



UNIVERSIDAD FINIS TERRAE
FACULTAD DE MEDICINA
ESCUELA DE KINESIOLOGÍA

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO EXCÉNTRICO
CONTRALATERAL DE LOS FLEXORES DE CODO DESPUÉS DE
CUATRO SEMANAS DE INMOVILIZACIÓN CON CABESTRILLO**

FELIPE EDUARDO PÉREZ CARRASCO
CARLOS IGNACIO RAMÍREZ GALLEGUILLOS

Tesis para ser presentada en la Escuela de Kinesiología de la Universidad Finis
Terrae para optar al grado académico de licenciado en kinesiología

Profesor Guía: Dr. Luis Peñailillo Escárate

Santiago, Chile

2017

INFORME DE APROBACIÓN TESIS DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Kinesiología de la Facultad de Medicina que la Tesis presentada por los candidatos:

FELIPE EDUARDO PEREZ CARRASCO

CARLOS IGNACIO RAMIREZ GALLEGUILLOS

ha sido aprobada por la Comisión Informante de Tesis como requisito para optar al grado de Licenciado en Kinesiología, en el examen de defensa de Tesis rendido el 5 de mayo del 2017.

DOCENTE GUÍA DE TESIS

Dr. Luis Peñailillo Escárate.

COMISIÓN INFORMANTE DE TESIS

Klga. Sandra Bittner S.

Klgo. Joaquín Herrero S.

Klgo. Mauricio Venegas D.

Felipe Pérez C.

Carlos Ramírez G.

Dr. Luis Peñailillo E.

Dedicatoria

Queremos dedicar nuestra tesis principalmente a nuestros padres y hermanos que nos apoyaron en todo momento, a nuestros amigos que siempre estuvieron acompañándonos en este camino, y a cada una de las personas que marcaron nuestro ciclo universitario, apreciamos cada palabra, gesto, cariño y por sobre todo el amor que nos motivaron a culminar nuestro proceso.

Infinitas Gracias.

Agradecimientos

Queremos agradecer principalmente a nuestro profesor guía Luis Peñailillo por estar siempre presente para ayudarnos y guiarnos durante este largo proceso, por su disposición a llevar a cabo este estudio y por ser más que un profesor con nosotros. Agradecer al profesor Rodolfo Hidalgo por tener siempre una gran disposición para facilitarnos el gimnasio de kinesiología para llevar a cabo nuestro estudio.

Además, agradecer a nuestras familias, amigos y un sinnúmero de personas que llevamos en nuestros corazones por todo el apoyo brindado en este periodo que nos fueron de gran ayuda para poder sobrepasar todas las dificultades que aparecieron en el camino, y por creer en nosotros en todo momento.

También agradecer a todos los participantes de nuestra tesis, destacando que fueron voluntarios y que siempre mostraron gran compromiso, con la disposición de ayudar y trabajar de manera correcta, muchas veces realizando grandes esfuerzos para que pudiéramos llevar a cabo nuestro estudio.

Por último, agradecer a nuestra Universidad y cuerpo docente por todo lo entregado en estos años para que logremos ser grandes profesionales y personas.

Índice de contenidos.

	Página
Índice de ilustraciones y tablas.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	x
Abreviaturas.....	xii
Introducción.....	1
Capítulo 1: Marco teórico.....	3
1a. Atrofia.....	4
1b. Neuromuscular.....	4
1c. Metabólicas.....	5
2a. Kinestesia.....	5
2b. Balance.....	6
3. Ejercicio excéntrico.....	7
4. Efecto contralateral o cross training.....	9
Formulación del problema.....	12
Hipótesis de trabajo	12
Hipótesis nula	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12

Capítulo 2: Materiales y métodos.....	14
a. Diseño de investigación.....	14
b. Universo, población y muestra.....	14
c. Criterios de inclusión y exclusión.....	14
d. Metodología.....	15
e. Variables del estudio.....	23
f. Análisis estadístico.....	26
Capítulo 3: Resultados.....	27
Capítulo 4: Discusión.....	39
Conclusión.....	52
Bibliografía.....	53
Anexos.....	59

Índice de ilustraciones y tablas

Figura 1	Medición de fuerza (1RM)
Figura 2	Medición de fuerza isométrica máxima
Figura 3	Medición de fatigabilidad
Figura 4	Medición perímetro de brazo
Figura 5	Medición de kinestesia
Figura 6	Medición de balance de extremidad superior (UQYBT)
Figura 7	Resultados de fuerza isométrica máxima
Figura 8	Resultados de fuerza (1RM)
Figura 9	Resultados de perímetro de brazo
Figura 10	Resultados de kinestesia
Figura 11	Resultados de balance (UQYBT)
Figura 12	Resultados de fatigabilidad

Resumen

La inmovilización de una extremidad se realiza generalmente como método preventivo para cuidar la integridad de alguna estructura afectada y que requiere no ser expuesta a un movimiento. Desafortunadamente, incluso un periodo corto de inmovilización resulta en una pérdida de la función significativa en la extremidad afectada, estos periodos de inmovilización varían desde días hasta semanas. En nuestro estudio pretendemos comprobar si nuestro protocolo de entrenamiento de fuerza excéntrico de la extremidad superior contralateral puede atenuar los deterioros causados por la inmovilización, efecto conocido como “cross training”. **Método:** 20 personas sanas (hombres y mujeres) participaron del estudio los cuales fueron divididos en 3 grupos: control (GC; n=7), inmovilizado (INM; n=7) e inmovilizado y entrenamiento excéntrico contralateral (INM+ECC; n=6). Constó de una evaluación previa donde se midió fuerza isométrica máxima, fuerza isotónica medida en 1RM, fatigabilidad, balance de la extremidad superior, perímetro muscular de brazo y kinestesia de codo. Luego de esto, se inmovilizó la extremidad superior no dominante por 4 semanas, transcurrido este tiempo se volvieron a medir las mismas variables. **Resultados:** En el grupo inmovilizado más entrenamiento excéntrico, la extremidad inmovilizada aumentó la fuerza isométrica máxima en 3,8%, la fuerza isotónica no tuvo cambios significativos, el perímetro muscular de brazo tampoco tuvo cambios significativos al igual que la fatigabilidad, kinestesia y balance. Por el contrario, el grupo inmovilizado tuvo una disminución de la fuerza isométrica máxima del 42% en la extremidad restringida de movimiento. La fuerza isotónica disminuyó 10,8% en la extremidad inmovilizada. El perímetro muscular máximo de brazo disminuyó 8% en la extremidad inmovilizada. La kinestesia tuvo un aumento del grado de error de 39,5%. El balance disminuyó la distancia máxima alcanzada en 3%. La fatigabilidad no tuvo diferencias significativas. **Conclusión:** El aumento de la fuerza en la extremidad

contralateral inmovilizada, además de que no se registraron disminuciones en perímetro y kinestesia, demuestra que el ejercicio de fuerza excéntrico contralateral sirve para evitar los deterioros causados por la inmovilización de 4 semanas.

Palabras claves: Entrenamiento excéntrico, contralateral, inmovilización, flexores de codo.

