP en los hombros dolorosos y no doloroso para ambos grupos.

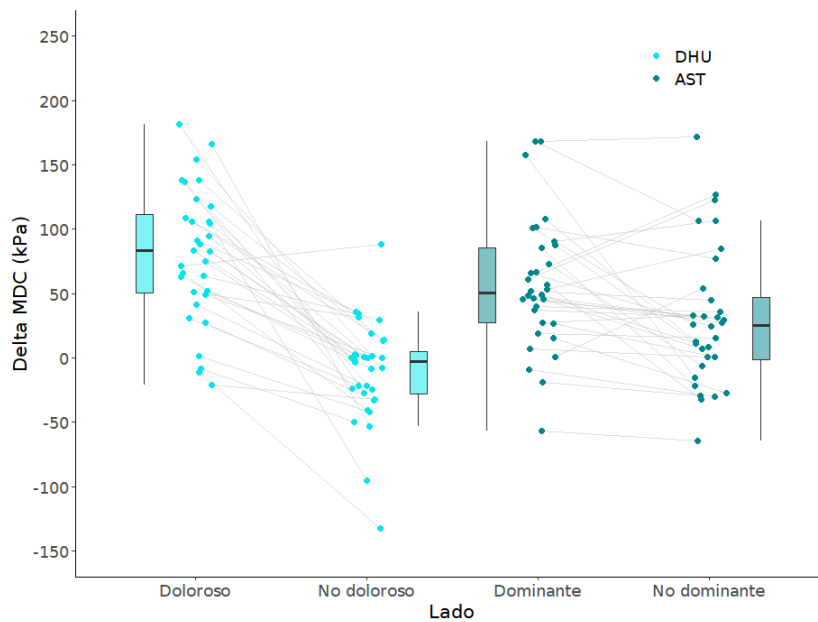


Figura 17: Delta MDC: Izquierda; grupo voluntarios sano, Derecha; grupo voluntarios DUH.

4.5. Umbrales de sensibilidad térmica

Los UDC fueron significativamente más bajos ($F(1,62)=10.10$, $p=0.002$) en voluntarios con DUH ($35.0 \pm 3.38^{\circ}\text{C}$) comparados con voluntarios asintomáticos ($37.3 \pm 3.85^{\circ}\text{C}$), y fueron significativamente más bajos ($F(1,62)=40.026$, $p<0.001$) en el antebrazo ($34.8 \pm 3.03^{\circ}\text{C}$) que en el músculo infraespinoso ($37.5 \pm 3.97^{\circ}\text{C}$) (**Figura 18**). No se observaron interacciones significativas ($F(1,62)=0.237$, $p=0.628$). Los UTC fueron significativamente más bajos ($F(1,62)=55.67$, $p<0.001$) en voluntarios con DUH ($44.4 \pm 1.74^{\circ}\text{C}$) que en asintomáticos ($47.0 \pm 1.50^{\circ}\text{C}$), y significativamente más bajos ($F(1,62)=20.52$, $p<0.001$) en el antebrazo ($45.3 \pm 2.16^{\circ}\text{C}$) que en el músculo infraespinoso ($46.1 \pm 1.91^{\circ}\text{C}$). (**Figura 19**) No se observaron interacciones significativas ($F(1,62)=1.35$, $p=0.250$). Los UDF no mostraron diferencias significativas entre grupos ($F(1,62)=2.824$, $p=0.098$), sitio ($F(1,62)=0.795$, $p=0.376$) ni interacciones significativas ($F(1,62)=0.772$, $p=0.383$) (**Figura 20**).

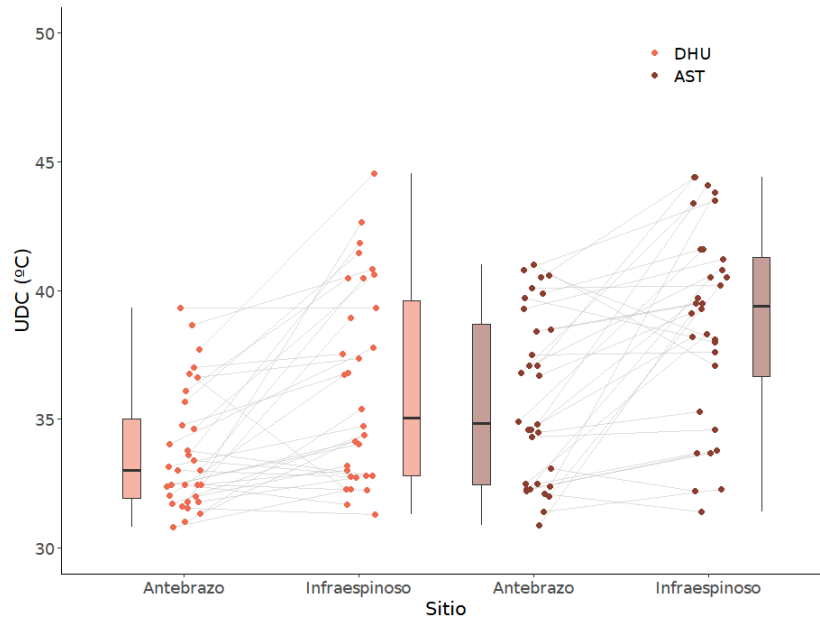


Figura 18: Umbral de detección al calor. Comparación por grupos y sitios.

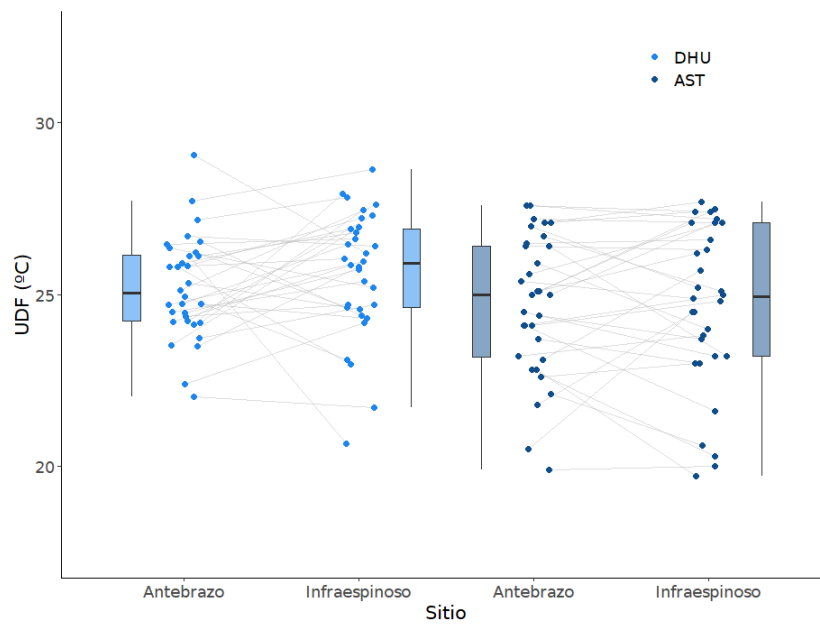


Figura 19: Umbral de detección al frío. Comparación por grupos y sitios

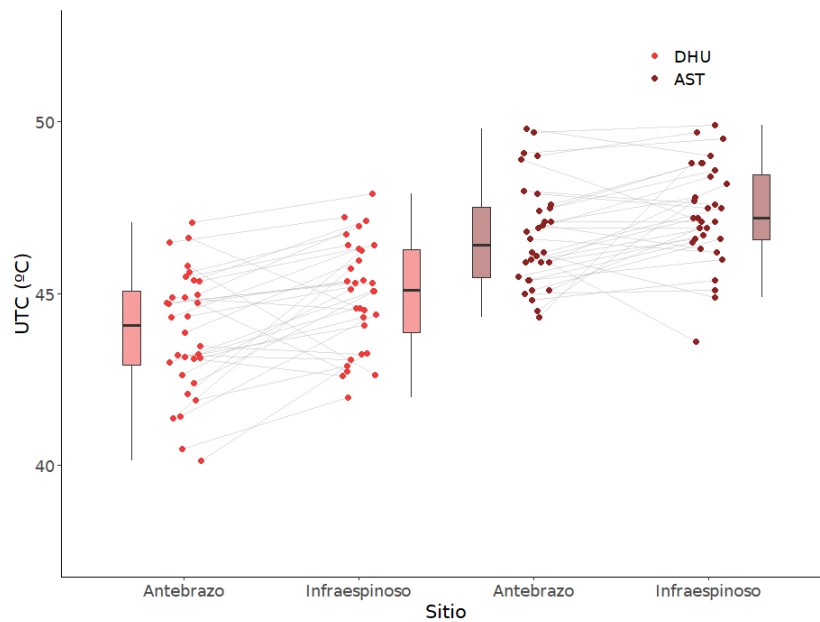


Figura 20: Umbral de tolerancia al calor. Comparación por grupos y sitios

4.6. Sensación de posición de la articulación del hombro

No se mostró diferencias significativas ($F(1.31)=0.150$, $p=0.701$) entre el lado dominante ($-3.54 \pm 9.00^\circ$) y el no dominante ($-3.09 \pm 6.78^\circ$) de los voluntarios sanos, ni en los voluntarios con DUH ($F(1.31)=0.150$, $p=0.701$) entre el lado doloroso ($-3.44 \pm 6.82^\circ$) y el no doloroso ($-4.56 \pm 8.35^\circ$) (**Figura 21**).

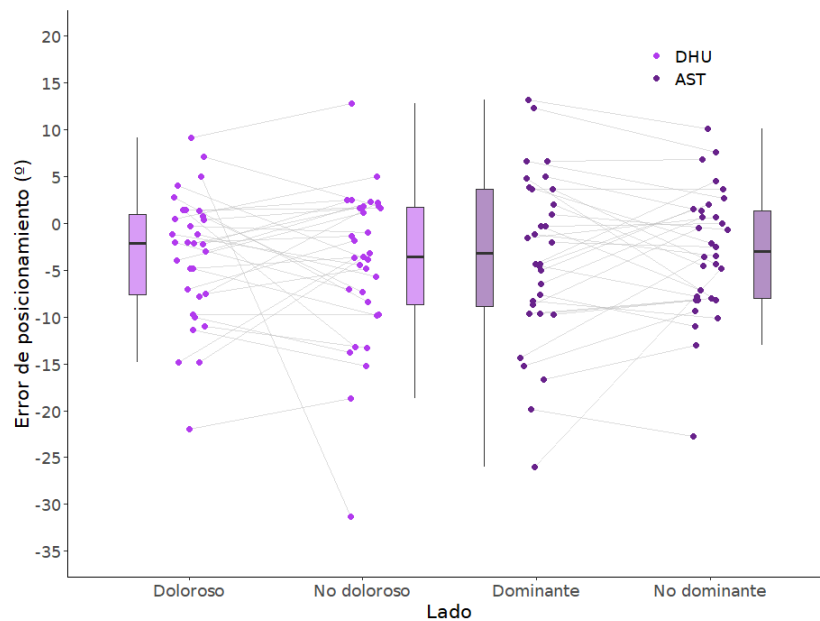


Figura 21: Error de posicionamiento articular: Izquierda; grupo voluntarios sano, Derecha; grupo voluntarios DUH.

Tabla 2. Frecuencia de selección de descriptores de calidad del dolor en ambos grupos. Se reportan descriptores sensoriales, afectivos, evaluativos y mixtos de la versión española del Cuestionario de Dolor de McGill.

Sensorial				Afectiva			
Subescala	Descriptor	Grupo voluntarios sanos	Grupo DUH	Subescala	Descriptor	Grupo voluntarios sanos	Grupo DUH
<i>Temporal 1</i>	A golpes	8 (25.8%)	12 (37.5%)	<i>Tensión emocional</i>	Fastidioso	6 (19.3%)	17 (53.1%)
	Continuo	22 (71%)	20 (62.%)		Preocupante	–	6 (18.7%)
<i>Temporal 2</i>	Periódico	2 (6.4%)	8 (25%)		Angustiante	–	4 (12.5%)
	Repetitivo	3 (9.7%)	8 (25%)		Exasperante	–	1 (3.1%)
	Insistente	9 (29%)	12 (37.5%)		Que amarga la vida	–	–
<i>Punción</i>	Interminable	3 (6.4%)	2 (6.2%)	<i>Signos vegetativos</i>	Nauseante	–	–
	Como un pinchazo	6 (19.3%)	9 (28.1%)		<i>Miedo</i>	Que asusta	1 (3.2%)
	Como una aguja	3 (9.7%)	–	Terrible		–	–
	Como un clavo	–	2 (6.2%)	Aterrador		–	–
	Punzante	3 (9.7%)	18 (56.2%)	Evaluativo			
Perforante	1 (3.2%)	1 (3.1%)	Subescala	Descriptor	Grupo voluntarios sanos	Grupo DUH	
<i>Incisión</i>	Como si cortase	1 (3.2%)	2 (6.2%)	<i>Categoría valorativa</i>	Débil	13 (41.9%)	2 (6.2)
	Como una cuchilla	3 (9.7%)	2 (6.2%)		Soportable	18 (58%)	21 (65.6)
<i>Constricción</i>	Como un pellizco	6 (19.3%)	3 (9.3%)		Intenso	4 (12.9%)	9 (28.1)
	Como si apretara	8 (25.8%)	13 (40.6%)		Terriblement e molesto	–	–
	Como si agarrotada	3 (9.7%)	2 (6.2%)	Mixto			
	Opresivo	5 (16.1%)	5 (15.6%)	Subescala	Descriptor	Grupo voluntarios sanos	Grupo DUH
	Como si exprimiera	1 (3.2%)	3 (9.3%)	<i>Miscelanea sensorial I</i>	Como hinchado	4 (12.9%)	4 (12.5)
<i>Tracción</i>	Tirantez	7 (22.6)	5 (15.6%)		Como peso	19 (61.3%)	10 (31.2)
	Como un tirón	–	8 (25%)		Como puntada	–	–
	Como si estirara	3 (9.7%)	5 (15.6%)		Como espasmos	–	3 (3.9%)
	Como si arrancara	–	2 (6.2%)		<i>Miscelanea sensorial II</i>	Como latidos	–
	Como si desgarrara	–	–	Concentrado		5 (16.1%)	11 (34.3%)
<i>Térmico I</i>	Calor	19 (61.3%)	8 (25%)	Como si pasara corriente		2 (6.4%)	2 (6.2%)
	Como si quemara	8 (25.8%)	2 (6.2%)	Calambrazos	1 (3.2%)	2 (6.2%)	
	Abrasador	–	2 (6.2%)	<i>Miscelanea sensorial III</i>	Seco	2 (6.4%)	–
	Como hierro candente	–	1 (3.1%)		Como martillazos	–	2 (6.2%)
<i>Térmico II</i>	Frialdad	–	–		Agudo	–	8 (25%)
	Helado	–	–	Como si fuera a explotar	1 (3.2%)	–	
<i>Sensibilidad táctil</i>	Como si rozara	4 (12.9%)	–				
	Como un hormigueo	–	5 (15.6)				

	Como si arañara	1 (3.2%)	1 (3.1)
	Como si raspara	3 (9.7%)	1 (3.1)
	Como un escozor	1 (3.2%)	1 (3.1)
	Como un picor	2 (6.4%)	–
<i>Consistencia</i>	Pesadez	24 (77.4%)	17 (53.1)
<i>Localización I</i>	Impreciso	7 (22.6)	2 (6.2)
	Bien delimitado	15 (48.4%)	24 (75)
	Extenso	5 (16.1%)	6 (18.7)
<i>Localización II</i>	Repartido	5 (16.1%)	9 (28.1)
	Propagado	5 (16.1%)	8 (25)

4.8. Análisis de la actividad electromiográfica

4.8.1 Análisis de la amplitud de la señal durante las tareas isométricas

No se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(3.92)=56$, $p=0.053$) ni de la interacción ($F(1.05)=280$, $p=0.391$). Los valores F para todas las estadísticas se presentan en los anexos (**Anexo V-VI**). En la **Figura 23** puede observarse el mapa topográfico de la actividad muscular representado por la matriz de 6 canales monopares sobre el músculo infraespinoso. Los valores están expresados en microvolts (μV) y muestran la amplitud de la señal EMG, a través del cálculo de la raíz cuadrática media (RMS, por sus siglas en inglés, de *Root mean square*). Se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(5.05)$, $p=0.029$) para el músculo deltoides. Específicamente los voluntarios con DUH, tienen una menor actividad muscular comparados con los post DOC.