Abstract

Immobilization of a limb is generally performed as a preventative method to take care of the integrity of an affected structure and which requires not to be exposed a movement that may be harmful to the particular structure. Unfortunately, until a short period of immobilization results in a loss of significant function in the affected extremity, these periods of immobilization vary from days to weeks. In our study we tried to verify if our protocol of eccentric strength training of the contralateral superior extremity can attenuate the damages caused by the immobilization, this is what is known as "cross training". **Method:** 20 healthy individuals participated in the study, divided into 3 groups: GC (n = 7), INM (n = 7) and INM+ECC (n = 6). It consisted of 1 previous evaluation where isometric force was measured by a force cell connected to a computer, isokinetic force measured in 1RM, fatigability measured by the force cells, upper limb balance, muscular perimeter measured in centimeters and kinesthesia measured by the Goniometer Pro Viewer application. After this, the non-dominant upper limb was immobilized for a month, after this time the same variables were re-measured. **Results:** In the immobilized group plus eccentric training, the immobilized limb increased maximum isometric strength by 3.8%, the isotonic strength did not have significant changes, the arm muscle perimeter also did not have significant changes, the same results to fatigability, kinesthesia and balance. In contrast, the immobilized group had a maximum isometric force reduction of 42% in the extremity restricted of movement. The isotonic force decreased 10.8% in the immobilized limb. The isotonic force decreased 10.8% in the immobilized limb. The maximum arm muscle perimeter decreased 8% in the immobilized limb. The kinesthesia had an increase of the degree of error of 39.5%. The balance lowered the maximum distance reached by 3%. Fatigability did not have significant differences. **Conclusion:** The Increased

strength in the contralateral limb, in addition to no decrease in the other variables, demonstrates that the exercise of contralateral eccentric force serves to combat the deterioration caused by the 4-week immobilization.

Key words: Excentric training, contralateral, immobilization, elbow flexors.

Glosario y abreviaturas

ANOVA	Análisis de varianza
Ca⁺²	Calcio
C7	Vértebra cervical numero 7
CM	Centímetros
GC	Grupo control
DE	Desviación estándar
DOMS	Dolor muscular de aparición tardía
EMG	Electromiografía
IMC	Índice de masa corporal
INM	Grupo inmovilizado
INM+ECC	Grupo inmovilizado más entrenamiento excéntrico
N	Newton
NS	No significativo
MVC	Contracción voluntaria isométrica máxima.
PCr	Fosfocreatina
PCr-Tc	Tasa de recuperación de la fosfocreatina
1RM	1 Repetición máxima.
ROM	Rango de movimiento
UQYBT	Upper quarter Y balance test.
X	Promedio

Introducción

La inmovilización de una extremidad se realiza generalmente como método preventivo para cuidar la integridad de alguna estructura afectada y que requiere no ser expuesta a un movimiento que pueda ser nocivo para la estructura en particular. Este método de cuidado puede variar según los requerimientos del tiempo que necesiten para sanar las zonas o tejidos comprometidos. Por lo tanto, la restricción del movimiento es muy variable, entre días y semanas, hasta meses, siendo la extremidad superior la que frecuentemente se inmoviliza por lesiones traumáticas o bien, post cirugías. Ambas lesiones, agudas y por sobreuso requieren inmovilización, las cuales afectan principalmente a deportistas, población longeva durante sus actividades de la vida diaria, y trabajadores afectados por sus actividades ocupacionales. Desafortunadamente, hasta un periodo corto de inmovilización resulta en una pérdida de la función significativa en la extremidad afectada, estos periodos de inmovilización varían desde días hasta semanas (Hendy, Spittle, & Kidgell, 2012).

Producto de la inmovilización sobre alguna extremidad se ven afectadas cualidades musculares, así como también, articulares que van a causar distintos deterioros que llevan a un proceso de rehabilitación de mayor duración. Los deterioros más grandes se ven en cualidades como la fuerza muscular, perímetro muscular, entre otros.

Estos deterioros se pueden combatir mediante el entrenamiento de fuerza contralateral, es decir, los efectos de entrenar fuerza en una extremidad sobre la otra extremidad sin entrenar, este efecto puede evitar grandes pérdidas de las cualidades musculares mencionadas anteriormente sobre la extremidad sin entrenar o inmovilizada.

Tenemos tres tipos de contracciones musculares diferentes: isométrica (donde no hay desplazamiento articular), concéntrica (se acorta la longitud del sarcómero) y la excéntrica en la cual aumenta la longitud del sarcómero (Schappacher-Tilp et al., 2015). Por lo tanto, El entrenamiento de fuerza contralateral puede ser de manera isométrica, concéntrica, excéntrica y mixta.

De estos tipos de contracción se ha observado que la contracción excéntrica es capaz de generar mayor fuerza que la contracción concéntrica e isométrica, por lo tanto, una mayor hipertrofia. Además, presenta una menor demanda metabólica e incluso es importante en la prevención de lesiones. (Guilhem et al., 2010) (Vikne et al., 2006). Por lo que nosotros esperamos mayores beneficios del entrenamiento excéntrico y por el cual decidimos enfocar nuestro estudio en un protocolo de entrenamiento excéntrico contralateral, y ver cómo repercute en las variables mencionadas anteriormente en una extremidad inmovilizada. Esto se conoce como “cross training”.

Capítulo 1: Marco teórico

La inmovilización de una extremidad se requiere cuando se busca cuidar, mantener y favorecer la reparación de algún tejido dañado. Producto de lo anterior se limita el movimiento de la articulación, lo que conlleva a alteraciones musculares y articulares, tanto en periodos cortos como largos de inmovilización. En estas alteraciones destacan la pérdida de las funciones musculares y la atrofia muscular preferentemente.

Uno de los principales efectos deletéreos de la inmovilización es la disminución de la fuerza muscular (Hendy et al. 2012). Berg & Tesch (1996) demostraron que después de 10 días de inmovilización de la extremidad inferior la contracción voluntaria máxima (MVC) del cuádriceps disminuyó en un 13,4%. Así también, Hortobágyi et al. (2000), demostraron que después de 3 semanas de inmovilización de rodilla existe una disminución de la fuerza de cuádriceps en un 47%, y una reducción del área de las fibras musculares de tipo I, tipo IIa, tipo IIx, en un 13, 10 y 10%, respectivamente. Gondin, Guette, Maffiuletti, & Martin (2004) demostraron que existe una disminución de la fuerza de MVC del tríceps sural en un 17% incluso después de 2 semanas de inmovilización. Parcell et al. (2000) reportó que la fuerza del tríceps braquial disminuyó en un 12% después de 4 semanas de inmovilización, esta disminución de la fuerza puede deberse a cambios musculares en sí, como a una disminución del área de sección transversal del músculo en un 4% reportado en este estudio. Es por esto que una de las principales complicaciones de la inmovilización tanto a largo como a corto plazo, es la disminución de la fuerza muscular, esta disminución de la fuerza se puede ver causada por diferentes factores como atrofia muscular, disminución de la actividad neuromuscular y alteraciones metabólicas.

1. Factores que afectan sobre la pérdida de fuerza muscular por inmovilización

1a. Atrofia muscular

La disminución de la fuerza muscular ha sido asociada a una reducción del perímetro muscular asociado a un proceso de atrofia muscular, la cual consiste en una disminución del tamaño muscular, es sabido que una de las principales consecuencias de la inmovilización Dentro de las causas de la atrofia muscular, también está la inactividad física, tiempos de reposo prolongados y la inmovilización por largos periodos favorecen el desarrollo de la atrofia muscular al poner a la extremidad o al cuerpo en un estado de reposo (Bodine, 2013). Kawakami et al. (2001) demostraron que después de 20 días en cama, disminuye el área de sección transversal del cuádriceps en un 7,8% y una disminución en la activación del cuádriceps desde un 78-94% evaluado durante la MVC. En el estudio de Yasuda, Glover, Phillips, Isfort, & Tarnopolsky (2005) demostraron que después de 14 días de inmovilización existe una disminución del área de sección transversal del cuádriceps de un 5,9 y 5,7% para hombres y mujeres, respectivamente. Entonces en los periodos de reposo prolongado, inmovilización o de inactividad física, existe una disminución de la fuerza muscular causada principalmente por la atrofia muscular la cual pareciera ser progresiva, mientras más largo es el periodo de inmovilización o de inactividad física mayor es la perdida.

1b. Neuromuscular.