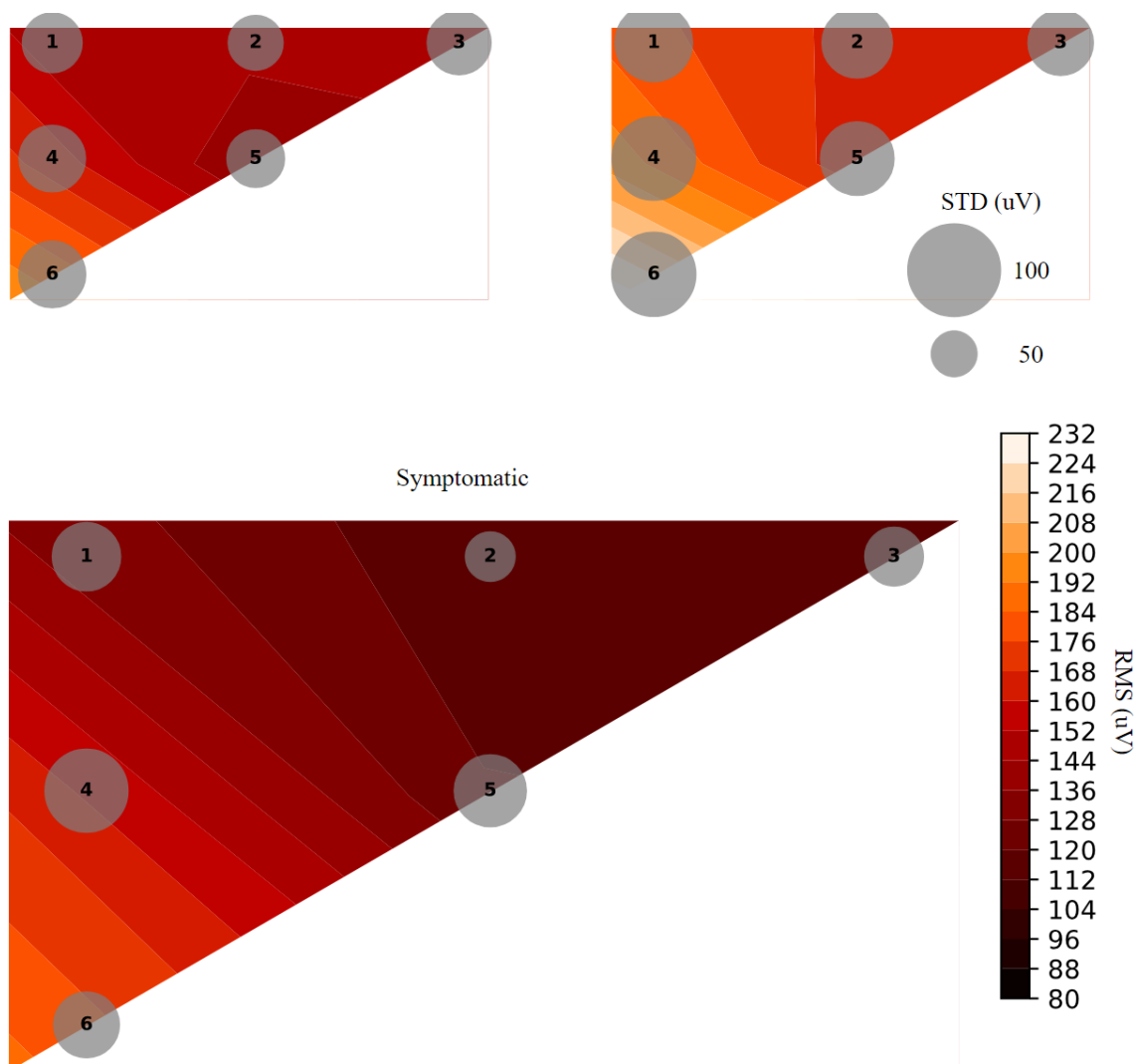


Figura 23: Análisis topográfico de la amplitud de la señal EMG del músculo infraespinoso. Los canales de evaluación están resaltados con círculos numerados de color gris. Los tamaños de los círculos representan la desviación estándar de los valores de la RMS (μV), y el valor medio de la medida está representado por diferentes colores utilizando contornos rellenos. Arriba se observa el pre y post DOC en el grupo asintomático. Abajo está representado el grupo con DHU.

4.8.2 Análisis de la frecuencia media durante las tareas isométricas

Se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(12.51)=56$, $p<0.001$) pero sin diferencia en la interacción ($F(1.01)=280$, $p=0.413$). Los valores F para todas las estadísticas se presentan en los anexos (**Anexo VII**). En la **Figura 24** puede observarse el análisis topográfico representado por la matriz de 6 canales monopares sobre el músculo infraespinoso, del análisis de la frecuencia media de la señal EMG.

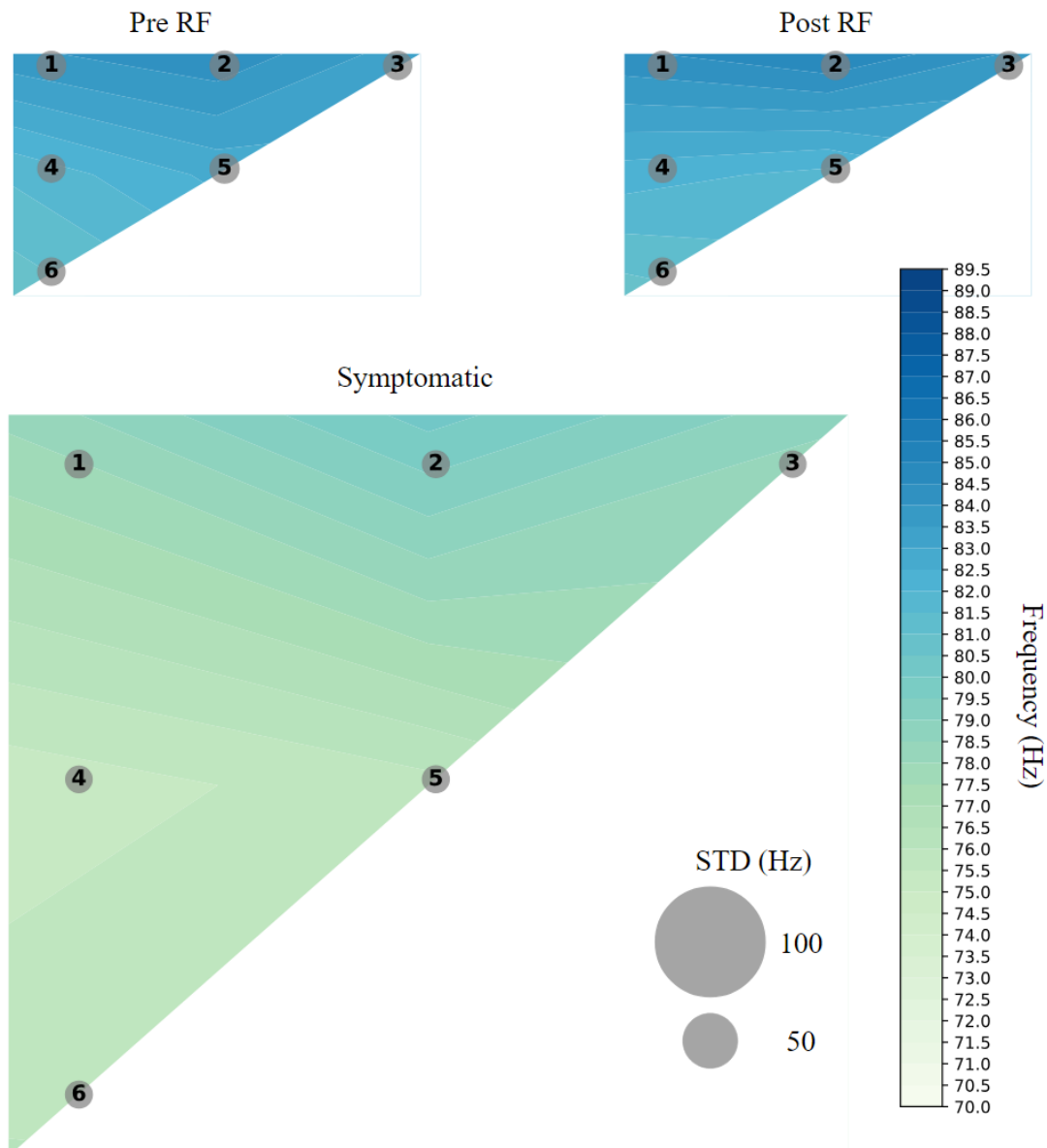


Figura 24: Análisis topográfico de la frecuencia media de la señal EMG del músculo infraespinoso. Los canales de evaluación están resaltados con círculos numerados de color gris. Los tamaños de los círculos representan la desviación estándar de los valores de la frecuencia (Hz), y el valor medio de la medida está representado por diferentes colores utilizando contornos rellenos. Arriba se observa el pre y post DOC en el grupo asintomático. Abajo está representado el grupo con DUH.

No se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(0.212)$, $p=0.647$) para el músculo deltoides.

4.8.3 Análisis de la tasa de frecuencia media durante la tarea fatigante

No se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(0.277)=60$, $p=0.600$) ni de la interacción ($F(1.474)=300$, $p=0.198$) para el análisis de la pendiente. Para el análisis de la ordenada al origen de la recta, se observaron diferencias significativas en función del grupo ($F(33.33)=300$, $p<0.001$) como también para la interacción ($F(3.12)=300$, $p=0.009$). Sin embargo, no hubo diferencia entre grupos ($p=0.489$) en el tiempo total de la tarea fatigante ($60\pm 17.5''$ vs $62.9\pm 15.2''$). Los valores F para todas las estadísticas se presentan en los anexos (**Anexo VIII, IX**). En la **Figura 25 a-c** se muestran, como ejemplo, los resultados intermedios del paso a paso del análisis de la regresión lineal en la frecuencia media de la actividad muscular para uno de los voluntarios.

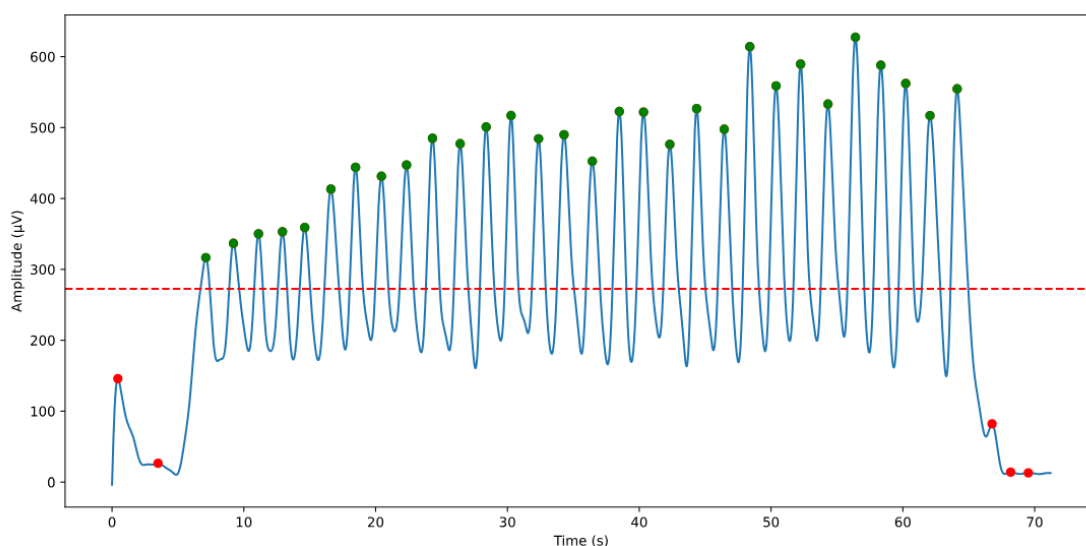


Figura 25 a: Detección de la amplitud de la señal: inicialmente se realizó el análisis de la envolvente de la señal; luego se determinó que picos estaban por encima (puntos verdes – corresponde a un movimiento de elevación durante la ejecución de la tarea). Los picos de baja frecuencia baja (puntos rojos) quedaron afuera del análisis ya que representan los periodos fuera de la tarea motora

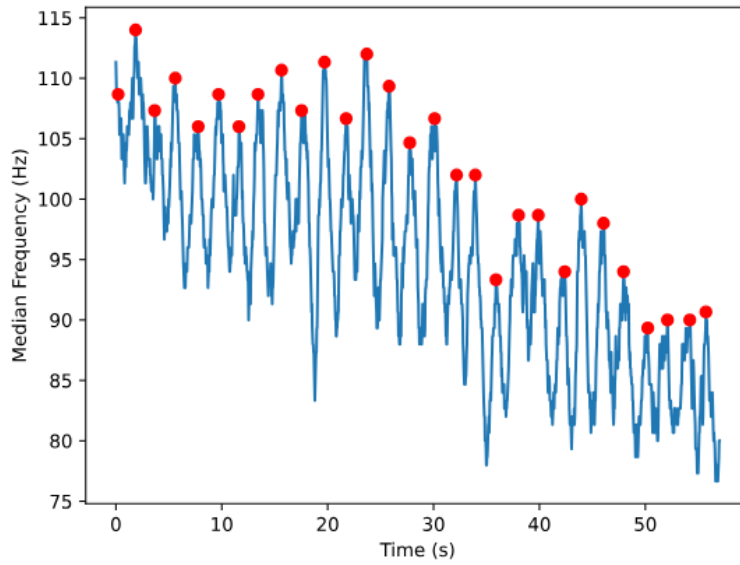


Figura 25 b: Esta imagen muestra la caída de la frecuencia media durante la tara fatigante.

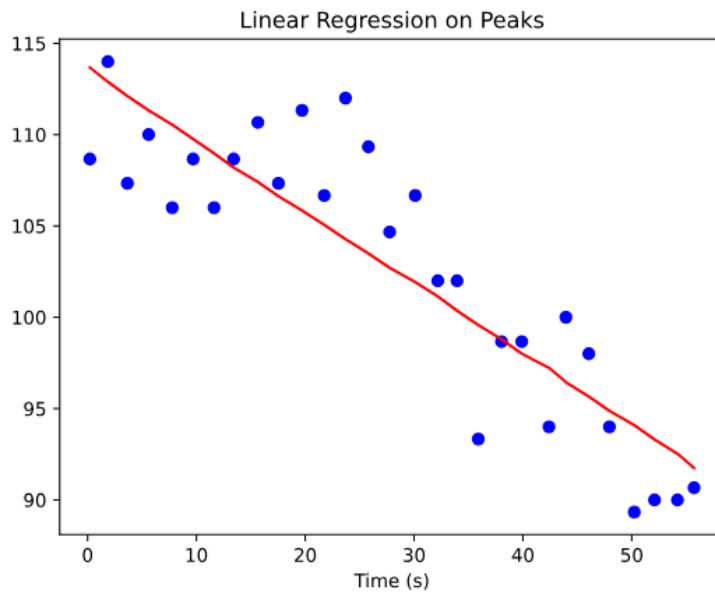


Figura 25 c: Esta imagen gráfica la regresión lineal de los picos (Hz)

5. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue determinar los cambios en el procesamiento sensorial y en los mecanismos moduladores de dolor asociados a características del músculo infraespinoso en individuos con y sin DUH. El actual trabajo determinó que no existen alteración, ni diferencias en las vías moduladoras descendentes entre ambos grupos. La diferencia y la magnitud de los umbrales térmicos al calor muestran parcialmente una alteración del procesamiento sensorial comparado con el grupo control. El análisis topográfico de la amplitud y la frecuencia media de la señal EMG del músculo infraespinoso mostró un comportamiento similar entre el grupo con DUH y el control. Los análisis de fatiga tuvieron un comportamiento similar. En general, el dolor experimental inducido por DOC reprodujo con precisión la calidad de la experiencia clínica del DH.

5.1. Intensidad del dolor y umbral de dolor a la presión

Los voluntarios asintomáticos, tras experimentar el modelo de inducción de dolor por DOC, informaron una intensidad del dolor menor que los voluntarios con DUH; sin embargo, las intensidades de dolor pueden considerarse estadísticamente equivalentes dentro de un rango de 2 puntos de la escala EVA. Previos estudios con modelos experimentales de dolor han reportado intensidades de dolor que varían de leve a moderado, siendo similar a nuestros resultados.^{29,59,74,103} Sin embargo, cabe destacar que variables como la duración de los síntomas, la intensidad del dolor, y la edad son potenciales factores relacionados con el desarrollo de SC, aunque actualmente la evidencia es conflictiva.¹¹² En relación al UDP, no se observaron diferencias significativas entre los grupos, siendo además estadísticamente equivalentes. Esto indica que la DOC genera hiperalgesia en la región tratada, lo cual es comparable a una condición clínica real. Diversos informes han investigado el UDP entre los lados afectados y no afectados, y comparados con grupos controles, para determinar la presencia de hiperalgesia periférica o central. En un informe previo reportamos hallazgos similares al actual al evaluar un mapa sensorial en el músculo infraespinoso en voluntarios con y sin DUH.⁶⁶ En línea con esto, otros reportes informan que no se encontraron diferencias significativas en el UDP entre los lados a lo largo de la cintura escapular en sujetos sanos,^{3,114} ni específicamente a lo largo de los músculos trapecio superior, infraespinoso y

deltoides medio.¹¹⁸ Además, los valores de UDP del lado asintomático en pacientes con DUH no fueron significativamente diferentes de ninguno de los lados evaluados en voluntarios sanos, lo que sugiere que la hipersensibilidad mecánica no es un proceso generalizado en este tipo de afección. En contraposición, otros reportes informaron hiperalgesia mecánica generalizada.^{29,58,85} Estas diferencias pueden explicarse fundamentalmente por la selección de la región anatómica. En este sentido, consideramos que el músculo trapecio superior no es un músculo implicado en la patología del hombro, en este sentido el músculo infraespinoso es un músculo con una fuerte implicancia biomecánica y neurofisiológica al hombro. Por otro lado, las características de la población también son relevantes, en este caso seleccionamos un subgrupo, donde la presencia de patología degenerativa y otras comorbilidades son bajas.

5.2. Sensación de posición de la articulación

Diversas patologías del hombro como las inestabilidades, las lesiones de Bankart, entre otras,¹³² suelen provocar una reducción de la función propioceptiva y en especial una alteración del sentido del movimiento y la posición.⁵¹ Sin embargo, existe escasa y contradictoria evidencia que documente estos cambios en personas con DH en ausencia de patología articular.² En nuestro trabajo no encontramos alteraciones en la sensación de posicionamiento articular entre los grupos, lo que podría sugerir que el dolor no influye en el sistema propioceptivo, al menos con la submodalidad propioceptiva seleccionada para este estudio. Se ha sugerido que el estado propioceptivo alterado podría estar relacionado con un daño localizado en los nervios o tejidos, una desensibilización del sistema nervioso, incluidos los mecanorreceptores localizados, cambios en la representación cerebral, la presencia de dolor, derrame o fatiga, o simplemente una combinación de estos factores.^{116,125} En su revisión sistemática, Ager y cols. concluyen que existe evidencia contradictoria con respecto a la valoración de la sensación de posicionamiento articular en forma activa en población con DH.² Recientemente, Alfaya y cols. reportaron una correlación entre la intensidad de dolor y el deterioro de la propiocepción.⁷ Diversos factores podrían influir en la variación de resultados; desde el punto de vista neurofisiológico se desconoce el mecanismo exacto que conduce a una alteración en la propiocepción del hombro en presencia de dolor, tanto para lesiones ortopédicas localizadas como para afecciones neurológicas. Este es un punto destacable con respecto a otras investigaciones con la misma modalidad de evaluación. Nuestra

muestra fue homogénea en términos de edad, género, diagnóstico, condiciones físicas, intensidad de dolor etc., a diferencia de las reportadas por la revisión de Ager y cols.² En segundo lugar, son muy variables las modalidades de medición (entornos de laboratorio o clínicos), movimientos y ángulos seleccionados. En nuestro caso, optamos la posición con el brazo en abducción de 90° y el movimiento activo en rotación externa. Esta postura se relaciona con los ángulos de mayor vulnerabilidad de esta articulación; esto se fundamenta en que la mayor cantidad de mecanorreceptores se concentran en el receso axilar (este receso se tensa y estabiliza la articulación en los movimientos de abducción con rotación externa), por el contrario, la mayoría de nociceptores se concentran en el espacio subacromial (lugar de mayor conflicto irritativo)³³ Finalmente, la inervación de la cápsula son principalmente las ramas terminales de las fibras mielinizadas delgadas, que pierden su vaina de mielina en la capa fibrosa de la cápsula antes de ramificación intensamente para formar redes de terminales nerviosas entre las fibrillas de colágeno (función nociceptora).¹⁴⁷ En este sentido, no todos los cuadros de DH cursan con derrames articulares, causa que podría generar una irritación de dichos receptores.

5.3. Distribución espacial del dolor

El patrón de DH inducido experimentalmente por DOC en términos de frecuencia e intensidad fue consistente con la distribución del DH clínico. La localización más común del dolor es en la región anterior o posterior del hombro y brazo, o una combinación de ambos, menos frecuentemente denominada antebrazo y mano, y ocasionalmente en la parte lateral del cuello.^{70,71,122} Sin embargo, este es el primer estudio que valida un modelo utilizando un grupo de voluntarios con DH. Por otro lado, muchos estudios han investigado la distribución temporal-espacial de la inducción del dolor con soluciones salinas.^{49,53,104} En general, se reportó que el dolor se localizaba en el acromion lateral, el músculo deltoides y, ocasionalmente, se irradiaba al antebrazo o la mano, pero no producía dolor en el cuello, el trapecio o la cara posterior del hombro.⁵³

5.4. Calidad del dolor

En relación con la calidad del dolor, utilizamos un punto de corte de frecuencia superior al 50% para determinar la concordancia en la selección de descriptores. Tanto los voluntarios que se sometieron a DOC como los pacientes coincidieron en los descriptores "continuo" (71% frente a 62,0%), "pesadez" (77,4% frente a 53,1%) y

"soportable" (58% frente a 65,6%, respectivamente). Finalmente, con menor frecuencia "bien delimitado" (48,4 vs 75%, respectivamente). Hay una marcada diferencia con lo informado por otros modelos: Ford et al, en nueve participantes sin dolor que recibieron dos inyecciones de solución salina hipertónica se describió como "tenso" (35% de los participantes) y "como un peso" (40%), mientras que cuando se inyectaba en el músculo dolorido (día 2), las palabras más frecuentes eran "agudo" (45%) y "como si apretara" (40%).⁴⁹ En otro informe, Doménech-García y cols. en su modelo de estimulación de presión supraumbrales, descrito tanto en las sesiones del día 1 como del día 2 como "como si apretara" (45 % de los participantes), "molesto" (35 %) y "como un clavo" (35 %).¹⁰⁴ En relación al uso de las inyecciones de solución salina, en la mayoría de los casos, no hubo descripciones sistemáticas de la calidad del dolor. Con respecto a los cambios sensoriales debidos al dolor, Leffler y cols. demostraron que la inyección intramuscular de solución salina hipertónica en el músculo infraespinoso resultó en un dolor referido de corta duración en la parte dorsolateral del brazo proximal homolateral, y se encontró hipoestesia a los estímulos táctiles en el área de dolor referido.⁷⁶ Hubo una clara diferencia en los descriptores entre los DOC modelo y los modelos antes mencionados. Creemos que el modelo DOC es el más cercano al componente nociceptivo del dolor muscular crónico.

5.5. Modulación condicionada del dolor e intensidad del dolor

Utilizando el paradigma de MCD (modelo de dolor que inhibe el dolor), probamos experimentalmente la función de los mecanismos inhibidores descendentes del dolor. Nuestros hallazgos respaldan la hipótesis que los voluntarios con DUH exhibieron un perfil modulador del dolor antinociceptivo. Esto se caracteriza por una mayor inhibición de las entradas nociceptivas (esto es, MCD eficiente).¹⁰² Estos resultados se alinean con los reportados por Haik y cols.⁵⁹ y Kuppens y cols.⁷⁴ que no informaron ninguna diferencia significativa entre los grupos de participantes con DH y asintomáticos. Sin embargo, cabe destacar que Kuppens y cols. no utilizaron la misma metodología de inmersión de agua fría, sino que aplicaron el estímulo condicionante a través de un termodo en la eminencia tenar. Otro punto no menor es que Kuppens y cols, utilizaron al músculo trapecio superior para las mediciones de UDP y, como mencionamos anteriormente, no consideremos que sea una estructura implicada en la patología del hombro. Por el lado de Haik y cols., no especificaron el lugar de realización del UDP,

sólo se hace referencia a la región del hombro. En contraposición, Valencia y cols.¹³⁵ encontraron que la MCD era similar entre los controles y el grupo con dolor en términos de cambio absoluto de la respuesta al dolor por supraumbral de calor (5 estímulos repetidos de supraumbrales térmicos por calor) durante la prueba, pero se informó un cambio porcentual significativamente menor al dolor en el grupo con DH. Las dos diferencias con respecto a nuestro protocolo es la temperatura del agua que estuvo en 8°, claramente superior, la medida de resultado que fue el dolor por supraumbral de calor, y la muestra con respecto al grupo de dolor que eran pacientes que iban a recibir una cirugía de hombro.

Existen una serie de factores que pueden influir en el resultado de la prueba de MCD. Por ejemplo, en el trabajo de Mertens y cols.,⁹¹ donde estudiaron cinco modalidades y factores relacionados, concluyeron que la mejor modalidad fue la inmersión en agua fría, y que los factores influyentes a considerar son el género, la edad, el estrés, la actividad física, el dolor percibido y el enfoque atencional al estímulo condicionante, pero dependen del sitio de prueba y del método ejercido. En respuesta a muchos de estos factores, previamente demostramos que el protocolo utilizado es confiable, y tuvimos en cuenta el ambiente controlado, las evaluaciones se realizaron por la mañana, el día previo se les sugirió a los participantes que no realicen actividad física extenuante, que mantenga su ritmo de horas de descanso, etc.

Con respecto, a la duración mediana del DUH en nuestro estudio fue de 12 meses, en comparación con 6 -70 meses en los estudios de Coronado y cols. y Kuppens y cols. y los 36 meses de Haik y cols. Se reconoce que una mayor duración de los síntomas se correlaciona con una mayor prevalencia de procesos de SP y/o SC tanto en individuos con DH²⁹ u otras afecciones de dolor musculoesquelético, aunque en nuestra cohorte no estuvo presente. Los mecanismos y factores contribuyentes que sustentan el dolor musculoesquelético de hombro actualmente siguen sin estar claros. Sin embargo, ninguno de los reportes previamente mencionados consideró a una estructura en particular como criterio de inclusión, en este caso la mecanosensibilidad del músculo infraespinoso. En este caso consideramos, que puede ser una causa de fuente constante de aferencias nociceptivas, y por ende una posible causa de perpetuación de los síntomas. Además, nuestra población presentó bajos niveles de discapacidad del hombro y moderados niveles de intensidad de dolor, similar a la muestra de Haik y cols. y Kuppens y cols. Por el

contrario, Valencia y cols. y Coronado cols. incluyeron personas con DH también asociado con capsulitis adhesiva y personas que tenían programada una cirugía artroscópica, lo que puede sugerir que los participantes tenían mayores grados de discapacidad del hombro en estos otros estudios en comparación con nuestra cohorte. Por lo tanto, la gravedad de los síntomas desempeña un papel importante en el desarrollo y el mantenimiento de la SC, ya que las personas con DH generalmente experimentan dolor de forma intermitente, mientras que las personas con capsulitis adhesiva o lesiones agudas del manguito rotador pueden tener dolor y disfunción constantes.

Cabe destacar que las medias de edad de todos los trabajos fueron más altas en comparación con nuestros estudios, lo que lo hace al menos parcialmente en una muestra no homogénea. Es bien conocido que, a medida que la edad avanza, la patología degenerativa de la articulación del hombro también lo hace, algo que fue considerado para nuestro trabajo como un potencial criterio de exclusión. Finalmente, otros aspectos importantes son los factores psicosociales, que en parte pueden dar cuenta de la presencia de SC.⁹⁸ En nuestro caso, solo registramos las respuestas al cuestionario de dolor musculoesquelético de Örebro, que puede predecir aquellos con probabilidad de desarrollar síntomas persistentes. Se ha reportado que un puntaje mayor a 110 puntos predice el desarrollo de síntomas persistentes con impacto en la vida laboral y cotidiana.³⁰ La media de muestra está en 77.9 puntos, lo que representa un puntaje que ubica este subgrupo con menor probabilidad. Otros reportes ya mencionados, incluyeron cuestionarios para la kinesiofobia, catastrofismo, inventario de sensibilización central, calidad de sueño, etc.^{29,59,74} En este punto, consideramos como una limitación de este estudio, el cuestionario de dolor musculoesquelético de Örebro contempla factores psicosociales tales como; hipervigilancia, autoeficacia, conductas de evitación.³²

En relación a la intensidad del dolor durante la prueba de MCD, se sabe que existe la capacidad de cambiar rápidamente puede estar relacionada con la capacidad endógena del paciente para modular el dolor, un término conocido como comportamiento adaptativo al dolor.⁹⁶ Ser adaptable al dolor significa que una persona tiene la capacidad (endógenamente, dentro de su cuerpo) de modular el dolor sin la ayuda de intervenciones médicas. Las personas adaptables al dolor a menudo responden muy rápidamente al dolor, pero pueden modularlo endógenamente muy rápidamente. Las personas adaptadas al dolor informaron un aumento rápido del dolor, y luego una reducción significativa de la

intensidad del dolor en al menos dos de cada diez puntos en una escala de dolor de 11 puntos al final de la prueba.¹³⁹ Por el contrario, las personas no adaptadas al dolor tienen aumentos más lentos del dolor ante la presión en frío y el dolor se mantiene alto durante toda la prueba. En este contexto, Haik reportó que un participante de cada grupo no llegó a los 120 seg. Las demás investigaciones no lo reportan el tiempo en el MCD. En nuestra muestra no hubo diferencias en el tiempo del MCD entre el grupo asintomático con una media de 113 seg y el grupo DUH de 128 seg.

5.6. Umbrales de sensibilidad térmica

Las pruebas para los umbrales térmicos se utilizan para evaluar el estado del sistema sensorial, en particular las pequeñas fibras sensoriales en los nervios periféricos. La prueba requiere reacciones voluntarias de los participantes y la detección de la información sensorial, el procesamiento a nivel consciente y la acción motora para indicar la detección. Nuestros hallazgos muestran que existen diferencias significativas entre los voluntarios asintomáticos y los voluntarios con DUH para los UDC y UTC. Estas diferencias también estuvieron cuando se compararon las regiones, siendo el antebrazo más sensible que la región del músculo infraespinoso. Por el contrario, el UDF no mostró diferencias significativas entre grupos y regiones. Estos resultados no están respaldados por la evidencia, y, por otro lado, son escasos los reportes que hayan estudiado los umbrales térmicos, e incluyendo grupo control. Por ejemplo, Haik y cols. no encontraron diferencias significativas entre grupo asintomáticos y grupo con DH, ni tampoco entre regiones.⁵⁹ A diferencia de nuestro trabajo, evaluaron umbrales de dolor térmico por frío y calor. En relación con la localización, hicieron una evaluación bilateral y a distancia, pero no especifican en qué parte del hombro (solo hacen referencia a la región del hombro), y el lugar distante seleccionado fue la región del músculo tibial anterior. Otro reporte es el de Coronado y cols. que tampoco reportan diferencias significativas entre grupos, y lado afectado y no afectado para el umbral de dolor y de tolerancia al calor. En este caso, la región anatómica para la evaluación fue la cara palmar del antebrazo, similar a unas de las regiones seleccionada para este estudio.²⁹ Cabe destacar nuevamente, que estos dos trabajos presentan muestras no homogéneas en relación a la edad (mayores a la nuestra) y al género.

Existe literatura que muestra que la edad impacta aumentando en los umbrales térmicos.⁶⁴ Otros indican que las mujeres son más sensibles, sobre todo en los UDC,

atribuyendo que es poco probable que las diferencias en los umbrales de dolor se deban a factores periféricos, como la densidad de inervación, y se atribuyen a un procesamiento central diferente.¹⁰⁵ Específicamente, las sensaciones de dolor por calor están mediadas por fibras A δ mielinizadas de diámetro medio y fibras C amielínicas de diámetro pequeño. Se ha informado que las sensaciones de calor ocurren a 43 °C, 40 – 46 °C, o 45 °C de temperatura cutánea, mientras que se ha informado que la sensación de dolor por calor ocurre entre 43 y 51 °C.¹⁰⁵ Park y cols. reportaron valores de para el umbral de dolor por calor de 47.0 ± 2.1 °C en la región de la escapula y de 46.3 ± 1.6 °C en la región anterior del antebrazo en 16 voluntarios sanos.¹⁰⁵ Por su lado, Coronado y cols. reportaron 43.9 ± 2.3 °C para el umbral de dolor y de 47.8 ± 1.9 °C para la tolerancia en el segmento afectado en la región del antebrazo.²⁹ Haik y cols. reportaron una mediana de 46.6 °C en la región del hombro afectado.⁵⁹ Si bien, nosotros no tomamos el umbral de dolor por calor y si los UDC y UTC, específicamente los UTC han sido relativamente más bajos en ambas regiones. Teniendo en cuenta eso, estimar valores de referencias sin considerar los diversos factores que pueden influir, puede llevar a conclusiones erróneas.

Otros reportes atribuyen las diferencias a las regiones corporales, la adaptación de la temperatura, la intensidad y la cantidad de la estimulación anterior, la duración, y la hora y la fecha de la medición. Otro factor contradictorio reportado es la influencia de la grasa subcutánea.¹⁰⁵ Específicamente, para dar respuesta a estos factores las evaluaciones fueron realizadas en el mismo lugar, momento del día, ambiente controlado, etc. Con respecto a las regiones, Defrin y cols. encontraron diferencias significativas en los umbrales de dolor por calor entre cinco regiones con el método de límite, pero no se encontraron diferencias regionales con el método de nivel.³⁴ Las diferencias entre dos métodos pueden explicarse por el método de nivel y segundo dolor por calor, y las diferencias regionales fueron más evidentes para el método de nivel que para el método de límite. Park y cols. encontraron que los umbrales de dolor por calor eran más altos para la parte inferior del cuerpo y el pie en comparación con la cara y la parte superior del cuerpo para ambos métodos de nivel y límite (aún más sensibles la cara y los brazos). Con respecto a los umbrales de frío mostraron valores contradictorios.

En nuestro diseño, decidimos seleccionar una región local al dolor (región escapular - músculo infraespinoso) y otro regional (cara medial del antebrazo), teniendo en cuenta que existe una superposición considerable entre los patrones de dolor referido

en el hombro y la columna. Las patologías discales/nerviosas, el complejo facetario o los tejidos blandos paravertebrales de C3-C7 pueden referir dolor a la parte posterior del hombro. Además, la irritación de la articulación acromioclavicular o el espacio subacromial puede referir dolor a la parte lateral del cuello.⁷⁰ Considerando esto, quizás haber incluido un lugar distante, ofrecería una fortaleza mayor a determinar alteración en el procesamiento central. Nuestros resultados muestran que los voluntarios con DUH muestran una alteración del procesamiento periférico.

5.7. Análisis topográfico de la amplitud y la frecuencia media de EMG de los músculos infraespinoso y deltoides

Se observó que no hubo diferencias significativas en la amplitud de la señal de EMG en el músculo infraespinoso, lo que sugiere que la actividad muscular de este músculo, tanto en los voluntarios con DUH como en la que recibieron DOC se comportan de manera similar para todos los sitios de registro. Cabe destacar que la aplicación de DOC generó un incremento de la amplitud de la señal de todos los canales, pero principalmente los relacionados con la región lateral (Ch1, Ch4, Ch6) y la región de vientre (Ch5). Estos hallazgos motores, se relacionan con los hallazgos sensoriales previamente reportado, donde en las regiones señaladas encontramos mayor mecanosensibilidad. Esta relación también es consistente con aspectos anatómicos previamente referenciados.⁶⁶ La disminución de la actividad muscular del infraespinoso en sujetos con DH durante tareas de elevación del brazo es controvertida tanto en modelos experimentales como con pacientes.^{15,26,97,113,117,123} Sin embargo, no se ha encontrado un patrón consistente con respecto a la sincronización de la activación muscular de los músculos del manguito rotador y deltoides, ya que todos los estudios solo han analizado la amplitud de la señal o el tiempo de activación.¹³⁸ También el patrón de estos cambios varía entre los estudios debido a las inconsistencias metodológicas y a las posibles diferencias individuales en los déficits iniciales.

El análisis topográfico permite conocer la actividad en diferentes porciones del músculo. Esto responde a algunas particularidades, por ejemplo, en modelos cadavéricos se sabe que las diferentes porciones del infraespinoso (superior, medio e inferior) tienen momentos diferentes que dan como resultado diferentes acciones durante la elevación del plano escapular.¹⁷ En condiciones de indemnidad estructural, las fibras del infraespinoso superior tenían un momento de abducción que disminuía con la elevación hasta cambiar

a aducción después de los 90° de elevación del brazo. Por el contrario, las fibras medias e inferiores tenían un momento de aducción que se convertía en abducción.¹⁷ Desde el punto de vista electrográfico, Alenabi y cols, en voluntarios sanos reportaron que la activación de las regiones dentro de los músculos supraespinoso e infraespinoso durante las tareas de elevación isométrica depende de la postura. Concluyendo que la activación de las porciones superior e inferior del infraespinoso se comportaron de forma similar.⁶ Cabe destacar que es la única investigación que analiza dos porciones del músculo infraespinoso, cuyo registro se realizó con electrodos de aguja (un electrodo por porción), no tuvo grupo control sintomático, y se registró con tareas isométricas de mayor intensidad. Una ventaja de nuestros resultados frente a otros reportes radica, en la confiabilidad que genera el análisis a través de la utilización de múltiples canales frente a un canal; ya que de la inferencia del grado de excitabilidad es pequeña, y con un alto grado error.¹³⁷ Por otro lado, las tareas seleccionadas se aproximan a tareas funcionales, y la aplicación de una carga distal según por peso corporal permite un análisis normalizado.