Clark, Taylor, Hoffman, Dearth, & Thomas (2010) demostraron que un periodo de 3 semanas de inmovilización disminuye la activación central para los flexores de muñeca desde un 97,5% a un 73,2%. Así como también Yue, Bilodeau, Hardy, & Enoka (1997) demostraron que después de 4 semanas de inmovilización de extremidad superior disminuye la amplitud electromiográfica del músculo braquioradial en un 26%. Esta disminución en la actividad neuromuscular sería una de las grandes causas para generar disminución de la fuerza muscular,

la cual es de aparición temprana en un periodo de inmovilización. Lundbye-Jensen & Nielsen (2008) demostraron que después de una semana de inmovilización de antebrazo la máxima amplitud electromiográfica del flexor radial del carpo disminuyó significativamente en un 3%. Por lo tanto, la disminución de la fuerza muscular, se ve representada en la actividad electromiográfica del músculo, la cual se ve afectada desde un periodo corto de inmovilización hasta periodos prolongados, y también las alteraciones en la actividad electromiográfica varían tanto a nivel central como a nivel periférico.

1c. Metabólicas.

Además de las alteraciones eléctricas, también existirían problemas metabólicos a nivel local. Fransen et al. (2015) demostraron que después de una semana de inmovilización para extremidad superior disminuye en promedio un 4.1% la fosfocreatina (PCr). Así como también existe disminución en un 45% en la capacidad oxidativa del músculo determinada por la tasa de recuperación de la fosfocreatina (PCr-Tc) después de 3 semanas de inmovilización del antebrazo (Kitahara et al., 2003). Hvid, Ørtenblad, Aagaard, Kjaer, & Suetta, (2011) demostraron que después de 2 semanas de inmovilización para extremidad inferior existe una disminución en la sensibilidad del calcio (Ca^{+2}) y aumento en el umbral de activación del calcio. Por consiguiente, la cantidad de Ca^{+2} libre para alcanzar el 10% y 50% de la fuerza máxima, aumentó en 18% y 17%, respectivamente. Entonces, las alteraciones metabólicas son una variable importante en cuanto a la disminución de la fuerza muscular causada por el proceso de inmovilización, además de las otras dos variables mencionadas antes, todas estas causantes de la disminución de la fuerza muscular, pueden incidir sobre el desempeño de las habilidades motoras.

2. Consecuencias de la inmovilización sobre otras habilidades motoras:

2a. Kinestesia.

Puede ser definida como la habilidad para reconocer la sensación o percepción del movimiento del cuerpo en relación a la posición y orientación en el espacio. Esta es esencial para el control motor y estabilidad articular durante las actividades de la vida diaria y la práctica deportiva (Salles et al. 2015). Caplan et al. (2015) demostraron que después de 7 días de inmovilización de tobillo aumentaba en 4 unidades la desviación en la estabilidad de tobillo y aumentaba la velocidad de marcha post-inmovilización de 1,4 m/s a 1,5m/s. Moissello et al. (2008) también demostraron después de 12 horas de inmovilización de extremidad superior existen diferencias en la dirección del movimiento de 9,6 cm en promedio. Por lo tanto, periodos cortos de inmovilización afectan tanto el movimiento como la estabilidad de la extremidad intervenida, estas alteraciones pueden causar deterioros en el balance de la extremidad.

2b. Balance.

El balance o control postural es definido como la capacidad de controlar la posición del cuerpo con dos propósitos: la orientación y la estabilidad. (Kelly, 2008). La orientación es la habilidad para mantener una relación específica entre el propio cuerpo y el ambiente para el desarrollo de una tarea. La estabilidad se define como la capacidad de controlar el cuerpo en relación con la base de apoyo, por lo tanto, el balance es un conjunto de interacción de diferentes sistemas, dentro de los cuales destaca la propiocepción y el sistema músculo- esquelético, entre otros. El sistema músculo-esquelético aporta al balance, fuerza, rango de movimiento, tono muscular y alineación (Kelly, 2008). Sin embargo, no hemos encontrado estudios que evalúen esta cualidad a largo plazo después de un periodo de inmovilización, pero si se podría ver afectada por las afecciones mencionadas en la fuerza muscular, atrofia muscular y kinestesia.

De esta manera, con lo anteriormente expuesto, sería interesante evitar las

pérdidas en todas estas habilidades motoras cuando por necesidad se debe someter a inmovilización un segmento determinado. Es posible que estos cambios asociados a la inmovilización se puedan prevenir a través del entrenamiento muscular, específicamente el efecto del entrenamiento en la extremidad contralateral no inmovilizada (entrenamiento contralateral). Sin embargo, hoy en día existe poca evidencia sobre el efecto del entrenamiento contralateral, tanto para ejercicios de fuerza, resistencia y potencia. Este entrenamiento contralateral ha sido demostrado con ejercicios mayoritariamente de tipo concéntrico.

Shima et al. (2002) demostraron que un programa de entrenamiento de 6 semanas para los flexores plantares, aumenta la MVC en un 18,9% para la extremidad entrenada y en la extremidad no entrenada existe un aumento de un 7,8%. Adamson, MacQuaide, Helgerud, Hoff, & Kemi (2008) demostraron que después de 8 semanas de entrenamiento unilateral de fuerza concéntrico, existe un aumento de la fuerza de la extremidad entrenada para los flexores de codo en un 79% mientras que en la extremidad no entrenada la fuerza aumenta en un 9%. Lee, Gandevia & Carroll (2009) también demostraron que después de un programa de 4 semanas de entrenamiento de fuerza para la muñeca, existe un aumento en la fuerza de MVC de un 31,5% para la extensión de muñeca en la extremidad entrenada, y un aumento de un 9,3% para la extremidad no entrenada. Por lo tanto, es posible que estos beneficios del entrenamiento de fuerza muscular, se pueden extrapolar desde una extremidad a otra, principalmente para músculos homólogos como el bíceps, estos efectos y su magnitud pueden variar según el tipo de entrenamiento los cuales pueden ser isométrico, concéntrico y excéntrico.

3. Ejercicio excéntrico.

La contracción excéntrica se refiere a la actividad muscular que ocurre cuando la fuerza aplicada sobre el musculo excede la fuerza momentánea producida por el mismo, por lo tanto, el musculo se contrae estirándose (Douglas,

Pearson, Ross, & McGuigan, 2016). Las contracciones excéntricas requieren menos unidades motoras para controlar una carga versus una concéntrica, por lo tanto requiere de menor esfuerzo, además la contracción excéntrica ha demostrado tener mayor efecto en las fibras tipo II versus la contracción concéntrica (Gabriel, Kamen, & Frost, 2006). Dentro de los beneficios a corto plazo, la contracción excéntrica requiere menor gasto de energía versus una contracción concéntrica, ya que al realizarse una contracción excéntrica se almacena energía en los componentes elásticos del sistema musculo-tendón. Por lo tanto, el menor gasto energético y el menor esfuerzo requerido, hacen de este tipo de contracción una muy buena herramienta para la rehabilitación. Dentro de los beneficios a largo plazo la contracción excéntrica es capaz de generar mayor fuerza que las contracciones concéntricas e isométricas (Guilhem et al., 2010; Farthing & Chilibeck, 2003), por lo tanto, una mayor hipertrofia, la cual se define como un aumento en el tamaño muscular. Uno de los “peros” que tiene este tipo de entrenamiento es el daño muscular que produce, el cual depende entre otras cosas de la longitud del músculo y el número de repeticiones realizadas (Allen D, 2001). Por lo tanto, el ejercicio excéntrico presenta una gama de beneficios, ya sea tanto a largo plazo o como a corto plazo, por lo que nosotros esperamos que el entrenamiento excéntrico de fuerza muscular genere mayores ganancias tanto para una extremidad entrenada como para la extremidad inmovilizada o sin entrenar.