El análisis de la frecuencia media del infraespinoso mostró diferencia significativa entre los grupos, con un impacto mayor en los voluntarios con DUH. La frecuencia muscular puede reflejar cambios en la activación de las fibras musculares, lo que sugiere que el dolor puede alterar los patrones de reclutamiento de este músculo, afectando su capacidad de generar fuerza de manera eficiente. En este sentido, si bien existen diferencias estadísticas, no podemos determinar que esa diferencia tenga un impacto clínico. Por otro lado, el comportamiento del mapa topográfico mostró un comportamiento similar en ambos grupos. En general, se observa una correspondencia entre la disminución de la amplitud con el aumento de la frecuencia media para todos los canales.

A diferencia del músculo infraespinoso, el músculo deltoides mostró diferencias significativas en la amplitud de la señal de EMG, donde los voluntarios con DUH presentaron menor actividad muscular comparados con aquellos que recibieron DOC. Este hallazgo sugiere una posible inhibición en el grupo con dolor crónico, lo cual puede deberse a un mecanismo de protección frente al dolor, limitando la activación muscular para evitar sobrecargar la articulación del hombro. En cuanto a la frecuencia muscular en el deltoides, no se observaron diferencias significativas entre los grupos. Este resultado

podría indicar que el dolor no afecta de manera tan evidente los patrones de reclutamiento en términos de frecuencia en este músculo, pero sí altera la magnitud de la activación, como se refleja en la amplitud.

Los modelos de solución salina aplicados en regiones del hombro reportados en la literatura muestran una que la inducción genera una disminución de la amplitud de la señal, independientemente de las tareas. En líneas generales, los resultados no siempre responden a los modelos motores de dolor experimentales, explicados por Lund y cols.⁸¹ y Arendt-Nielsen y Graven-Nielsen.¹¹ A diferencia de estos modelos, el DOC generó un incremento en la amplitud de la señal y aumento de la frecuencia media en el músculo infraespinoso, sin cambios en el músculo deltoides. En este sentido, el dolor muscular experimental afecta el comportamiento de la unidad motora de manera diferente según el nivel de fuerza de la contracción.⁸⁶ Algunas investigaciones han demostrado que las tasas de descarga de la unidad motora tienden a disminuir en presencia de dolor durante contracciones de baja fuerza, mientras que tienden a aumentar su actividad en niveles de fuerza más altos.^{86,92} Esta respuesta diferencial es crucial para mantener la producción de fuerza durante el dolor agudo, pero puede aumentar la fatiga muscular.¹¹⁹ Nuestro protocolo no estandarizó la carga por la contracción isométrica máxima voluntaria como la mayoría de los reportes, lo cual creemos que para muchos la misma pudo haber sido muy alta y para otros relativamente baja, y esto podría explicar el aumento de la amplitud de la señal. Este incremento no se reflejó en el músculo deltoides, donde creemos que la irradiación por DOC no tendría efectos periféricos (solo se limitaría al tejido irradiado).

5.8. Análisis de la tasa de frecuencia media del EMG durante la tarea fatigante

No se observaron diferencias significativas entre grupos ni en la interacción para la pendiente, lo que sugiere que el comportamiento de la frecuencia media es similar en ambos grupos. Estas similitudes podrían tener algunas justificaciones; por ejemplo, se ha demostrado que el dolor inducido experimentalmente, aunque diferente del dolor crónico en cuanto a duración y contexto, puede activar vías neuromusculares similares. Farina y cols. encontraron que tanto el dolor crónico como el inducido experimentalmente resultan en cambios en la activación de las unidades motoras y la conducción de los potenciales de acción musculares, pero estos cambios no siempre se reflejan en el rendimiento físico general, como la fatiga.⁴⁵ En este sentido, el mecanismo compartido entre el dolor crónico y el dolor experimental podría ser una de las razones detrás de la ausencia de diferencias

en la fatiga muscular en términos de pendiente de la frecuencia media entre los dos grupos. Ambos grupos pueden estar modulando la actividad muscular de manera similar debido a la activación de vías centrales comunes del dolor. Por otro lado, las personas con dolor crónico suelen desarrollar adaptaciones neuromusculares compensatorias. Aunque estas adaptaciones pueden afectar el patrón de activación muscular, no necesariamente influyen en la capacidad de resistencia muscular a corto plazo. Según Sterling y cols., las personas con dolor crónico exhiben una reprogramación motora, pero esta reprogramación tiende a reflejarse más en la activación inicial o en la eficiencia del movimiento que en la resistencia al esfuerzo durante tareas prolongadas.¹²⁸ Esto sugiere que, aunque los patrones de activación inicial pueden ser diferentes (como indica la diferencia en la ordenada al origen), la capacidad de los músculos para resistir la fatiga podría no ser significativamente alterada en una tarea de corta duración, lo que explicaría por qué no se observaron diferencias en el tiempo total de la tarea fatigante ni en la pendiente de la frecuencia media.

La ausencia de diferencias significativas en el tiempo total de la tarea sugiere que, a pesar de las diferencias en la activación inicial y la interacción, ambos grupos alcanzaron un nivel similar de fatiga en términos de resistencia física, lo cual es consistente con estudios que señalan que la fatiga es un proceso multifactorial, influenciado tanto por factores neuromusculares como por la percepción del dolor.⁴⁶ Otras explicaciones podrían contribuir estas diferencias, como la teoría de la modulación descendente del dolor sugiere que el sistema nervioso central puede activar mecanismos de inhibición del dolor que reducen la percepción del dolor durante tareas físicas, lo que permite mantener un rendimiento muscular comparable entre individuos con dolor crónico y aquellos que experimentan dolor agudo inducido. Pera y cols. mostraron que la modulación descendente del dolor puede reducir la percepción del dolor durante el ejercicio, explicando por qué ambos grupos pudieron completar la tarea fatigante sin diferencias significativas en términos de tiempo o pendiente de fatiga.⁴¹ Otros factores como variabilidad de la percepción no se pueden descartar. Finalmente, la fatiga muscular se puede dividir en componentes centrales (fallo en la transmisión nerviosa) y periféricos (fallo en las fibras musculares). La literatura sugiere que el dolor afecta principalmente la fatiga central, pero no necesariamente la fatiga periférica.⁴³ Si los mecanismos de fatiga periférica no están alterados de manera sustancial por el dolor crónico o experimental, es razonable que no se observe una diferencia en el tiempo total de la tarea ni en la pendiente

de la frecuencia media. La integración de la frecuencia media y la amplitud proporciona un marco más sólido para estimar la fatiga. Sin embargo, el enfoque debería estar en la globalidad de un segmento, para cuantificar eficazmente la fatiga de varios músculos durante tareas sostenidas y dinámicas.⁷⁷

5.9. Limitaciones y fortalezas

Este trabajo presenta una serie de limitaciones: 1) no incluimos sitios remotos de evaluación para el UDP y los umbrales térmicos, 2) la inclusión de algunos cuestionarios específicos de sensibilización central, kinesiofobia o catastrofismo podrían haber ayudado a impactar en la confirmación de los resultados de este trabajo; 3) otros condicionantes como las comorbilidades se identifican como factores potenciales de desarrollo de SC. Por el contrario, como fortalezas del trabajo pueden destacarse: 1) un cálculo de tamaño de muestra basado en un estudio piloto de nuestra propia población, que permitió detectar con potencia una de las principales variables que fue la MCD, 2) la utilización de dos grupos homogéneos de un subgrupo específico, 3) la determinación de la confiabilidad de los protocolos propuestos antes de la ejecución del estudio, 4) la exploración por primera vez de los componentes sensoriales y motores teniendo como grupo control con un novedoso protocolo experimental de dolor.

6. CONCLUSIÓN

Los participantes con dolor de hombro unilateral presentan una modulación condicionada del dolor eficiente. La diferencia y la magnitud de los umbrales térmicos muestran parcialmente una alteración del procesamiento sensorial a nivel local y regional comparado con el grupo control. Teniendo en cuenta el subgrupo seleccionado y la metodología empleada en el experimento, podemos inferir que en este subgrupo de dolor de hombro unilateral predomina un mecanismo de dolor nociceptivo.

El análisis topográfico de la amplitud y la frecuencia media de la señal EMG del músculo infraespinoso mostró un comportamiento similar entre el grupo con dolor unilateral de hombro y el control. En general, el dolor experimental inducido por DOC reprodujo con precisión la calidad de la experiencia clínica del DH.

Estos resultados pueden ayudar al pronóstico y a la toma de decisiones clínicas en este subgrupo de pacientes. Estos protocolos podrían replicarse en futuras investigaciones con otros subgrupos de pacientes como patología degenerativa del manguito rotador, hombro rígido, entre otros.

7. REFERENCIAS

1. Ackermann PW. Neuronal regulation of tendon homeostasis. *Int J Exp Pathol*. 2013;94(4):271-286. doi:10.1111/iep.12028
2. Ager AL, Borms D, Deschepper L, et al. Proprioception: How is it affected by shoulder pain? A systematic review. *J Hand Ther*. 2020;33(4):507-516. doi:10.1016/j.jht.2019.06.002
3. Albuquerque-Sendín F, Camargo PR, Vieira A, Salvini TF. Bilateral myofascial trigger points and pressure pain thresholds in the shoulder muscles in patients with unilateral shoulder impingement syndrome: a blinded, controlled study. *Clin J Pain*. 2013;29(6):478-486. doi:10.1097/AJP.0b013e3182652d65
4. Albuquerque-Sendín F, Madeleine P, Fernández-de-Las-Peñas C, Camargo PR, Salvini TF. Spotlight on topographical pressure pain sensitivity maps: a review. *J Pain Res*. 2018;11:215-225. doi:10.2147/JPR.S135769
5. Albuquerque-Sendín F, Camargo PR, Vieira A, Salvini TF. Bilateral myofascial trigger points and pressure pain thresholds in the shoulder muscles in patients with unilateral shoulder impingement syndrome: a blinded, controlled study. *Clin J Pain*. 2013;29(6):478-486. doi:10.1097/AJP.0b013e3182652d65
6. Alenabi T, Whittaker RL, Kim SY, Dickerson CR. Arm posture influences on regional supraspinatus and infraspinatus activation in isometric arm elevation efforts. *J Electromyogr Kinesiol*. 2019;44:108-116. doi:10.1016/j.jelekin.2018.12.005
7. Alfaya FF, Reddy RS, Alkhamis BA, Kandakurti PK, Mukherjee D. Shoulder Proprioception and Its Correlation with Pain Intensity and Functional Disability in Individuals with Subacromial Impingement Syndrome-A Cross-Sectional Study. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(12):2099. doi:10.3390/diagnostics13122099
8. Andersen H, Arendt-Nielsen L, Danneskiold-Samsøe B, Graven-Nielsen T. Pressure pain sensitivity and hardness along human normal and sensitized muscle. *Somatosens Mot Res*. 2006;23(3-4):97-109. doi:10.1080/08990220600856255
9. Andersson G, Backman LJ, Scott A, Lorentzon R, Forsgren S, Danielson P. Substance P accelerates hypercellularity and angiogenesis in tendon tissue and enhances paratendinitis in response to Achilles tendon overuse in a tendinopathy model. *Br J Sports Med*. 2011;45(13):1017-1022. doi:10.1136/bjsm.2010.082750
10. Arendt-Nielsen L, Falla D. Motor control adjustments in musculoskeletal pain and the implications for pain recurrence. *Pain*. 2009;142(3):171-172. doi:10.1016/j.pain.2009.01.031
11. Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T. Muscle pain: sensory implications and interaction with motor control. *Clin J Pain*. 2008;24(4):291-298. doi:10.1097/AJP.0b013e31815b608f.
12. Asker M, Waldén M, Källberg H, Holm LW, Skillgate E. Preseason Clinical Shoulder Test Results and Shoulder Injury Rate in Adolescent Elite Handball Players: A Prospective Study. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2020;50(2):67-74.

doi:10.2519/jospt.2020.9044

13. Bachasson D, Singh A, Shah SB, Lane JG, Ward SR. The role of the peripheral and central nervous systems in rotator cuff disease. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(8):1322-1335. doi:10.1016/j.jse.2015.04.004.
14. Bacle G, Gregoire JM, Patat F, et al. Anatomy and relations of the infraspinatus and the teres minor muscles: a fresh cadaver dissection study. *Surg Radiol Anat.* 2017;39(2):119-126. doi:10.1007/s00276-016-1707-9
15. Bandholm T, Rasmussen L, Aagaard P, Jensen BR, Diederichsen L. Force steadiness, muscle activity, and maximal muscle strength in subjects with subacromial impingement syndrome. *Muscle Nerve.* 2006;34(5):631-639. doi:10.1002/mus.20636
16. Bandholm T, Rasmussen L, Aagaard P, Diederichsen L, Jensen BR. Effects of experimental muscle pain on shoulder-abduction force steadiness and muscle activity in healthy subjects. *Eur J Appl Physiol.* 2008;102(6):643-650. doi:10.1007/s00421-007-0642-1
17. Barragan Echenique DM, Dolan MT, Koh JL, Goldberg BA, Amirouche F. Infraspinatus Muscle Fiber Moment Arms During Abduction: A Biomechanical Comparison of Values for Intact Rotator Cuff, Supraspinatus Tear, Superior Capsular Reconstruction, and Reverse Total Shoulder Arthroplasty. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(5):23259671221098378. doi:10.1177/23259671221098378
18. Bilika P, Paliouras A, Savvoulidou K, et al. Psychometric properties of quantitative sensory testing in healthy and patients with shoulder pain: A systematic review. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2023;23(1):145-164.
19. Bongers PM. The cost of shoulder pain at work. *BMJ.* 2001;322(7278):64-65. doi:10.1136/bmj.322.7278.64
20. Briggs AM, Huckel Schneider C, Slater H, et al. Health systems strengthening to arrest the global disability burden: empirical development of prioritised components for a global strategy for improving musculoskeletal health. *BMJ Glob Health.* 2021;6(6):e006045. doi:10.1136/bmjgh-2021-006045
21. Bron C, de Gast A, Dommerholt J, Stegenga B, Wensing M, Oostendorp RA. Treatment of myofascial trigger points in patients with chronic shoulder pain: a randomized, controlled trial. *BMC Med.* 2011;9:8. doi:10.1186/1741-7015-9-8
22. Bron C, Dommerholt J, Stegenga B, Wensing M, Oostendorp RA. High prevalence of shoulder girdle muscles with myofascial trigger points in patients with shoulder pain. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:139. doi:10.1186/1471-2474-12-139
23. Brown DE, James DC, Roy S. Pain relief by suprascapular nerve block in glenohumeral arthritis. *Scand J Rheumatol.* 1988;17(5):411-415. doi:10.3109/03009748809105280
24. Cadogan A, Laslett M, Hing WA, McNair PJ, Coates MH. A prospective study of shoulder pain in primary care: prevalence of imaged pathology and response to guided diagnostic blocks. *BMC Musculoskelet Disord.* 2011;12:119. doi:10.1186/1471-2474-12-119

25. Carlton SM. Nociceptive primary afferents: they have a mind of their own. *J Physiol*. 2014;592(16):3403-3411. doi:10.1113/jphysiol.2013.269654
26. Castelein B, Cools A, Parlevliet T, Cagnie B. The influence of induced shoulder muscle pain on rotator cuff and scapulothoracic muscle activity during elevation of the arm. *J Shoulder Elbow Surg*. 2017;26(3):497-505. doi:10.1016/j.jse.2016.09.005
27. Clausen MB, Nielsen MF, Merrild MB, Hölmich P, Thorborg K. High incidence of lost workdays in patients with subacromial impingement syndrome. *Dan Med J*. 2021;68(6):A07200496.
28. Coronado RA, Bialosky JE, Bishop MD, et al. The comparative effects of spinal and peripheral thrust manipulation and exercise on pain sensitivity and the relation to clinical outcome: a mechanistic trial using a shoulder pain model. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45(4):252-264. doi:10.2519/jospt.2015.5745
29. Coronado RA, Simon CB, Valencia C, George SZ. Experimental pain responses support peripheral and central sensitization in patients with unilateral shoulder pain. *Clin J Pain*. 2014;30(2):143-151. doi:10.1097/AJP.0b013e318287a2a4
30. Cuesta-Vargas AI, González-Sánchez M. Spanish version of the screening Örebro musculoskeletal pain questionnaire: a cross-cultural adaptation and validation. *Health Qual Life Outcomes*. 2014;12:157. doi:10.1186/s12955-014-0157-5
31. Cuff A, Littlewood C. Subacromial impingement syndrome - What does this mean to and for the patient? A qualitative study. *Musculoskelet Sci Pract*. 2018;33:24-28. doi:10.1016/j.msksp.2017.10.008
32. Cuyul-Vásquez, I, Contreras Fuentes, M, Ordóñez Vega, R, Neira Stegmaier, P, Maragaño Campistó, N, & Rodríguez Alvarado, A. (2021). Recomendaciones clínicas para la rehabilitación de personas con fibromialgia. Una revisión narrativa. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 28(4), 194-210. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2021.3932/2021>
33. Dean BJ, Gwilym SE, Carr AJ. Why does my shoulder hurt? A review of the neuroanatomical and biochemical basis of shoulder pain. *Br J Sports Med*. 2013;47(17):1095-1104. doi:10.1136/bjsports-2012-091492
34. Defrin R, Shachal-Shiffer M, Hadgadg M, Peretz C. Quantitative somatosensory testing of warm and heat-pain thresholds: the effect of body region and testing method. *Clin J Pain*. 2006;22(2):130-136. doi:10.1097/01.ajp.0000154048.68273.d8
35. Diederichsen LP, Winther A, Dyhre-Poulsen P, Krosgaard MR, Nørregaard J. The influence of experimentally induced pain on shoulder muscle activity. *Exp Brain Res*. 2009;194(3):329-337. doi:10.1007/s00221-008-1701-5
36. Dommerholt J. Dry needling - peripheral and central considerations. *J Man Manip Ther*. 2011;19(4):223-227. doi:10.1179/106698111X13129729552065
37. Dos Santos JJ, Nagy RO, Souza MA, et al. Scapular Retraction under Adduction Load: An Alternative to Overhead Exercises to Activate Infraspinatus, Upper, and Lower Trapezius in Subjects with and without Shoulder Pain. *Int J Environ*