En el estudio de Farthing & Chilibeck, (2003) demostraron que el entrenamiento excéntrico generaba un aumento en el tamaño muscular de un 13% versus un 2,6% del entrenamiento concéntrico para los flexores de codo después de 8 semanas. Interesantemente, en el estudio de Howatson y van Someren, (2007) también se demostraron que una serie de contracciones excéntricas máximas generaban efectos contralaterales, es decir dentro de la extremidad contraria, entre los cuales se encontraba la disminución de la creatin kinasa y el dolor muscular de aparición tardía (DOMS), como también un aumento de la contracción voluntaria máxima y del rango de movimiento. Chen, Chen, Lin, Yu, & Nosaka

(2016) demostraron que una serie de contracciones excéntricas en una extremidad tiene efectos protectores en la extremidad contralateral, en cuanto a rango de movimiento, dolor muscular, perímetro muscular, marcadores de daño muscular y contracción voluntaria máxima. Entonces, es posible según lo mencionado en la descripción de este tipo de entrenamiento que sea tomado muy en cuenta a la hora de realizar una terapia de rehabilitación, producto de los beneficios que este aporta al músculo, y así mismo poder guiar también un entrenamiento físico incorporando ejercicios que soliciten la contracción excéntrica.

4. Efecto contralateral o cross-training.

Si bien se ha visto que en el entrenamiento de fuerza unilateral aumenta la fuerza de la extremidad superior contralateral inmovilizada a lo que se llama hoy en día “cross-training”. Aún no se conoce el mecanismo por el cual se genera este aumento en la fuerza de la extremidad contralateral. Munn, Herbert, Hancock & Gandevia (2005) describen dos mecanismos que podrían explicar el aumento de fuerza en la extremidad contralateral inmovilizada:

- 1) El entrenamiento de fuerza podría generar una mayor descarga neuronal para el lado inmovilizado lo que llevaría a adaptaciones en el sistema de control neuronal, básicamente hace referencia a que los efectos del entrenamiento de fuerza contralateral están dados gracias a una mejor activación voluntaria mediante el aumento de reclutamiento de las unidades motoras.
- 2) El otro mecanismo descrito es que el entrenamiento de fuerza unilateral podría causar adaptaciones neuromusculares y que la extremidad contralateral podría acceder a estas adaptaciones.

Carroll, Herbert, Munn, Lee & Gandevia (2006) proponen que existen diferentes lugares donde se generan estas adaptaciones que podrían permitir un aumento en la fuerza de la extremidad contralateral en el entrenamiento unilateral. En el

músculo se genera hipertrofia, cambios en la concentración de enzimas y modificación en la estructura de la proteína contráctil. Si el aumento de la fuerza no se debe a adaptaciones musculares, el efecto contralateral del ejercicio podría estar dado por un cambio en la activación de los músculos por el sistema nervioso central. Proponen que para este tipo de adaptación neuronal el mecanismo incluye cambios en el patrón de activación neuronal asociados con cambios en la unidad motora y modificaciones en los circuitos neuronales implicados en la ejecución y planificación motora. Además, encontramos mecanismos de la médula espinal la cual está dada por acciones reflejas sobre motoneuronas y por modulación de comandos descendentes. También hay adaptaciones por mecanismos corticales en los cuales redes de circuitos de los lóbulos frontales de la corteza cerebral que juegan un rol en la planificación y ejecución de los movimientos voluntarios y, que están organizadas jerárquicamente. Hay gran evidencia que muestra que el aprendizaje motor está dado por la reorganización cortical, pero no que el entrenamiento de fuerza provoque adaptaciones corticales. Sin embargo, hay conexiones entre los hemisferios cerebrales por el cuerpo calloso y áreas corticales, además de proyecciones corticoespinales bilaterales e ipsilaterales a músculos proximales. De esta forma los mecanismos que podrían ayudar al efecto de “cross-training” en el entrenamiento de fuerza contralateral se describen como adaptaciones musculares, neurales, espinales y corticales (Hendy et al.,2012).

Kannus et al. (1992) mostraron en su estudio que hubo un aumento en la fuerza de cuádriceps e isquiotibiales de un 11% y 5%, respectivamente, de la extremidad sin entrenar, durante siete semanas de entrenamiento isométrico en la extremidad contraria en jóvenes sanos sin entrenamiento previo de fuerza. Así también Munn et al. (2005), demostraron en su estudio que, en 6 semanas de entrenamiento, 3 veces por semana de ejercicios de resistencia dinámica aumentaron en un 7% la fuerza de la extremidad contralateral sin entrenar en sujetos sin historia de entrenamiento previo. Ehsani, Nodehi, Ghandali & Ahmadizade (2014) demostraron que después de 2 semanas de entrenamiento de flexores de codo con contracciones isométricas máximas, tanto para el grupo joven como para el

grupo de personas mayores, existía un aumento de un 24% la fuerza de la extremidad contralateral sin entrenar en el grupo joven, mientras que en el grupo de personas mayores hubo un aumento de un 39% en la extremidad contralateral. El principal hallazgo del estudio de Farthing, Krentz & Magnus (2009) es que el entrenamiento de la extremidad unilateral atenúa la pérdida de fuerza en la extremidad contralateral inmovilizada después de un periodo de 3 semanas de inmovilización. La fuerza mejoró significativamente en el brazo entrenado (23,8%) del grupo inmovilizado con entrenamiento, mientras que no hubo un cambio significativo en la fuerza del brazo inmovilizado (2,2%)

De esta forma queremos centrar el entrenamiento excéntrico de esta tesis como una intervención novedosa y que sea la forma en la cual vamos a combatir los efectos de la inmovilización, debido a que el ejercicio excéntrico al encontrarse el músculo en un estado de elongación, la contracción que puede generar es mayor, y también la fuerza por lo cual esperamos tener mayores beneficios mediante este tipo de entrenamiento de los flexores de codo (Gabriel et al., 2006).

También es de sumo interés notar si hay diferencias en cuanto a algunas variables que mediremos (fuerza, perímetro, balance y kinestesia) debido al entrenamiento excéntrico contralateral, lo cual podría dar pie para futuros entrenamientos y terapias para pacientes que cuenten con restricción del movimiento de alguna extremidad, para que al momento de poder dejar de utilizar el cabestrillo las diferencias entre ambos miembros no sean desproporcionadas, que el miembro inmovilizado se encuentre lo más entrenado que se pueda para que al momento de comenzar con la terapia partamos de una línea basal más alta que al encontrarnos con los grandes deterioros que deja la inmovilización.

Formulación del Problema

La inmovilización de una extremidad por más de 3 semanas trae grandes consecuencias a nivel muscular y articular, tales como atrofia muscular, pérdida de fuerza muscular, déficit en la propiocepción y balance, entre otras. Este estudio busca responder si ¿Es efectivo el entrenamiento excéntrico de la extremidad no inmovilizada, en prevenir los deterioros generados por la inmovilización en la extremidad contralateral en un periodo de 4 semanas?

Hipótesis de trabajo:

El entrenamiento excéntrico contralateral atenúa los cambios asociados a la inmovilización en la extremidad inmovilizada en sujetos jóvenes sanos.

Hipótesis nula

El entrenamiento excéntrico contralateral no atenúa los cambios producidos por la inmovilización

Objetivo General

Determinar los cambios que produce el entrenamiento excéntrico de cuatro semanas de la extremidad contralateral sobre la extremidad superior inmovilizada en sujetos jóvenes sedentarios

Objetivo Específicos:

- Determinar los cambios de la fuerza muscular de los flexores de codo de la extremidad inmovilizada y no inmovilizada después del entrenamiento excéntrico, y después de un periodo de inmovilización de cuatro semanas.

- Comparar los cambios en la fuerza muscular de los flexores de codo entre los grupos post intervención.
- Determinar los cambios en el perímetro de brazo de la extremidad inmovilizada y no inmovilizada después del entrenamiento excéntrico, y después de un periodo de inmovilización de cuatro semanas.
- Comparar los cambios en el perímetro de brazo entre los grupos post intervención.
- Determinar los cambios en la sensación de posición articular de codo de la extremidad inmovilizada y no inmovilizada después del entrenamiento excéntrico, y después de un periodo de inmovilización de cuatro semanas.
- Comparar los cambios en la sensación de posición articular de codo entre los grupos post intervención.
- Determinar los cambios en el balance de la extremidad superior de la extremidad inmovilizada y no inmovilizada después del entrenamiento excéntrico, y después de un periodo de inmovilización de cuatro semanas.
- Comparar los cambios en el balance de extremidad superior entre los grupos post intervención.
- Determinar los cambios en la fatigabilidad de los flexores de codo de la extremidad inmovilizada y no inmovilizada después del entrenamiento excéntrico, y después de un periodo de inmovilización de cuatro semanas.
- Comparar los cambios en la fatigabilidad de los flexores de codo entre los grupos post intervención.

Capítulo 2: Materiales y métodos

a.- Diseño de investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo, de alcance experimental, de carácter longitudinal, y de cronología prospectiva.

b.- Universo, población y muestra

Universo: Estudiantes de la Universidad Finis Terrae

Población: Estudiantes varones y mujeres sedentarias de la Universidad Finis Terrae

Muestra: 20 estudiantes varones y mujeres definidos según los criterios de inclusión y exclusión, que tengan la disposición para colaborar en el estudio en los meses de octubre, noviembre y diciembre. Seleccionamos la muestra por motivos de conveniencia geográfica

c.- Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión

- Varones y mujeres entre los 18 y 30 años de edad, estudiantes de la Universidad Finis Terrae
- Sujetos sanos y sedentarios sin haber realizar algún entrenamiento de

fuerza muscular de extremidad superior durante los últimos 6 meses

- Sujetos sanos y sedentarios sin lesiones previas de extremidad superior durante los últimos 6 meses
- Sujetos con disponibilidad de tiempo para realizar evaluaciones y sesiones de entrenamiento requeridas

Criterios de exclusión

- Sujetos que presenten alguna alteración neurológica
- Sujetos que presenten algún tipo de lesión musculoesquelética en extremidad superior
- Participante incapaz de realizar las pruebas según los criterios estandarizados

d.- Metodología

Sujetos

20 sujetos sanos entre 18 y 30 años participaron en este estudio, los cuales fueron reclutados a través de publicidad de redes sociales y afiches en la Universidad Finis Terrae. El tamaño muestral fue estimado con un poder estadístico del 80% (1-beta) y un nivel de alfa de 0.05 considerando los cambios observados en la fuerza muscular isométrica contralateral reportada en el estudio de Magnus et al (2010). Todos los participantes fueron informados y firmaron el consentimiento aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Finis Terrae. Se entrenó la extremidad superior dominante en todos los sujetos. Los participantes no debían realizar entrenamiento de fuerza de su extremidad superior previo a su participación en este estudio, y mantener su vida diaria normal. Los participantes tampoco debían presentar lesiones previas de sus extremidades superiores por al menos 6 meses antes de realizar el entrenamiento contralateral.

Diseño Experimental

Todos los sujetos se evaluaron antes y después de 4 semanas de participación en el estudio. Los sujetos fueron asignados aleatoriamente para participar en este estudio. Las variables dependientes fueron: fuerza muscular isométrica máxima (MVC), perímetro muscular a tres centímetros sobre la línea interarticular de codo, a 6 centímetros, a 9 centímetros y luego en contracción máxima, kinestesia y balance de la extremidad superior. Todas estas variables se evaluaron tanto en extremidad superior dominante y no dominante. Todos los sujetos realizaron 2 sesiones de familiarización antes de las evaluaciones para evitar los errores de evaluación con los tests. Los participantes fueron divididos en 3 grupos: inmovilización con cabestrillo (n=6), ejercicio excéntrico e inmovilización (n=7), grupo control (n=7). El cabestrillo se utilizó en la extremidad superior no dominante para todos los sujetos. Este protocolo ya había sido usado y publicado anteriormente por Magnus et al. (2010).

Medición de la Fuerza.

La evaluación de 1 repetición máxima (1RM) se estimó mediante el uso de peso libre, estimando la carga para cada sujeto, progresando hasta que cada sujeto solo pueda realizar una 1RM con el peso asignado para los flexores de codo, esta se evaluó tanto en extremidad superior dominante y no dominante con los pacientes sentados desde la extensión máxima de codo hasta la flexión máxima (Dankel et al., 2017). Con esto se determinó el 80% de 1RM para cada sujeto la cual fue la carga a la cual los voluntarios del grupo de entrenamiento excéntrico comenzaron sus entrenamientos.



Figura 1: Medición de fuerza usando el protocolo de 1 repetición máxima (1RM)

Fuerza isométrica máxima voluntaria.

Sujeto sedente en el banquillo para bíceps con una muñequera bajo la línea interarticular de muñeca, esta se evaluó a 90° de flexión de codo a través de una celda de fuerza (Revere Transducers). Para el análisis de los datos se utilizó el Software EMG Works. Primero se evaluó la contracción voluntaria máxima, para esta se le pedía al sujeto realizar flexión de codo con toda su fuerza que debía mantener durante 3 segundos, se realizaron 3 intentos, y el tiempo de espera fue de 45 segundos entre cada intento. Para el análisis se registró la mejor marca (Li, Shin, Li, Li & Zhou, 2016).



Figura 2: Fuerza isométrica máxima voluntaria (MVC)

Fatigabilidad

Se esperó 10 minutos para evaluar fatigabilidad, se evaluó al 60% de la contracción voluntaria máxima para la flexión de codo, para esto el objetivo de nivel de fuerza se configuró en la pantalla del dispositivo (60% MVC), el sujeto debía mantener la contracción voluntaria máxima al 60% el mayor tiempo posible. El criterio usado para terminar la prueba, se estableció como la incapacidad de mantener la fuerza dentro del 10% del nivel objetivo por un tiempo mayor a tres segundos, También se observó el tiempo hasta el fallo de la prueba. Se evaluaron ambas extremidades tanto para fuerza isométrica máxima voluntaria y fatigabilidad. (Li et al., 2016).

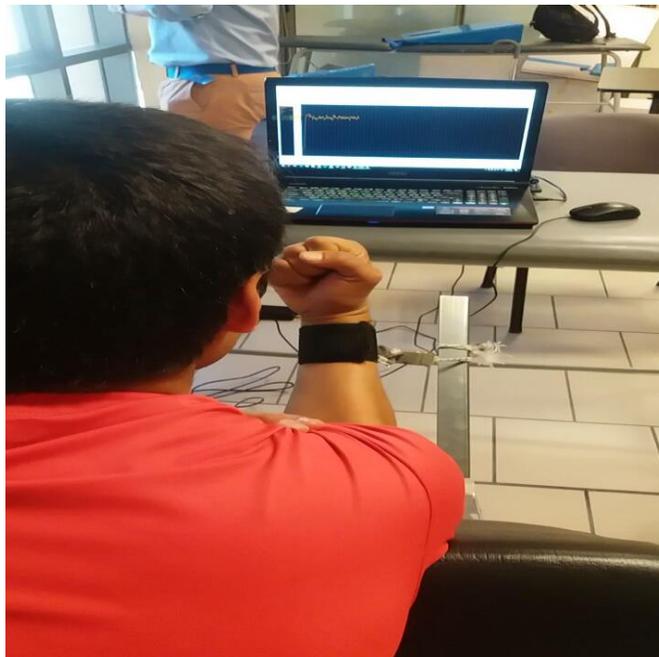


Figura 3: Medición de fatigabilidad.

Perímetro Muscular de brazo.