- Res Public Health*. 2021;18(17):9251. doi:10.3390/ijerph18179251
38. Dover GC, Kaminski TW, Meister K, Powers ME, Horodyski M. Assessment of shoulder proprioception in the female softball athlete. *Am J Sports Med*. 2003;31(3):431-437. doi:10.1177/03635465030310031801
 39. Draper DO, Knight K, Fujiwara T, Castel JC. Temperature change in human muscle during and after pulsed short-wave diathermy. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1999;29(1):13-22. doi:10.2519/jospt.1999.29.1.13
 40. Dupuis F, Sole G, Wassinger CA, et al. The impact of experimental pain on shoulder movement during an arm elevated reaching task in a virtual reality environment. *Physiol Rep*. 2021;9(18):e15025. doi:10.14814/phy2.15025
 41. Le Pera D, Svensson P, Wanatabe I, Arendt-Nielsen L. Differential EEG activation during painful muscle vs. tactical vibratory stimulations. In 9th World Congress on Pain, August 22-27, 1999, Vienna, Austria. IASP Press. 1999. p. 516, No. 38
 42. Engebretsen KB, Grotle M, Natvig B. Patterns of shoulder pain during a 14-year follow-up: results from a longitudinal population study in Norway. *Shoulder Elbow*. 2015;7(1):49-59. doi:10.1177/1758573214552007
 43. Enoka RM, Duchateau J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*. 2008;586(1):11-23. doi:10.1113/jphysiol.2007.139477
 44. Falla D, Farina D, Graven-Nielsen T. Experimental muscle pain results in reorganization of coordination among trapezius muscle subdivisions during repetitive shoulder flexion. *Exp Brain Res*. 2007;178(3):385-393. doi:10.1007/s00221-006-0746-6
 45. Farina D, Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T. Experimental muscle pain reduces initial motor unit discharge rates during sustained submaximal contractions. *J Appl Physiol (1985)*. 2005;98(3):999-1005. doi:10.1152/japplphysiol.01059.2004
 46. Farina D, Merletti R, Enoka RM. The extraction of neural strategies from the surface EMG. *J Appl Physiol (1985)*. 2004;96(4):1486-1495. doi:10.1152/japplphysiol.01070.2003
 47. Fernandes C, Pidal-Miranda M, Samartin-Veiga N, Carrillo-de-la-Peña MT. Conditioned pain modulation as a biomarker of chronic pain: a systematic review of its concurrent validity. *Pain*. 2019;160(12):2679-2690. doi:10.1097/j.pain.0000000000001664
 48. Fernández-de-Las-Peñas C, Dommerholt J. International Consensus on Diagnostic Criteria and Clinical Considerations of Myofascial Trigger Points: A Delphi Study. *Pain Med*. 2018;19(1):142-150. doi:10.1093/pm/pnx207
 49. Ford B, Cohen M, Halaki M, Diong J, Ginn KA. Experimental shoulder pain models do not validly replicate the clinical experience of shoulder pain. *Scand J Pain*. 2019;20(1):167-174. doi:10.1515/sjpain-2019-0055
 50. Franco PG, Santos KB, Rodacki AL. Joint positioning sense, perceived force level and two-point discrimination tests of young and active elderly adults. *Braz J*

- Phys Ther.* 2015;19(4):304-310. doi:10.1590/bjpt-rbf.2014.0099
51. Fyhr C, Gustavsson L, Wassinger C, Sole G. The effects of shoulder injury on kinaesthesia: a systematic review and meta-analysis. *Man Ther.* 2015;20(1):28-37. doi:10.1016/j.math.2014.08.006
 52. Ge HY, Fernández-de-Las-Peñas C, Madeleine P, Arendt-Nielsen L. Topographical mapping and mechanical pain sensitivity of myofascial trigger points in the infraspinatus muscle. *Eur J Pain.* 2008;12(7):859-865. doi:10.1016/j.ejpain.2007.12.005
 53. Gerber C, Galantay RV, Hersche O. The pattern of pain produced by irritation of the acromioclavicular joint and the subacromial space. *J Shoulder Elbow Surg.* 1998;7(4):352-355. doi:10.1016/s1058-2746(98)90022-2
 54. Gerber C, Meyer DC, Wieser K, Sutter R, Schubert M, Kriechling P. Suprascapular nerve decompression in addition to rotator cuff repair: a prospective, randomized observational trial. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(8):1633-1641. doi:10.1016/j.jse.2020.03.051
 55. Gereli A, Uslu S, Okur B, Ulku TK, Kocaoğlu B, Yoo YS. Effect of suprascapular nerve injury on rotator cuff enthesis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(8):1584-1589. doi:10.1016/j.jse.2019.12.028
 56. Gotoh M, Hamada K, Yamakawa H, Inoue A, Fukuda H. Increased substance P in subacromial bursa and shoulder pain in rotator cuff diseases. *J Orthop Res.* 1998;16(5):618-621. doi:10.1002/jor.1100160515
 57. Graven-Nielsen T. Fundamentals of muscle pain, referred pain, and deep tissue hyperalgesia. *Scand J Rheumatol Suppl.* 2006;122:1-43. doi:10.1080/03009740600865980
 58. Gwilym SE, Oag HC, Tracey I, Carr AJ. Evidence that central sensitisation is present in patients with shoulder impingement syndrome and influences the outcome after surgery. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(4):498-502. doi:10.1302/0301-620X.93B4.25054
 59. Haik MN, Evans K, Smith A, Henríquez L, Bisset L. People with musculoskeletal shoulder pain demonstrate no signs of altered pain processing. *Musculoskelet Sci Pract.* 2019;39:32-38. doi:10.1016/j.msksp.2018.11.008
 60. Hedayatpour N, Arendt-Nielsen L, Farina D. Non-uniform electromyographic activity during fatigue and recovery of the vastus medialis and lateralis muscles. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):390-396. doi:10.1016/j.jelekin.2006.12.004
 61. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5):361-374. doi:10.1016/s1050-6411(00)00027-4
 62. Hidalgo-Lozano A, Fernández-de-las-Peñas C, Díaz-Rodríguez L, González-Iglesias J, Palacios-Ceña D, Arroyo-Morales M. Changes in pain and pressure pain sensitivity after manual treatment of active trigger points in patients with

- unilateral shoulder impingement: a case series. *J Bodyw Mov Ther.* 2011;15(4):399-404. doi:10.1016/j.jbmt.2010.12.003
63. Hollis D, Mendis MD, Ng SK, et al. Altered Sensory Processing in People Attending Specialist Orthopaedic Consultation for Management of Persistent Shoulder Pain: An Observational Cross-Sectional Study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2024;54(10):1-10. doi:10.2519/jospt.2024.12512
 64. Huang HW, Wang WC, Lin CC. Influence of age on thermal thresholds, thermal pain thresholds, and reaction time. *J Clin Neurosci.* 2010;17(6):722-726. doi:10.1016/j.jocn.2009.10.003
 65. Intelangelo L, Mista CA, Barone M, et al. Spatiotemporal characterization of an experimental model of muscle pain in humans based on short-wave diathermy. *Eur J Pain.* 2024. doi:10.1002/ejp.2309
 66. Intelangelo L, Bordachar D, Mendoza C, et al. Pressure pain threshold mappings of the infraspinatus muscle in chronic unilateral shoulder pain patients do not reflect generalized hypersensitivity. *Musculoskelet Sci Pract.* 2022;58:102495. doi:10.1016/j.msksp.2021.102495
 67. Intelangelo L, Bordachar DJ, Mendoza CI, Imaz F, Barone M, Barbosa AW. Effect of different postures of the scapular girdle and arm on the pressure pain threshold in the infraspinatus muscle. *J Bodyw Mov Ther.* 2021;28:276-282. doi:10.1016/j.jbmt.2021.08.001
 68. Intelangelo L, Mendoza C, Lassaga I, Barbosa AC, Biurrun Manresa J, Mista C. No Evidence of Short-term Changes in Muscle Activity Elicited by Dry Needling in Chronic Unilateral Shoulder Pain Patients. *Clin J Pain.* 2023;39(11):595-603. doi:10.1097/AJP.0000000000001151
 69. Jafarian Tangrood Z, Spontelli Gisselman A, Sole G, Cury Ribeiro D. Clinical course of pain and function in subacromial shoulder pain: a systematic review with meta-analysis. *Phys Ther Rev.* 2023; 0:1–20. doi.org/10.1080/10833196.2023.2192620
 70. Katsuura Y, Bruce J, Taylor S, Gullota L, Kim HJ. Overlapping, Masquerading, and Causative Cervical Spine and Shoulder Pathology: A Systematic Review. *Global Spine J.* 2020;10(2):195-208. doi:10.1177/2192568218822536
 71. Kennedy DJ, Mattie R, Nguyen Q, Hamilton S, Conrad B. Glenohumeral Joint Pain Referral Patterns: A Descriptive Study. *Pain Med.* 2015;16(8):1603-1609. doi:10.1111/pme.12797
 72. Kennedy DL, Kemp HI, Ridout D, Yarnitsky D, Rice ASC. Reliability of conditioned pain modulation: a systematic review. *Pain.* 2016;157(11):2410-2419. doi:10.1097/j.pain.0000000000000689
 73. Kosek E, Hansson P. The influence of experimental pain intensity in the local and referred pain area on somatosensory perception in the area of referred pain. *Eur J Pain.* 2002;6(6):413-425. doi:10.1016/s1090-3801(02)00041-1
 74. Kuppens K, Hans G, Roussel N, et al. Sensory processing and central pain modulation in patients with chronic shoulder pain: A case-control study. *Scand J Med Sci Sports.* 2018;28(3):1183-1192. doi:10.1111/sms.12982

75. Lázaro C, Caseras X, Whizar-Lugo VM, et al. Psychometric properties of a Spanish version of the McGill Pain Questionnaire in several Spanish-speaking countries. *Clin J Pain*. 2001;17(4):365-374. doi:10.1097/00002508-200112000-00012
76. Leffler AS, Kosek E, Hansson P. Injection of hypertonic saline into musculus infraspinatus resulted in referred pain and sensory disturbances in the ipsilateral upper arm. *Eur J Pain*. 2000;4(1):73-82. doi:10.1053/eujp.1999.0160
77. Wei LH, Chowdhury SK: An electromyography-based multi-muscle fatigue model to investigate operational task performance. *ioRxiv* 2023.11.15.567264. doi: <https://doi.org/10.1101/2023.11.15.567264>bioRxiv
78. Lewis GN, Rice DA, McNair PJ. Conditioned pain modulation in populations with chronic pain: a systematic review and meta-analysis. *J Pain*. 2012;13(10):936-944. doi:10.1016/j.jpain.2012.07.005
79. Li L, Stoop R, Clijsen R, et al. Criteria Used for the Diagnosis of Myofascial Trigger Points in Clinical Trials on Physical Therapy: Updated Systematic Review. *Clin J Pain*. 2020;36(12):955-967. doi:10.1097/AJP.0000000000000875
80. Lo CN, Leung BPL, Sanders G, Li MWM, Ngai SPC. The major pain source of rotator cuff-related shoulder pain: A narrative review on current evidence. *Musculoskeletal Care*. 2023;21(2):285-293. doi:10.1002/msc.1719
81. Lund JP, Donga R, Widmer CG, Stohler CS. The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Can J Physiol Pharmacol*. 1991;69(5):683-694. doi:10.1139/y91-102
82. Lynn B: Lesión por esfuerzos repetitivos. Tratado del Dolor Koltzenburg, Stephen B McMahon Martin 5ta Ed. Elsevier Ltd; pag: 727–737,2007.
83. Ma HH, Wu WT, Tsai IC, Chang KV. Does suprascapular nerve release provide additional benefits for rotator cuff repair: a systematic review and meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2022;31(11):2421-2430. doi:10.1016/j.jse.2022.05.015
84. Manual B, Workers WO, Ortega-santiago R, Fischer CS, Boesch D, Froidevaux P, Stocker L, Weissmann R, Gonza J: Referred Pain From Myofascial Trigger Points in Head , Neck , Shoulder , and Arm Muscles Reproduces Pain Symptoms in. 28:511–8, 2012.
85. Paul TM, Soo Hoo J, Chae J, Wilson RD. Central hypersensitivity in patients with subacromial impingement syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(12):2206-2209. doi:10.1016/j.apmr.2012.06.026
86. Martinez-Valdes E, Negro F, Farina D, Falla D. Divergent response of low-versus high-threshold motor units to experimental muscle pain. *J Physiol*. 2020;598(11):2093-2108. doi:10.1113/JP279225
87. McClure P, Tate AR, Kareha S, Irwin D, Zlupko E. A clinical method for identifying scapular dyskinesis, part 1: reliability. *J Athl Train*. 2009;44(2):160-164. doi:10.4085/1062-6050-44.2.160
88. McClure PW, Michener LA. Staged Approach for Rehabilitation Classification: Shoulder Disorders (STAR-Shoulder). *Phys Ther*. 2015;95(5):791-800.

doi:10.2522/ptj.20140156

89. McMahon SB, Koltzenburg M, Ma IT, Turk DC: Wall and Melzack's Textbook of Pain. Anesth. Prog. 2013.
90. Medina C, Barquera S, Janssen I. Validity and reliability of the International Physical Activity Questionnaire among adults in Mexico. *Rev Panam Salud Publica*. 2013;34(1):21-28.
91. Medina C, Barquera S, Janssen I. Validity and reliability of the International Physical Activity Questionnaire among adults in Mexico. *Rev Panam Salud Publica*. 2013;34(1):21-28.
92. Mesquita RNO, Škarabot J, Pearcey GEP. Low-threshold motor units can be a pain during experimental muscle pain. *J Physiol*. 2020;598(13):2545-2547. doi:10.1113/JP279872
93. Michener LA, McClure PW, Karduna AR. Anatomical and biomechanical mechanisms of subacromial impingement syndrome. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003;18(5):369-379. doi:10.1016/s0268-0033(03)00047-0
94. Mista CA, Laugero SJ, Adur JF, Andersen OK, Biurrun Manresa JA. A new experimental model of muscle pain in humans based on short-wave diathermy. *Eur J Pain*. 2019;23(9):1733-1742. doi:10.1002/ejp.1449
95. Mista CA, Laugero SJ, Adur JF, Andersen OK, Biurrun Manresa JA. A new experimental model of muscle pain in humans based on short-wave diathermy. *Eur J Pain*. 2019;23(9):1733-1742. doi:10.1002/ejp.1449
96. Morrison I, Perini I, Dunham J. Facets and mechanisms of adaptive pain behavior: predictive regulation and action. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:755. doi:10.3389/fnhum.2013.00755
97. Myers JB, Hwang JH, Pasquale MR, Blackburn JT, Lephart SM. Rotator cuff coactivation ratios in participants with subacromial impingement syndrome. *J Sci Med Sport*. 2009;12(6):603-608. doi:10.1016/j.jsams.2008.06.003.
98. Neblett R, Sanabria-Mazo JP, Luciano JV, et al. Is the Central Sensitization Inventory (CSI) associated with quantitative sensory testing (QST)? A systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2024;161:105612. doi:10.1016/j.neubiorev.2024.105612
99. Nijs J, George SZ, Clauw DJ, et al. Central sensitisation in chronic pain conditions: latest discoveries and their potential for precision medicine. *Lancet Rheumatol*. 2021;3(5):e383-e392. doi:10.1016/S2665-9913(21)00032-1
100. Nijs J, Lahousse A, Kapreli E, et al. Nociceptive Pain Criteria or Recognition of Central Sensitization? Pain Phenotyping in the Past, Present and Future. *J Clin Med*. 2021;10(15):3203. Published 2021 Jul 21. doi:10.3390/jcm10153203
101. Noten S, Struyf F, Lluch E, D'Hoore M, Van Looveren E, Meeus M. Central Pain Processing in Patients with Shoulder Pain: A Review of the Literature. *Pain Pract*. 2017;17(2):267-280. doi:10.1111/papr.12502
102. Othman R, Swain N, Tumilty S, Jayakaran P, Mani R: Pro-nociceptive pain modulation profile in patients with acute and chronic shoulder pain: a hypothesis-