Se determinó el perímetro muscular de brazo en extremidad superior derecha e izquierda, con los pacientes en sedente con el brazo en extensión, se evaluó en 4 posiciones: 1) 3 centímetros sobre la línea interarticular de codo, 2) 6 centímetros sobre la línea interarticular de codo, 3) 9 centímetros sobre la línea interarticular de codo, 4) hombro en abducción de 90° y codo en flexión de 90°, el sujeto debía realizar y mantener una contracción isométrica de bíceps, luego se medía el área de mayor perímetro. Esto fue utilizado como una medición del área de sección transversal para establecer las ganancias del músculo. El brazo se midió en forma relajada y bajo tensión máxima. Se evaluaron ambas extremidades. International Standards for Anthropometric Assessment, (2001)

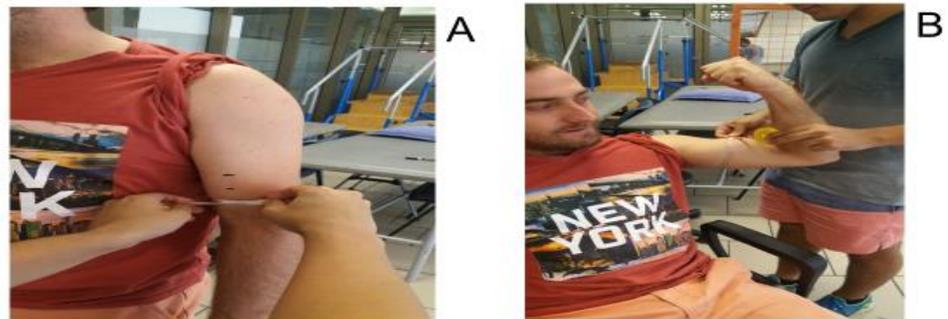


Figura 4: Medición del perímetro de brazo a 3 cm sobre la línea del codo (A) y perímetro máximo de brazo (B).

Kinestesia

Esta se evaluó con el sujeto en decúbito supino, con ambos brazos extendidos, se determinó el rango disponible para la flexión de codo, esta se evaluó en 2

posiciones:

- 1) Al 50% del rango total disponible.
- 2) Al 30% del rango total disponible.

Una vez determinados los rangos, se movilizaba pasivamente el brazo ipsilateral hacia la posición determinada, el sujeto debía recordar esta posición, luego el evaluador llevaba la extremidad pasivamente hacia la extensión de codo completa y luego se le solicitaba al sujeto que, con los ojos cerrados repitiera la misma posición y mantener la posición durante 5 segundos. Luego se registró con la aplicación Goniometer Pro Viewer, se permitieron 3 intentos para ambas extremidades pre y post entrenamiento para todos los grupos, incluido el grupo control, tal y como lo reporta el estudio de Salles et al. (2015).



Figura 5: Medición de la kinestesia.

Balance

Se realizó una adaptación del Upper Quarter Y Balance test (UQYBT). Este se

aplicó con cinta de medir en las tres distancias, medial, ínfero lateral y supero medial, para el análisis se utilizó la mayor distancia alcanzada en cada dirección. El total de la suma de las máximas distancias alcanzadas por el sujeto en cada dirección fueron divididas por la longitud de la extremidad superior del sujeto para normalizar la distancia alcanzada. Para medir la longitud de extremidad superior, el sujeto se encontraba de pie en posición anatómica y el evaluador identificaba C7, una vez identificada C7 el sujeto realizaba abducción (90°), a continuación, se medía la distancia con huincha de medir desde la apófisis espinosa de C7 hasta el punto más distal del dedo medio. La composición de las distancias alcanzadas se calculó sumando la mayor distancia alcanzada en las 3 distancias normalizadas para analizar el desempeño del test. Antes del test los sujetos recibieron las instrucciones, y una demostración del test por el evaluador. Todos los sujetos realizaron el test sin zapatos. La posición de partida para realizar el test comenzaba con la extremidad superior de prueba apoyada en la en la intersección de las 3 distancias. El rendimiento del sujeto en la prueba consistió en alcanzar las 3 direcciones con la extremidad superior libre manteniendo la posición de flexión de hombros con los pies a nivel del ancho de los hombros. El intento de la prueba se descartaba y se repetía si el sujeto no podía mantener la postura unilateral. Se permitieron 3 intentos para cada sujeto en cada dirección (Gorman et al. 2012, Westrick et al. 2012).



Figura 7: Medición del balance (UQYBT)

Entrenamiento excéntrico

Todas las sesiones se llevaron a cabo en el gimnasio de kinesiología de la Universidad FinisTerraе bajo la supervisión de un kinesiólogo. El estudio duró 4 semanas con un entrenamiento de 3 veces por semana. El entrenamiento de fuerza consistió en entrenar de un 80 a 120% de 1RM determinado para cada sujeto en particular del grupo de entrenamiento excéntrico, en el cual el programa de entrenamiento consistió en:

Tabla 1: Entrenamiento excéntrico

Semanas	carga	series
1	80% 1RM	3x10 repeticiones
2	100% 1RM	4x10 repeticiones
3	110% 1RM	4x10 repeticiones
4	120% 1RM	4x10 repeticiones

Con un minuto de descanso por serie. Sólo se entrenó la extremidad superior dominante para el grupo excéntrico.

Inmovilización

Todos los sujetos del grupo inmovilizado y grupo inmovilizado más entrenamiento excéntrico, usaron un cabestrillo en la extremidad superior izquierda durante 4 semanas. El cabestrillo sostenía el codo en flexión de 90° y el hombro en aducción y rotación interna. El cabestrillo se usó 8 horas al día en todos los sujetos, y estos se los podían sacar para dormir y ducharse. Este protocolo ya se ha usado antes

por varias investigaciones publicadas en importantes revistas de la especialidad como Magnus et al. (2010), también han usado otros protocolos de inmovilización Parcell et al. (2000); Farthing et al (2009); Kitahara et al. (2003); Gondin et al. (2004); Hortobágyi et al. (2000).

Reentrenamiento compensatorio

Después de terminar el estudio se les ofreció un programa de entrenamiento para los grupos que fueron inmovilizados en el cual se entrenará ambas extremidades superiores durante 4 semanas, 3 veces por semana. Esto será supervisado por los alumnos tesistas.

e. variables del estudio

Variables independientes

Estas se definen como el protocolo de inmovilización durante cuatro semanas, y también el protocolo de entrenamiento de fuerza excéntrico contralateral progresivo durante cuatro semanas, tres veces por semana.

Variables Dependientes.

Variab Dependientes	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Fuerza isotónica	Capacidad del músculo o	1 repetición máxima.	Kilogramos.	Pesos Libres.

(1RM)	grupos musculares de generar tensión con el fin de realizar un movimiento.			
Fuerza isométrica máxima (MVC)	Capacidad del musculo o grupo muscular de generar tensión sin movimiento	Máxima capacidad de contracción muscular sin movimiento durante tres segundos.	Newtons.	Celda de fuerza Software
Kinestesia	Sensación demovimiento un segmento corporal en el espacio.	Reproducción del ROM al 50% y 30%, en tres intentos para cada ángulo.	Grados.	Goniometer Pro Viewer
Perímetro Muscular	Superficie que abarca un músculo o grupos musculares.	Área de circunferencia de la extremidad a los 3, 6, 9 cm y brazo en contracción máxima.	Centímetros.	Cinta métrica
Balance de extremidad superior	La capacidad de controlar el cuerpo	La suma del total de las distancias	Centímetros	Cinta métrica

(UQYBT)	para mantener la estabilidad postural	máximas alcanzadas en las tres direcciones del test		
Fatigabilidad	Tiempo máximo de contracción muscular antes de la fatiga	Capacidad de mantener la contracción isométrica en el máximo tiempo posible a un 60% de su MVC	Segundos	Electromiografía

Variables desconcertantes

- Que el sujeto no realice su máximo esfuerzo en las pruebas de fuerza máxima
- Condiciones físicas y anímicas del sujeto al momento de realizar las evaluaciones
- Calibración inadecuada de la celda de fuerza
- Que las instrucciones dadas por el evaluador sean mal comprendidas o explicadas

Recolección de datos

Los antecedentes personales de los participantes se recolectaron en fichas de datos. Los datos de los resultados de las evaluaciones de fuerza isométrica máxima y fatigabilidad fueron registrados en el Software EMG Works (Delsys, USA).

f. Análisis estadístico.