- generating topical review. *Phys Ther Rev.* 2021;26(6): 403–19. doi:10.1080/10833196.2021.1973776.
103. Othman R, Swain N, Tumilty S, Jayakaran P, Mani R. Sensitivity to movement-evoked pain, central sensitivity symptoms, and pro-nociceptive profiles in people with chronic shoulder pain: A parallel-group cross-sectional investigation. *Pain Pract.* 2023;23(1):41-62. doi:10.1111/papr.13152
 104. Doménech-García V, Palsson TS, Herrero P, Graven-Nielsen T. Pressure-induced referred pain is expanded by persistent soreness. *Pain.* 2016;157(5):1164-1172. doi:10.1097/j.pain.0000000000000497
 105. Park S, Roh SH, Lee JY. Body regional heat pain thresholds using the method of limit and level: a comparative study. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(3):771-780. doi:10.1007/s00421-018-04068-4
 106. Parsons S, Breen A, Foster NE, et al. Prevalence and comparative troublesomeness by age of musculoskeletal pain in different body locations. *Fam Pract.* 2007;24(4):308-316. doi:10.1093/fampra/cmm027
 107. PC. G. Musculoskeletal disorders. *Clin Evid* 6:1108, 2010.
 108. Peck CC, Murray GM, Gerzina TM. How does pain affect jaw muscle activity? The Integrated Pain Adaptation Model. *Aust Dent J.* 2008;53(3):201-207. doi:10.1111/j.1834-7819.2008.00050.x
 109. Petersen KK, Vaegter HB, Stubhaug A, et al. The predictive value of quantitative sensory testing: a systematic review on chronic postoperative pain and the analgesic effect of pharmacological therapies in patients with chronic pain. *Pain.* 2021;162(1):31-44. doi:10.1097/j.pain.0000000000002019
 110. Pieters L, Lewis J, Kuppens K, et al. An Update of Systematic Reviews Examining the Effectiveness of Conservative Physical Therapy Interventions for Subacromial Shoulder Pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2020;50(3):131-141. doi:10.2519/jospt.2020.8498
 111. Policastro PO, Pierobon A, Pérez J, et al. Cross-cultural adaptation and validation of the Argentine "American Shoulder and elbow surgeons, patient self-report section" questionnaire. *Musculoskelet Sci Pract.* 2019;43:37-44. doi:10.1016/j.msksp.2019.05.010
 112. Previtali D, Bordoni V, Filardo G, Marchettini P, Guerra E, Candrian C. High Rate of Pain Sensitization in Musculoskeletal Shoulder Diseases: A Systematic Review and Meta-analysis. *Clin J Pain.* 2021;37(3):237-248. doi:10.1097/AJP.0000000000000914
 113. Reddy AS, Mohr KJ, Pink MM, Jobe FW. Electromyographic analysis of the deltoid and rotator cuff muscles in persons with subacromial impingement. *J Shoulder Elbow Surg.* 2000;9(6):519-523. doi:10.1067/mse.2000.109410
 114. Ribeiro DC, de Castro MP, Sole G, Vicenzino B. The initial effects of a sustained glenohumeral postero-lateral glide during elevation on shoulder muscle activity: A repeated measures study on asymptomatic shoulders. *Man Ther.* 2016;22:101-108. doi:10.1016/j.math.2015.10.014
 115. Rio E, Sandler J, Cheng K, Moseley GL, Cook J, Girdwood M. Sensory

- Processing in People With and Without Tendinopathy: A Systematic Review With Meta-analysis of Local, Regional, and Remote Sites in Upper- and Lower-Limb Conditions. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2021;51(1):12-26. doi:10.2519/jospt.2021.9417
116. Røijezon U, Clark NC, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Man Ther.* 2015;20(3):368-377. doi:10.1016/j.math.2015.01.008
 117. Roy JS, Moffet H, McFadyen BJ. Upper limb motor strategies in persons with and without shoulder impingement syndrome across different speeds of movement. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008;23(10):1227-1236. doi:10.1016/j.clinbiomech.2008.07.009
 118. Sacramento LS, Camargo PR, Siqueira-Júnior AL, Ferreira JP, Salvini TF, Albuquerque-Sendín F. Presence of Latent Myofascial Trigger Points and Determination of Pressure Pain Thresholds of the Shoulder Girdle in Healthy Children and Young Adults: A Cross-sectional Study. *J Manipulative Physiol Ther.* 2017;40(1):31-40. doi:10.1016/j.jmpt.2016.10.007
 119. Salo KS, Vaalto SMI, Koponen LM, Nieminen JO, Ilmoniemi RJ. The effect of experimental pain on short-interval intracortical inhibition with multi-locus transcranial magnetic stimulation. *Exp Brain Res.* 2019;237(6):1503-1510. doi:10.1007/s00221-019-05502-5
 120. Seitz AL, McClure PW, Finucane S, Boardman ND 3rd, Michener LA. Mechanisms of rotator cuff tendinopathy: intrinsic, extrinsic, or both?. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26(1):1-12. doi:10.1016/j.clinbiomech.2010.08.001
 121. Simons DG, Travell JG, Simons LS: Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual. Volumen 1. Upper half body. *Curr. Pain Headache Rep.* 1999.
 122. Singh S, Mohammad F, Gill S, Kumar D, Kumar S: Utility of Pain Mapping in Shoulder Disorders. *Int J Orthop* , 2015.doi:10.17554/j.issn.23115106.2015.02.80
 123. Skolimowski J, Winiarski S, Anwajler J, Skolimowska B, Barczyk K, Dudek K. Bioelectric activity of selected muscle groups in people with impingement syndrome. *Acta Bioeng Biomech.* 2009;11(1):37-45.
 124. Sole G, Osborne H, Wassinger C. Electromyographic response of shoulder muscles to acute experimental subacromial pain. *Man Ther.* 2014;19(4):343-348. doi:10.1016/j.math.2014.03.001
 125. Sole G, Osborne H, Wassinger C. The effect of experimentally-induced subacromial pain on proprioception. *Man Ther.* 2015;20(1):166-170. doi:10.1016/j.math.2014.08.009
 126. Stackhouse SK, Eisennagel A, Eisennagel J, Lenker H, Sweitzer BA, McClure PW. Experimental pain inhibits infraspinatus activation during isometric external rotation. *J Shoulder Elbow Surg.* 2013;22(4):478-484. doi:10.1016/j.jse.2012.05.037
 127. Stecco C, Gagey O, Belloni A, et al. Anatomy of the deep fascia of the upper limb. Second part: study of innervation. *Morphologie.* 2007;91(292):38-43.

doi:10.1016/j.morpho.2007.05.002

128. Sterling M. Whiplash-associated disorder: musculoskeletal pain and related clinical findings. *J Man Manip Ther.* 2011;19(4):194-200. doi:10.1179/106698111X13129729551949
129. Steuri R, Sattelmayer M, Elsig S, et al. Effectiveness of conservative interventions including exercise, manual therapy and medical management in adults with shoulder impingement: a systematic review and meta-analysis of RCTs. *Br J Sports Med.* 2017;51(18):1340-1347. doi:10.1136/bjsports-2016-096515
130. Summers SJ, Chipchase LS, Hirata R, Graven-Nielsen T, Cavaleri R, Schabrun SM. Motor adaptation varies between individuals in the transition to sustained pain. *Pain.* 2019;160(9):2115-2125. doi:10.1097/j.pain.0000000000001604
131. Tekavec E, Jöud A, Rittner R, et al. Population-based consultation patterns in patients with shoulder pain diagnoses. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012;13:238. doi:10.1186/1471-2474-13-238
132. Tsuda Y, Amako M, Takashima K, Kawaguchi M. Preoperative and postoperative shoulder position sense in patients who underwent arthroscopic Bankart repair for traumatic shoulder joint instability. *JSES Int.* 2021;5(2):190-193. doi:10.1016/j.jseint.2020.10.027
133. Uddin Z, MacDermid JC. Quantitative Sensory Testing in Chronic Musculoskeletal Pain. *Pain Med.* 2016;17(9):1694-1703. doi:10.1093/pm/pnv105
134. Coronado RA, Kindler LL, Valencia C, George SZ. Thermal and pressure pain sensitivity in patients with unilateral shoulder pain: comparison of involved and uninvolved sides. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(3):165-173. doi:10.2519/jospt.2011.3416
135. Valencia C, Kindler LL, Fillingim RB, George SZ. Investigation of central pain processing in shoulder pain: converging results from 2 musculoskeletal pain models. *J Pain.* 2012;13(1):81-89. doi:10.1016/j.jpain.2011.10.006
136. Verdugo RJ, Matamala JM, Inui K, et al. Review of techniques useful for the assessment of sensory small fiber neuropathies: Report from an IFCN expert group. *Clin Neurophysiol.* 2022;136:13-38. doi:10.1016/j.clinph.2022.01.002
137. Vieira TM, Botter A. The Accurate Assessment of Muscle Excitation Requires the Detection of Multiple Surface Electromyograms. *Exerc Sport Sci Rev.* 2021;49(1):23-34. doi:10.1249/JES.0000000000000240
138. Vila-Diequez O, Heindel MD, Awokuse D, Kulig K, Michener LA. Exercise for rotator cuff tendinopathy: Proposed mechanisms of recovery. *Shoulder Elbow.* 2023;15(3):233-249. doi:10.1177/17585732231172166
139. Wan DWL, Arendt-Nielsen L, Wang K, Xue CC, Wang Y, Zheng Z. Pain Adaptability in Individuals With Chronic Musculoskeletal Pain Is Not Associated With Conditioned Pain Modulation. *J Pain.* 2018;19(8):897-909. doi:10.1016/j.jpain.2018.03.002.
140. Wasker SVZ, Challoumas D, Weng W, Murrell GAC, Millar NL. Is neurogenic inflammation involved in tendinopathy? A systematic review. *BMJ Open Sport*

- Exerc Med.* 2023;9(1):e001494. doi:10.1136/bmjsem-2022-001494
141. Wassinger CA, Sole G, Osborne H. Clinical measurement of scapular upward rotation in response to acute subacromial pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(4):199-203. doi:10.2519/jospt.2013.4276
 142. Wassinger CA, Sole G, Osborne H. The role of experimentally-induced subacromial pain on shoulder strength and throwing accuracy. *Man Ther.* 2012;17(5):411-415. doi:10.1016/j.math.2012.03.008
 143. Winkelstein BA. Mechanisms of central sensitization, neuroimmunology & injury biomechanics in persistent pain: implications for musculoskeletal disorders. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(1):87-93. doi:10.1016/j.jelekin.2003.09.017
 144. Witten A, Mikkelsen K, Wagenblast Mayntzhusen T, et al. Terminology and diagnostic criteria used in studies investigating patients with subacromial pain syndrome from 1972 to 2019: a scoping review. *Br J Sports Med.* 2023;57(13):864-871. doi:10.1136/bjsports-2022-106340
 145. Xanthos DN, Sandkühler J. Neurogenic neuroinflammation: inflammatory CNS reactions in response to neuronal activity. *Nat Rev Neurosci.* 2014;15(1):43-53. doi:10.1038/nrn3617
 146. Yang TH, Lin MH, Kuo LT, et al. Suprascapular nerve release does not provide additional benefits in arthroscopic rotator cuff repair surgery: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(5):1873-1882. doi:10.1007/s00167-022-07066-4
 147. Atlas of Functional Shoulder Anatomy. Atlas Funct. Shoulder Anat. 2008.

ANEXOS

Protocolos y registros: Previo al inicio del protocolo, se realizaron tres estudios de confiabilidad sobre las metodologías que serían utilizadas en el protocolo. Se registraron en la plataforma internacional *clinicaltrials.gov*. El link de los registros de los protocolos de confiabilidad se deja a continuación. ClinicalTrials.gov Identifier: NCT05412316

Métodos: El estudio de confiabilidad del protocolo MCP, las sesiones estuvieron separadas por 48 hs, controlando un gran número de condiciones que pueden influir (ritmo sueño vigilia, ingesta de analgésicos, horarios de evaluación, etc). Las variables fueron randomizadas. Según el cálculo muestral, se evaluaron un total de 30 sujetos de género masculino y femenino entre 18 y 65 años de edad. Sin antecedentes de enfermedades metabólicas, neurológicas, traumáticas/quirúrgicas en el cuadrante superior, lesiones de piel, etc.

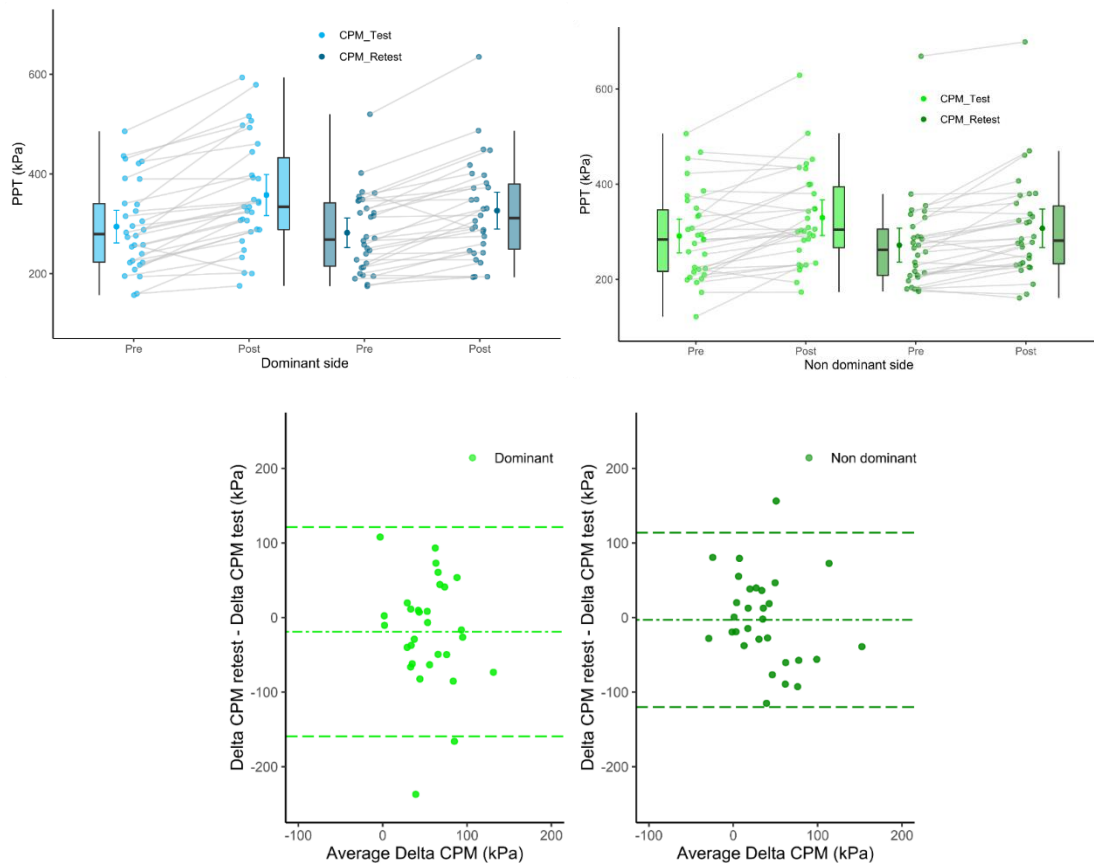
Calculo de la muestra: Todos los métodos de evaluación de la confiabilidad utilizados en este estudio están relacionados con la desviación estándar intrasujeto (SD_w). Para un experimento test-retest, el SD_w se puede calcular como $SD_w = (SD_{diff})/\sqrt{2}$, y el LoA se puede reformular como sesgo $\pm 1,96 SD_w$. La precisión para estimar SD_w depende tanto del número de sujetos, n , como del número de observaciones por sujeto. Se requiere un tamaño de muestra de 30 sujetos considerando un intervalo de confianza del 25% a cada lado de la estimación de SD_w , y para $m=2$ observaciones por sujeto.

Estadísticas: El análisis de datos y las estadísticas se realizaron en jamovi ver. 2.3.28 y R versión. 4.3.2. Los datos se resumieron como media \pm desviación estándar (para resultados con distribución normal) o mediana [rango intercuartil] (para resultados con distribución no normal), a menos que se indique lo contrario. Todos los métodos de evaluación de la confiabilidad utilizados en estos estudios están relacionados con el error estándar de medición, también llamado desviación estándar intrasujeto (SD_w). Para los experimentos test-retest, la SD_w se calculó como $SD_w = SD_{diff}/\sqrt{2}$ (donde SD_{diff} es la desviación estándar de las diferencias entre medidas repetidas). La confiabilidad se evaluó gráficamente mediante gráficos de Bland-Altman, en los que las diferencias entre las medidas de prueba y repetición se representaron frente al promedio de ambas mediciones. En estos gráficos, el "sesgo" se evaluó como la diferencia promedio y los límites de acuerdo ("LoA") se calcularon como "sesgo" $\pm 1,96 SD_w$. En términos simples, el "sesgo" indica si existe alguna diferencia sistemática entre las sesiones, y el "LoA" delimita el rango en el que se espera que se encuentre la mayor parte (95%) de la diferencia entre las mediciones de la prueba y la repetición de la prueba.

Características demográficas: se incluyeron 15 mujeres (23.3 \pm 3.3 años, 167 \pm 8.6 cm de altura, 62.7 \pm 7.2 kg de peso, 22.6 \pm 2.4 kg/m² IMC, 12 dominancia derecha) y 16 hombres (27.1 \pm 4 años, 182 \pm 6.1 cm de altura, 78.2 \pm 8.5 kg de peso, 23.8 \pm 2.1 kg/m² IMC, 14 dominancia derecha).

1) Test-Retest Reliability of a Model of Conditioned Pain Modulation.

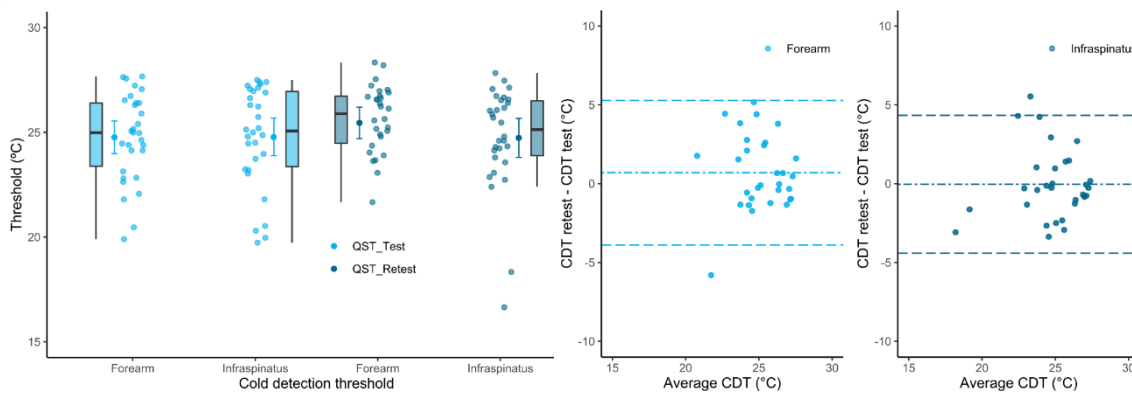
Resultados: el análisis sobre los valores delta muestra diferencias estadísticamente significativas en el test y re test para la dominancia ($P=.015$ $Es=.47$), observaciones que no se plasmaron en el re test ($P=.30$ $Es=.19$). En la comparación intra-sesión de las repeticiones todos mostraron diferencias significativas y efectos muy grandes. La confiabilidad sobre esta diferencia es aceptable, en este caso los límites de la concordancia también pueden ser esperables.



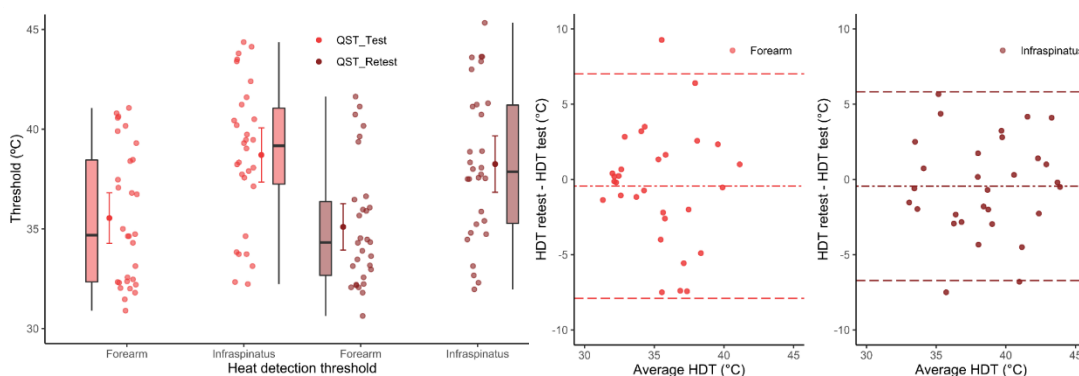
Delta CPM	CV (95% CI)	SEM (95%CI)	LLA - ULA
Dominant	86.1	49.2	-160.4 – 122.6
Non Dominant	49.6	41.8	- 120.9 – 114.7

2) Test-Retest Reliability of a Model of Quantitative Sensory Testing

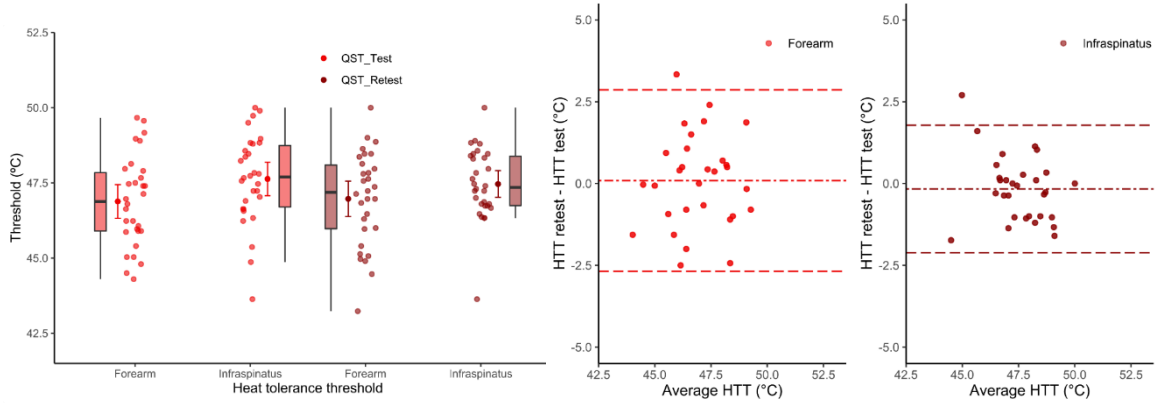
Resultados: para el umbral de detección al frío para el antebrazo no se encontraron diferencias significativas entre el test retest ($P=.118$ $Es=-0.29$) y ($P=.926$ $Es=0.01$) para el infraespinoso. La gráfica de Bland-Altman revelan un sesgo sistemático bajo y confiabilidad aceptable con límites de concordancia esperables (CV(95%CI) 5.6, SEM(95%CI) 1.6, LLA-ULA, -5.3– 3.9 para el antebrazo y (CV(95%CI) 4.9, SEM(95%CI) 1.5, LLA-ULA, -4.3-4.4). En el caso del umbral de percepción al calor, las diferencias tampoco fueron significativos entre test retest ($P=.53$ $Es=.11$) y ($P=.44$ $Es=.14$), sin embargo, hubo un cambio significativo entre las regiones. Los límites de la concordancia fueron levemente más amplios que el anterior (LLA-ULA, -7-7.9 y -5.8-6.7 respectivamente), sin embargo, son aceptables. Finalmente, el umbral de tolerancia al calor tubo el mismo comportamiento que el frio ($P=.73$ $Es=-0.06$) y ($P=.36$ $Es=.16$). Bland-Altman revelan un sesgo sistemático bajo y confiabilidad aceptable sus diferencias son aceptables, y sus límites fueron de los menores para los tres estímulos.



CDT	CV (95% CI)	SEM (95%CI)	LLA - ULA
Forearm	5.6	1.66	-5.3– 3.9
Infraspinatus	4.9	1.5	- 4.3 – 4.4



HDT	CV (95% CI)	SEM (95%CI)	LLA - ULA
Forearm	6.5	2.6	-7 - 7.9
Infraspinatus	4.6	2.2	- 5.8 - 6.7



HTT	CV (95% CI)	SEM (95%CI)	LLA - ULA
Forearm	1.6	0.9	-2.8 - 2.7
Infraspinatus	4.6	2.2	- 1.7 - 2.1

Valores de F (post hoc) de los niveles de actividad del músculo infraespinoso durante las tareas isométricas

Post Hoc Tests

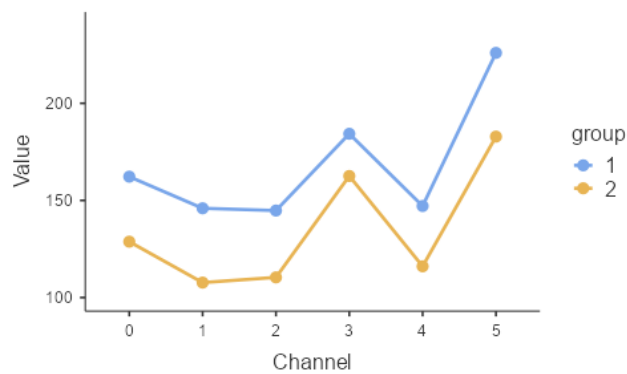
Post Hoc Comparisons - Channel

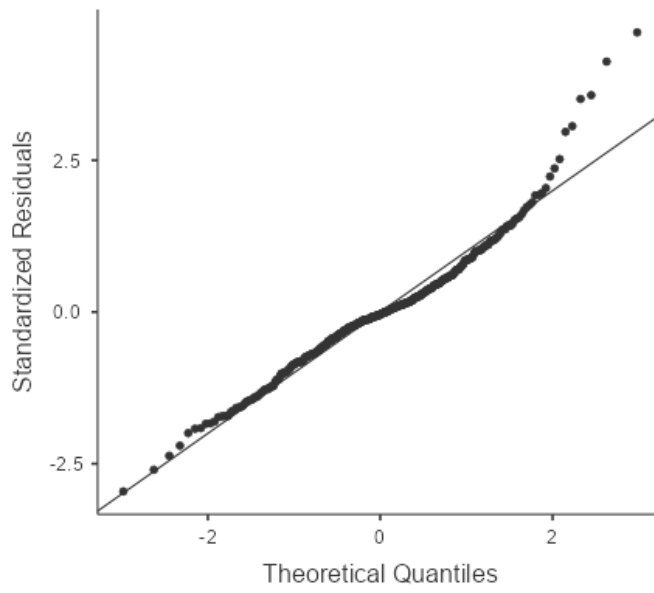
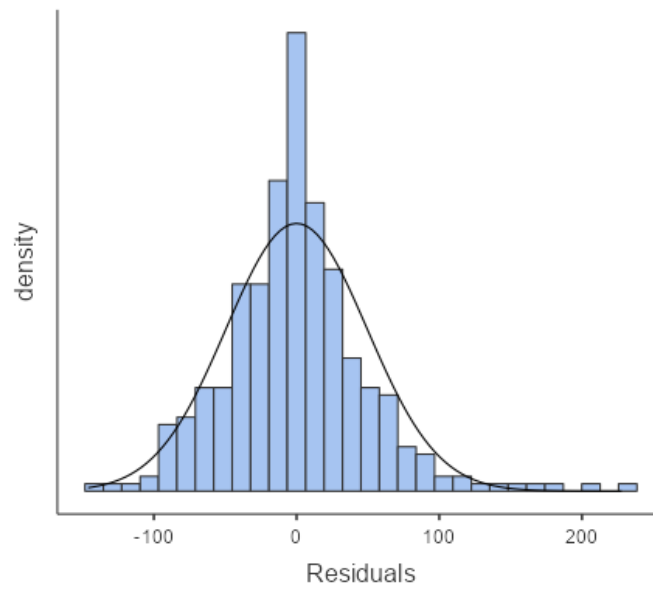
Comparison		Difference	SE	t	df	Pbonferroni	Pholm
Channel	Channel						
0	- 1	18.674	4.98	3.746	280	0.003	0.001
0	- 2	17.912	4.98	3.593	280	0.006	0.002
0	- 3	-27.941	4.98	-5.606	280	<.001	<.001
0	- 4	13.899	4.98	2.789	280	0.085	0.023
0	- 5	-58.904	4.98	-11.817	280	<.001	<.001
1	- 2	-0.762	4.98	-0.153	280	1.000	1.000
1	- 3	-46.615	4.98	-9.352	280	<.001	<.001
1	- 4	-4.774	4.98	-0.958	280	1.000	1.000
1	- 5	-77.577	4.98	-15.564	280	<.001	<.001
2	- 3	-45.853	4.98	-9.199	280	<.001	<.001
2	- 4	-4.012	4.98	-0.805	280	1.000	1.000
2	- 5	-76.815	4.98	-15.411	280	<.001	<.001
3	- 4	41.841	4.98	8.394	280	<.001	<.001
3	- 5	-30.963	4.98	-6.212	280	<.001	<.001
4	- 5	-72.803	4.98	-14.606	280	<.001	<.001

Post Hoc Comparisons - group

Comparison		Difference	SE	t	df	Pbonferroni	Pholm
group	group						
1	- 2	33.7	17.0	1.98	56.0	0.053	0.053

Effects Plots



Assumption Checks**Q-Q Plot****Residual histogram**

Valores de F (post hoc) de la frecuencia media del músculo infraespinoso durante las tareas isométricas

Post Hoc Tests

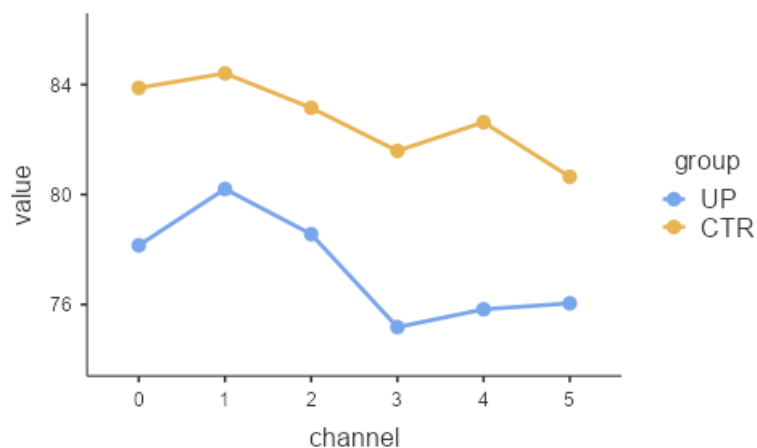
Post Hoc Comparisons - channel

Comparison		Difference	SE	t	df	Pholm
channel	channel					
0	- 1	-1.2911	0.760	-1.6985	280	0.453
0	- 2	0.1594	0.760	0.2096	280	1.000
0	- 3	2.6348	0.760	3.4662	280	0.007
0	- 4	1.7874	0.760	2.3515	280	0.155
0	- 5	2.6727	0.760	3.5161	280	0.006
1	- 2	1.4505	0.760	1.9082	280	0.344
1	- 3	3.9259	0.760	5.1647	280	< .001
1	- 4	3.0785	0.760	4.0500	280	< .001
1	- 5	3.9638	0.760	5.2146	280	< .001
2	- 3	2.4754	0.760	3.2565	280	0.011
2	- 4	1.6281	0.760	2.1418	280	0.231
2	- 5	2.5134	0.760	3.3065	280	0.011
3	- 4	-0.8473	0.760	-1.1147	280	0.981
3	- 5	0.0379	0.760	0.0499	280	1.000
4	- 5	0.8853	0.760	1.1646	280	0.981

Post Hoc Comparisons - group

Comparison		Difference	SE	t	df	Pholm
group	group					
UP	- CTR	-5.39	1.52	-3.54	56.0	< .001

Effects Plots



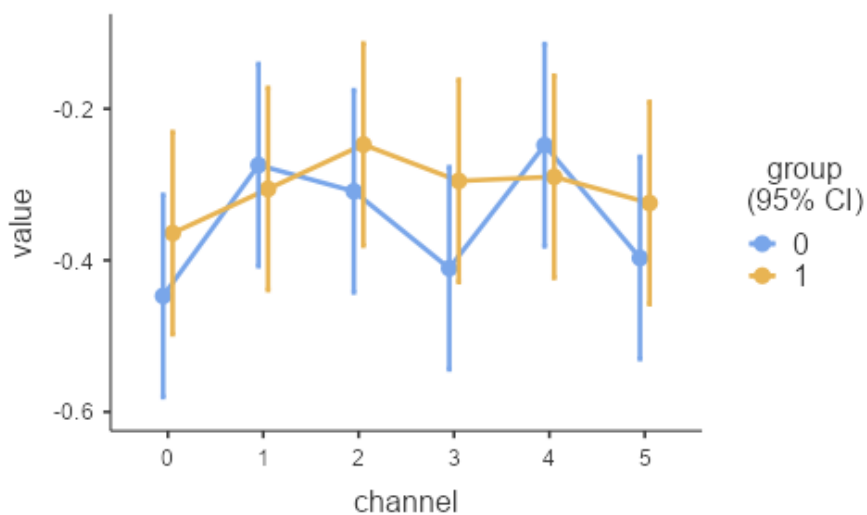
Valores de F (Post Hoc) de la frecuencia media del músculo infraespinoso durante las tareas fatigantes

- Análisis de la ordenada al origen de la recta

Post Hoc Tests

Post Hoc Comparisons - channel							
Comparison		Difference	SE	t	df	Pbonferroni	Pholm
channel	channel						
0	- 1	-0.11549	0.0375	-3.078	300	0.034	0.030
0	- 2	-0.12746	0.0375	-3.397	300	0.012	0.011
0	- 3	-0.05272	0.0375	-1.405	300	1.000	0.966
0	- 4	-0.13666	0.0375	-3.643	300	0.005	0.005
0	- 5	-0.04496	0.0375	-1.198	300	1.000	1.000
1	- 2	-0.01197	0.0375	-0.319	300	1.000	1.000
1	- 3	0.06278	0.0375	1.673	300	1.000	0.667
1	- 4	-0.02116	0.0375	-0.564	300	1.000	1.000
1	- 5	0.07054	0.0375	1.880	300	0.916	0.488
2	- 3	0.07475	0.0375	1.992	300	0.709	0.425
2	- 4	-0.00920	0.0375	-0.245	300	1.000	1.000
2	- 5	0.08250	0.0375	2.199	300	0.429	0.286
3	- 4	-0.08394	0.0375	-2.237	300	0.390	0.286
3	- 5	0.00776	0.0375	0.207	300	1.000	1.000
4	- 5	0.09170	0.0375	2.444	300	0.226	0.181

Effects Plots



*- Análisis de la interacción de la recta***Post Hoc Tests**

Post Hoc Comparisons - group * channel

Comparison				Difference	SE	t	df	Pholm
group	channel	group	channel					
0	0	- 0	1	0.6066	1.26	0.4799	300.0	1.000
0	0	- 0	2	-1.0149	1.26	-0.8029	300.0	1.000
0	0	- 0	3	3.9451	1.26	3.1210	300.0	0.093
0	0	- 0	4	5.5705	1.26	4.4068	300.0	<.001
0	0	- 0	5	5.4496	1.26	4.3111	300.0	0.001
0	0	- 1	0	-0.4801	2.45	-0.1958	97.4	1.000
0	0	- 1	1	-2.0075	2.45	-0.8189	97.4	1.000
0	0	- 1	2	-3.9676	2.45	-1.6184	97.4	1.000
0	0	- 1	3	6.7517	2.45	2.7541	97.4	0.288
0	0	- 1	4	3.8507	2.45	1.5707	97.4	1.000
0	0	- 1	5	6.4490	2.45	2.6306	97.4	0.386
0	1	- 0	2	-1.6215	1.26	-1.2828	300.0	1.000
0	1	- 0	3	3.3386	1.26	2.6411	300.0	0.348
0	1	- 0	4	4.9640	1.26	3.9269	300.0	0.006
0	1	- 0	5	4.8430	1.26	3.8313	300.0	0.008
0	1	- 1	1	-2.6140	2.45	-1.0663	97.4	1.000
0	1	- 1	2	-4.5742	2.45	-1.8658	97.4	1.000
0	1	- 1	3	6.1451	2.45	2.5066	97.4	0.526
0	1	- 1	4	3.2441	2.45	1.3233	97.4	1.000
0	1	- 1	5	5.8424	2.45	2.3832	97.4	0.650
0	2	- 0	3	4.9601	1.26	3.9239	300.0	0.006
0	2	- 0	4	6.5855	1.26	5.2097	300.0	<.001
0	2	- 0	5	6.4646	1.26	5.1140	300.0	<.001
0	2	- 1	2	-2.9527	2.45	-1.2044	97.4	1.000
0	2	- 1	3	7.7666	2.45	3.1681	97.4	0.094
0	2	- 1	4	4.8656	2.45	1.9847	97.4	1.000
0	2	- 1	5	7.4639	2.45	3.0446	97.4	0.132
0	3	- 0	4	1.6254	1.26	1.2858	300.0	1.000
0	3	- 0	5	1.5045	1.26	1.1902	300.0	1.000
0	3	- 1	3	2.8065	2.45	1.1448	97.4	1.000
0	3	- 1	4	-0.0944	2.45	-0.0385	97.4	1.000
0	3	- 1	5	2.5038	2.45	1.0213	97.4	1.000
0	4	- 0	5	-0.1209	1.26	-0.0957	300.0	1.000
0	4	- 1	4	-1.7198	2.45	-0.7015	97.4	1.000
0	4	- 1	5	0.8784	2.45	0.3583	97.4	1.000
0	5	- 1	5	0.9994	2.45	0.4076	97.4	1.000