Promedios y desviaciones estándar fueron reportadas. Los datos se analizaron realizando un ANOVA de dos vías con medidas repetidas comparando los tres grupos antes y después de 4 semanas. En el caso que existieran diferencias significativas, Fisher's LSD post hoc test fue utilizado. El nivel de significancia fue $p < 0.05$. Se utilizó el Software SPSS 21.0 (IBM, USA) para todos los análisis.

Capítulo 3: Resultados

La estadística se realizó con un total de 20 sujetos que terminaron el estudio divididos en 3 grupos: grupo control (GC), grupo inmovilizado (INM) y grupo inmovilizado más entrenamiento excéntrico (INM+ECC).

Tabla 2: Características antropométricas de los grupos

Grupo	Control (n=7)	Inmovilizado (n=6)	INM + ECC (n=7)	P value
Mujeres	1	2	2	----
Hombres	6	4	5	----
Edad (X ± DE)	23,8 ± 2,91	25,1 ± 8,5	27,6 ± 4,1	0,53
Peso (kg) (X ± DE)	74,5 ± 9,7	73,1 ± 18,8	79,5 ± 16,7	0,72
Talla (cm) (X ± DE)	172,4 ± 6,4	169,5 ± 12,1	169,5 ± 7,9	0,43
IMC (kg/mt ²) (X ± DE)	25,1 ± 2,8	25,1 ± 8,5	27,6 ± 4,1	0,32

a) Fuerza isométrica máxima voluntaria:

Extremidad inmovilizada: Tuvo un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,85$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,13$), y un efecto principal de interacción significativo ($p=0,0001$). Después del análisis post-hoc mostró que el grupo GC no presenta diferencias significativas en su comparación pre-post ($p = 0,29$). Sin embargo, el grupo INM presenta una disminución significativa en la fuerza isométrica de un 42% ($p=0,008$), y el grupo INM+ECC aumento de un 3,8% ($p=0,05$) en sus comparaciones Pre- vs. Post-

como se muestra en la Figura 7A.

Extremidad entrenada (no inmovilizada): Tuvo un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,68$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,9$) y con un efecto principal de interacción significativo ($p=0,011$). Luego del análisis post hoc se encontró que el grupo GC no presenta diferencias significativas ($p=0,265$), grupo inmovilizado no hay diferencias significativas ($p=0,319$). Sin embargo, el grupo INM+ECC muestra aumento significativo de la fuerza isométrica de un 18% ($p=0,016$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- como muestra la Figura 7B.

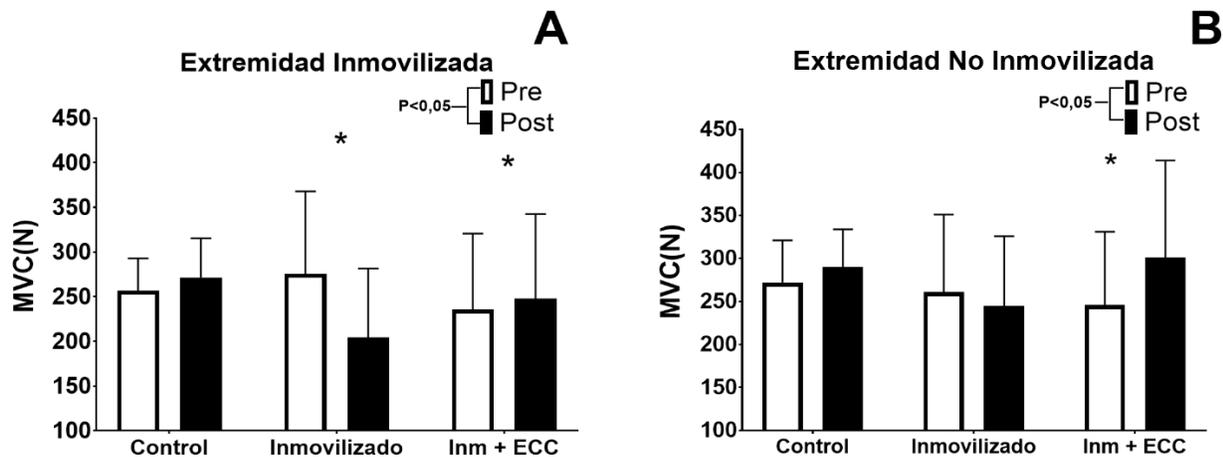


Figura 7. Comparación Pre y Post entre los grupos de los cambios en la fuerza isométrica máxima (MVC) para la extremidad inmovilizada (A) y la extremidad no inmovilizada (B) durante un periodo de entrenamiento de 4 semanas. * Significativamente diferente Pre vs post- ($P < 0,05$).

b) Fuerza muscular (1 Repetición Máxima):

Extremidad inmovilizada: Evidenció un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,5$), con un efecto principal de tiempo significativo ($p=0,02$), y un

efecto principal de interacción significativo también ($p=0,0003$). Después del análisis post hoc mostró que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,175$), grupo INM disminuyó un 10,8% ($p=0,001$), pero el grupo INM+ECC no cambió significativamente ($p=0,36$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- como lo muestra la Figura 8A.

Extremidad entrenada: mostró un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,59$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,04$), y un efecto principal de interacción significativo ($p=0,01$). Luego el post hoc mostró que el grupo GC no cambio significativamente ($p=0,9$), el grupo INM no presento diferencias significativas tampoco ($p=0,1$), pero el grupo INM+ECC presentó aumentó un 10,4% ($p=0,0001$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- (Figura 8B).

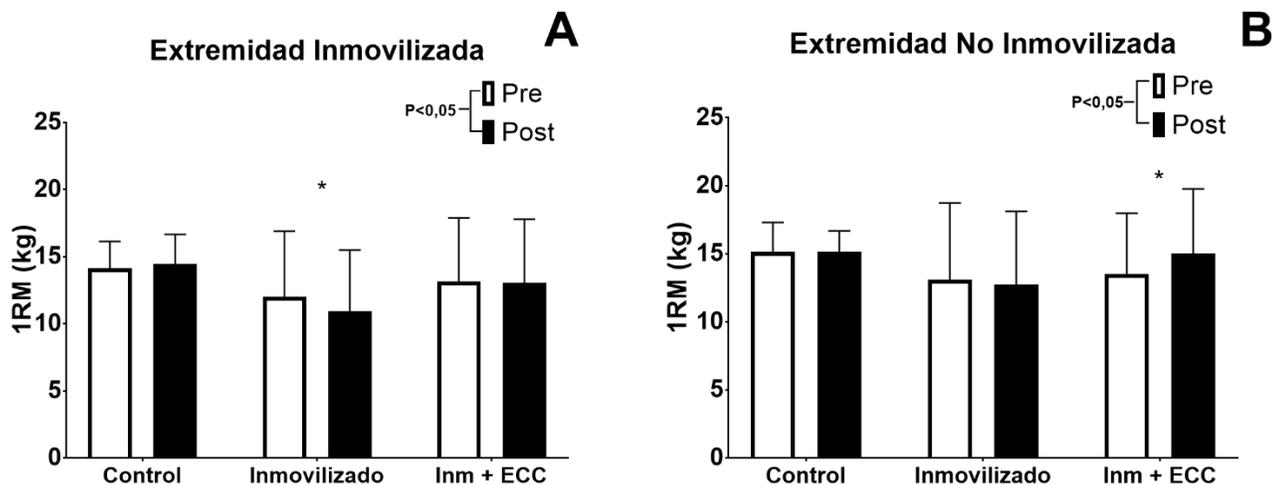


Figura 8. Comparación Pre y Post entre los grupos de los cambios en una repetición máxima (1RM) para la extremidad inmovilizada (A) y extremidad No inmovilizada durante un periodo de entrenamiento de 4 semanas. *Significativamente diferente entre Pre- vs. Post- ($P < 0,05$).

c) Perímetro:

Perímetro a 3 cm:

Extremidad inmovilizada: No mostró un efecto principal de grupo ($p=0,82$), pero si un efecto principal de tiempo significativo ($p=0,02$), y un efecto principal de interacción significativo ($p=0,001$). Luego el post hoc indicó que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,08$), grupo INM disminuyo el perímetro de brazo en un 5% ($p=0,002$), y en el grupo INM+ECC no hay diferencias significativas ($p=0,14$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- como lo muestra la Figura 9A.