1	0	- 0	1	1.0867	2.45	0.4433	97.4	1.000
1	0	- 0	2	-0.5348	2.45	-0.2182	97.4	1.000
1	0	- 0	3	4.4253	2.45	1.8051	97.4	1.000
1	0	- 0	4	6.0507	2.45	2.4681	97.4	0.567
1	0	- 0	5	5.9297	2.45	2.4188	97.4	0.612
1	0	- 1	1	-1.5274	1.26	-1.2083	300.0	1.000
1	0	- 1	2	-3.4875	1.26	-2.7589	300.0	0.259
1	0	- 1	3	7.2318	1.26	5.7210	300.0	< .001
1	0	- 1	4	4.3308	1.26	3.4261	300.0	0.034
1	0	- 1	5	6.9291	1.26	5.4815	300.0	< .001
1	1	- 0	2	0.9925	2.45	0.4049	97.4	1.000
1	1	- 0	3	5.9526	2.45	2.4281	97.4	0.612
1	1	- 0	4	7.5780	2.45	3.0911	97.4	0.117
1	1	- 0	5	7.4571	2.45	3.0418	97.4	0.132
1	1	- 1	2	-1.9601	1.26	-1.5506	300.0	1.000
1	1	- 1	3	8.7591	1.26	6.9292	300.0	< .001
1	1	- 1	4	5.8582	1.26	4.6343	300.0	< .001
1	1	- 1	5	8.4564	1.26	6.6898	300.0	< .001
1	2	- 0	3	7.9127	2.45	3.2277	97.4	0.082
1	2	- 0	4	9.5381	2.45	3.8907	97.4	0.009
1	2	- 0	5	9.4172	2.45	3.8414	97.4	0.011
1	2	- 1	3	10.7193	1.26	8.4799	300.0	< .001
1	2	- 1	4	7.8183	1.26	6.1850	300.0	< .001
1	2	- 1	5	10.4166	1.26	8.2404	300.0	< .001
1	3	- 0	4	-1.1811	2.45	-0.4818	97.4	1.000
1	3	- 0	5	-1.3020	2.45	-0.5311	97.4	1.000
1	3	- 1	4	-2.9010	1.26	-2.2949	300.0	0.740
1	3	- 1	5	-0.3027	1.26	-0.2395	300.0	1.000
1	4	- 0	5	1.5989	2.45	0.6522	97.4	1.000
1	4	- 1	5	2.5983	1.26	2.0555	300.0	1.000

Ficha de datos personales.**Datos personales**

Nombre y apellido					Fecha
Edad	Altura	Peso	H. dominante	H. afectado	Evolución
IMC	Domicilio				Tel
Medicación					
Actividad/Trabajo					
Actividad física/Deporte					
Exploración física					
Observaciones					

ASES				
Örebro				
VAS				
PPT				
FRIO				
CALOR				

Cuestionario de los Cirujanos Americanos de Hombro y Codo - ASES

(Policastro PO, Pierobon A, Pérez J, Novoa GA, Calvo Delfino M, Sajfar ME, et al. Cross-cultural adaptation and validation of the Argentine “American Shoulder and elbow surgeons, patient self-report section” questionnaire. *Musculoskelet Sci Pract* [Internet]. 2019;43(February):37–44.)

Nombre y apellido **Fecha**

Hombro afectado. DER / IZQ

1. Cuestionario sobre dolor. Señale la intensidad de su dolor utilizando la escala análoga visual (VAS)

VAS: _____

2. Cuestionario sobre actividades del diario vivir.

<i>Actividad</i>	Dificultad			
1. Ponerse un saco	0	1	2	3
2. Dormir sobre el lado afectado	0	1	2	3
3. Lavarse la espalda o prenderse el corpiño	0	1	2	3
4. Aseo personal	0	1	2	3
5. Peinarse	0	1	2	3
6. Alcanzar un estante alto	0	1	2	3
7. Levantar 10 libras (4.5 kg) por encima del hombro	0	1	2	3
8. Tirar una pelota por arriba de su cabeza	0	1	2	3
9. Realiza su trabajo usual. Menciónelo	0	1	2	3
10. Realiza su deporte usual. Menciónelo	0	1	2	3

A) Puntaje de la escala analógica-visual:

B) Puntaje de las ADV:

Índice de función = $[(10 - A) \times 5] + (5/3 \times B)$

Índice de función = $[(10 - \dots) \times 5] + (5/3 \times \dots)$

Índice de función = + =

Cuestionario de Dolor Musculoesquelético de Örebro

(Cuesta-Vargas AI, González-Sánchez M. Spanish version of the screening Örebro musculoskeletal pain questionnaire: a cross-cultural adaptation and validation. Health Qual Life Outcomes. 2014 Oct 29;12:157)

Estas preguntas y afirmaciones son aplicables si tiene molestias o dolores como en el cuello, la espalda, el hombro.

Por favor, lea y responda las preguntas cuidadosamente. No tome demasiado tiempo para responder a las preguntas, sin embargo, es importante que las conteste todas. Siempre encontrará una respuesta para su situación particular.

1. ¿Dónde le duele? Marque la(s) casilla(s) correspondiente(s)											
<input type="checkbox"/> Cuello	<input type="checkbox"/> Hombro	<input type="checkbox"/> Brazo	<input type="checkbox"/> Parte alta de la espalda							2 x (Max 10)	
<input type="checkbox"/> Parte baja	<input type="checkbox"/> Pierna	<input type="checkbox"/> Otro	_____								
(indicar):											
2. ¿Cuántos días de trabajo ha perdido a causa del dolor durante los últimos 18 meses? Marque sólo una.											
<input type="checkbox"/> 0 Días (1)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 Días	<input type="checkbox"/> 3- 7 Días (3)	<input type="checkbox"/> 8- 14 Días (4)							_____	
<input type="checkbox"/> 15-30 Días (5)	<input type="checkbox"/> 1 Mes (6)	<input type="checkbox"/> 2 Meses (7)									
<input type="checkbox"/> 3- 6 Meses (8)	<input type="checkbox"/> 6-12 Meses (9)	<input type="checkbox"/> Más de un año (10)									
3. ¿Desde hace cuánto tiempo sufre su dolor actual? Marque sólo una.											
<input type="checkbox"/> 0 Días (1)	<input type="checkbox"/> 1 - 2 Días	<input type="checkbox"/> 3- 7 Días (3)	<input type="checkbox"/> 8- 14 Días (4)							_____	
<input type="checkbox"/> 15-30 Días (5)	<input type="checkbox"/> 1 Mes (6)	<input type="checkbox"/> 2 Meses (7)									
<input type="checkbox"/> 3- 6 Meses (8)	<input type="checkbox"/> 6-12 Meses (9)	<input type="checkbox"/> Más de un año (10)									
4. ¿Es su trabajo pesado o monótono?											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	_____
No en absoluto									Extremadamente		
5. ¿Cómo calificaría usted el dolor que tuvo durante la semana pasada? Marque una.											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	_____
No dolor									Peor dolor soportable		
6. En los últimos 3 meses, de media, ¿Cómo de malo fue su dolor en una escala de 0- 10? Marque uno.											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	_____
No dolor									Peor dolor soportable		
7. ¿Con qué frecuencia diría usted que ha experimentado episodios de dolor, de media, durante los últimos tres meses? Marque uno.											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	_____
Nunca									Siempre		
8. Sobre la base de todas las cosas para hacer frente, o lidiar con su dolor, durante un día normal ¿Cuánto es capaz de disminuirlo? Marque uno.											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10 - x _____
No consigo disminuirlo									Consigo eliminarlo por completo		
9. ¿Cómo de tenso/a o ansioso/a se ha sentido durante la última semana? Marque uno.											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	_____
Absolutamente calmado y relajado									Tenso y nervioso como nunca		

10. ¿Cuánto se ha sentido molesto/a, por una sensación depresiva, durante la última semana? Marque uno.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Nunca										Extremadamente	<input type="text"/>

11. En su opinión, ¿Cómo de grande es el riesgo de que su dolor actual puede llegar a ser persistente? Marque uno.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ningún riesgo										Riesgo muy alto	<input type="text"/>

12. En su opinión, ¿Cuáles son las probabilidades de que usted será capaz de trabajar seis meses?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ninguna probabilidad										Muchas posibilidades	<input type="text" value="10 - x"/>

13. Considerando sus rutinas de trabajo, gestión, salario, posibilidades de promoción y compañeros de trabajo, ¿Cuál es su grado de satisfacción con su trabajo?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Absolutamente insatisfecho										Completamente satisfecho	<input type="text" value="10 - x"/>

Estas son algunas de las cosas que otras personas nos han dicho acerca de su dolor. Para cada afirmación, marque un número de 0 a 10 para decir cuánto afectaría a su dolor las actividades físicas, tales como agacharse, levantar objetos, caminar o conducir.

14. La actividad física hace que mi dolor empeore

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Completamente en <u>desacuerdo</u>										Completamente de <u>acuerdo</u>	<input type="text"/>

15. Un aumento del dolor es una indicación de que debo dejar lo que estoy haciendo hasta que disminuye o desaparece.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Completamente en <u>desacuerdo</u>										Completamente de <u>acuerdo</u>	<input type="text"/>

16. No debería realizar mi trabajo habitual con mi dolor actual.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Completamente en <u>desacuerdo</u>										Completamente de <u>acuerdo</u>	<input type="text"/>

Le indicamos una lista con cinco actividades. Marque el número que mejor describe su capacidad actual de participar en cada una de estas actividades.

17. Puedo realizar una actividad ligera durante una hora.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No puedo hacerlo debido a mi Dolor										El dolor no es un problema	<input type="text" value="10 - x"/>

18. Puedo caminar durante una hora.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No puedo hacerlo debido a mi Dolor										El dolor no es un problema	<input type="text" value="10 - x"/>

19. Puedo hacer las tareas domésticas.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
No puedo hacerlo debido a mi Dolor										El dolor no es un problema	<input type="text" value="10 - x"/>

20. Puedo hacer la compra semanal.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No puedo hacerlo debido a mi Dolor El dolor no es un problema

10 - x
_____**21. Puedo dormir por la noche**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No puedo hacerlo debido a mi Dolor El dolor no es un problema

10 - x

Cuestionario Internacional de Actividad Física - IPAQ

(Medina C, Barquera S, Janssen I. Validity and reliability of the International Physical Activity Questionnaire among adults in Mexico. *Rev Panam Salud Publica*. 2013;34(1):21-28.)

CUESTIONARIO INTERNACIONAL DE ACTIVIDAD FÍSICA (IPAQ)

<p>Piense en todas las actividades VIGOROSAS que usted realizó en los últimos 7 días. Las actividades físicas intensas se refieren a aquellas que implican un esfuerzo físico intenso y que lo hacen respirar mucha más intensamente que lo normal. Piense sólo en aquellas actividades físicas que realizó durante por lo menos 10 minutos seguidos.</p>	
<p>1. Durante los últimos 7 días ¿En cuántos realizo actividades físicas vigorosas tales como levantar pesos pesados, cavar, hacer ejercicios aeróbicos o andar rápido en bicicleta?</p>	<input type="checkbox"/> Días por semana <input type="checkbox"/> Ninguna actividad física intensa (vaya a la pregunta 3)
<p>2. Habitualmente, ¿Cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física intensa en uno de esos días? (ejemplo: si practicó 20 minutos marque 0 h y 20 min)</p>	<input type="checkbox"/> Horas por día <input type="checkbox"/> Minutos por día <input type="checkbox"/> No sabe/no está seguro
<p>Piense en todas las actividades MODERADAS que usted realizó en los últimos 7 días. Las actividades moderadas son aquellas que requieren un esfuerzo físico moderado que lo hace respirar algo más intensamente que lo normal. Piense solo en aquellas actividades que realizó durante por lo menos 10 minutos seguidos.</p>	
<p>3. Durante los últimos 7 días, ¿En cuántos días hizo actividades físicas moderadas como transportar pesos livianos, andar en bicicleta a velocidad regular o jugar a dobles en tenis? No incluya caminar.</p>	<input type="checkbox"/> Días por semana <input type="checkbox"/> Ninguna actividad física intensa (vaya a la pregunta 5)
<p>4. Habitualmente, ¿Cuánto tiempo en total dedicó a una actividad física moderada en uno de esos días? (ejemplo: si practicó 20 minutos marque 0 h y 20 min)</p>	<input type="checkbox"/> Horas por día <input type="checkbox"/> Minutos por día <input type="checkbox"/> No sabe/no está seguro
<p>Piense en el tiempo que usted dedicó a CAMINAR en los últimos 7 días. Esto incluye caminar en el trabajo o en la casa, para trasladarse de un lugar a otro, o cualquier otra caminata que usted podría hacer solamente para la recreación, el deporte, el ejercicio o el ocio.</p>	
<p>5. Durante los últimos 7 días, ¿En cuántos caminó por lo menos 10 minutos seguidos?</p>	<input type="checkbox"/> Días por semana <input type="checkbox"/> Ninguna actividad física intensa (vaya a la pregunta 7)
<p>6. Habitualmente, ¿Cuánto tiempo en total dedicó a caminar en uno de esos días?</p>	<input type="checkbox"/> Horas por día <input type="checkbox"/> Minutos por día <input type="checkbox"/> No sabe/no está seguro

La última pregunta es acerca del tiempo que pasó usted SENTADO durante los días hábiles de los últimos 7 días . Esto incluye el tiempo dedicado al trabajo, en la casa, en una clase, y durante el tiempo libre. Puede incluir el tiempo que paso sentado ante un escritorio, leyendo, viajando en autobús, o sentado o recostado mirando tele.	
7. Habitualmente, ¿Cuánto tiempo pasó sentado durante un día hábil?	<input type="checkbox"/> Horas por día <input type="checkbox"/> Minutos por día <input type="checkbox"/> No sabe/no está seguro

Valor del test:

1. Actividad física **vigorosa**: 8 MET x minutos x días por semana
2. Actividad física **moderada**: 4 MET x minutos x días por semana
3. **Caminata**: 3,3 x minutos x días por semana.

Ejemplo: 8 MET x 30 minutos x 5 días = 1200 MET (**ACTIVIDAD FÍSICA INTENSA**)

A continuación sume los tres valores obtenidos:

TOTAL= Actividad física vigorosa + Actividad física Moderada + caminata

Clasificación de los niveles de actividad física

Nivel de actividad física alto	<ul style="list-style-type: none"> • Reporte de 7 días en la semana de cualquier combinación de caminata, y/o actividades de moderada y/o alta intensidad logrando un mínimo de 3.000 MET-min/semana; • O cuando se reporta actividad vigorosa al menos 3 días a la semana alcanzando al menos 1.500 MET-min/semana
Nivel de actividad física moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Reporte de 3 o más días de actividad vigorosa por al menos 20 minutos diarios; • o cuando se reporta 5 o más días de actividad moderada y/o caminata al menos 30 minutos diarios; • o cuando se describe 5 o más días de cualquier combinación de caminata y actividades moderadas o vigorosas logrando al menos 600 MET-min/semana
Nivel de actividad física bajo	<ul style="list-style-type: none"> • Se define cuando el nivel de actividad física del sujeto no esté incluido en las categorías alta o moderada

Clasificación del nivel de actividad física mediante podómetro (pasos al día):

Categoría	Cantidad de pasos
Altamente activo	≥ 12.500
Activo	10.000 - 12.499
Algo activo	7.500 – 9.999
Poco activo	5.000 – 7.499
Sedentario o inactivo	< 5.000

Programa de relajación pos inducción por diatermia por onda corta



Sleeper stretch

Con la mano de arriba, tome el antebrazo por encima de la muñeca y rótelo en dirección al suelo.
Realice 4 estiramientos de 40 segundos.



Brazo cruzado

Tome su brazo y crúcelo por delante del pecho, acercando el codo al hombro opuesto.
Realice 4 estiramientos de 40 segundos



Estiramiento en pared

Apoye el antebrazo en la pared y gire el tronco hasta estirar la zona pectoral.
Realice 4 estiramientos de 40 segundos



Flexión en fin de rango

Descienda el cuerpo hasta lograr la máxima elevación del brazo.
Realice 6 estiramientos de 15".



Pectorales con brazo estirado

Rote el cuerpo hasta sentir el estiramiento en pectorales y brazo.
Realice 6 estiramientos de 15".

Publicaciones

- 1) **Intelangelo L**, Bordachar DJ, Mendoza CI, Imaz F, Barone M, Barbosa AW. Effect of different postures of the scapular girdle and arm on the pressure pain threshold in the infraspinatus muscle. *J Bodyw Mov Ther.* 2021;28:276-282. doi:10.1016/j.jbmt.2021.08.001
- 2) **Intelangelo L**, Bordachar D, Mendoza C, et al. Pressure pain threshold mappings of the infraspinatus muscle in chronic unilateral shoulder pain patients do not reflect generalized hypersensitivity. *Musculoskelet Sci Pract.* 2022;58:102495. doi:10.1016/j.msksp.2021.102495
- 3) Mista CA, **Intelangelo L**, Biurrun Manresa J. Personalized pain management: The relationship between clinical relevance and reliability of measurements. *Eur J Pain.* 2023;27(9):1056-1064. doi:10.1002/ejp.2110
- 4) **Intelangelo L**, Mendoza C, Lassaga I, Barbosa AC, Biurrun Manresa J, Mista C. No Evidence of Short-term Changes in Muscle Activity Elicited by Dry Needling in Chronic Unilateral Shoulder Pain Patients. *Clin J Pain.* 2023;39(11):595-603. Published 2023 Nov 1. doi:10.1097/AJP.0000000000001151
- 5) **Intelangelo L**, Mista CA, Barone M, et al. Spatiotemporal characterization of an experimental model of muscle pain in humans based on short-wave diathermy. *Eur J Pain.* Published online July 9, 2024. doi:10.1002/ejp.2309