Extremidad entrenada: No evidenció un efecto principal de grupo significativo ($p=0,9$), un efecto principal de tiempo significativo ($p=0,01$), pero sin un efecto principal de interacción significativo ($p=0,28$). El post hoc indicó que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,58$), grupo INM tampoco presentó cambios significativos ($p=0,24$), pero el grupo INM+ECC aumento en el perímetro de brazo en un 2,5% ($p=0,0004$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- como lo muestra la Figura 9B.

Perímetro a 6 cm:

Extremidad inmovilizada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p=0,9$), pero si un efecto principal de tiempo significativo ($p=0,023$), y un efecto principal de interacción significativo también ($p=0,002$). Posteriormente el post hoc indicó que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,08$), el grupo INM presento una disminución en el perímetro de brazo de un 6%, ($p=0,008$) y el grupo INM+ECC también presentó diferencias significativas ($p=0,046$) con una disminución de un 3% en sus comparaciones Pre- vs. Post- (Figura 9C).

Extremidad entrenada: No Presentó un efecto principal de grupo significativo ($p=0,99$), un efecto principal de tiempo significativo ($p=0,02$), y un efecto principal de interacción significativo ($p=0,018$). El post hoc indicó que el

grupo GC presentó un aumento de un 2% ($p=0,003$), grupo INM no presentó diferencias significativas ($p=0,08$), y el grupo INM+ECC presentó un aumento en el perímetro de brazo de un 3% ($p=0,005$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- (Figura 9D).

Perímetro a 9 cm:

Extremidad inmovilizada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p=0,92$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,02$), y un efecto principal de interacción significativo ($p=0,0004$). Después el post hoc nos mostró que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,057$), grupo INM presentó una disminución en el perímetro de brazo de un 6% ($p=0,0004$), y el grupo INM+ECC no presentó diferencias significativas ($p=0,055$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- (Figura 9E)

Extremidad entrenada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p=0,9$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,00004$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p=0,078$). Debido a estos resultados el post hoc no evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos. (Figura 9F).

Perímetro máximo de Brazo:

Extremidad inmovilizada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p=0,95$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,003$), y un efecto principal de interacción significativo también ($p=0,00001$). Luego el post hoc mostró que el grupo GC presentó un aumento de un 1,7% ($p=0,038$), grupo INM disminuyó el perímetro de brazo de 8% ($p=0,000006$), y el grupo INM+ECC disminuyó un 5% en el perímetro de brazo ($p=0,007$) en sus comparaciones Pre- vs. Post- como lo

muestra la Figura 9G.

Extremidad entrenada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p=0,89$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,001$), y un efecto principal de interacción significativo también ($p=0,005$). Luego el post hoc mostró que el grupo GC aumento un 2,9% en el perímetro de brazo($p=0,007$), grupo INM no presentó diferencias significativas ($p=0.99$), y el grupo INM+ECC aumento un 3.9% ($p=0,001$) en su comparación pre- vs. Post- intervención (Figura 9H).

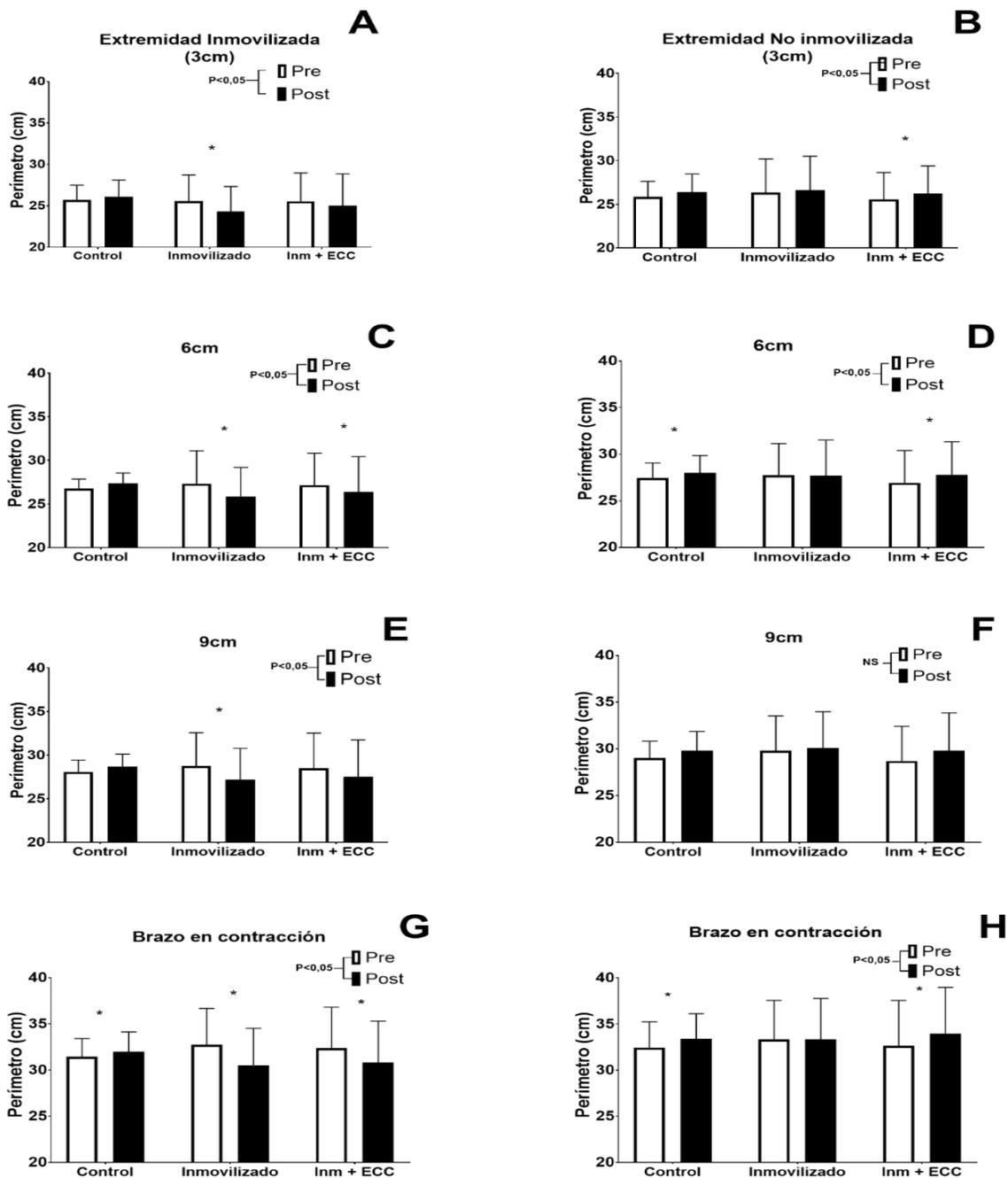


Figura 9. Comparación Pre y Post entre los grupos de los cambios en el perímetro de brazo para la extremidad inmovilizada (A) y la extremidad no inmovilizada (B) a 3 centímetros (cm), a 6 cm (C) y (D) respectivamente, a 9 cm (E) y (F), brazo en contracción (G) y (H). durante un periodo de entrenamiento de 4 semanas. * Significativamente diferente entre Pre vs post- ($P < 0,05$).

d) Kinestesia:

A 50% del ROM total:

Extremidad inmovilizada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p = 0,98$), efecto principal de tiempo no significativo ($p = 0,17$), y un efecto principal de interacción significativo ($P = 0,016$). Luego el post hoc evidenció que el Grupo control no presentó diferencias significativas ($p = 0,64$), grupo INM aumentó el grado de error en un 39,5% ($p = 0,005$) (Figura 10A), y el grupo INM+ECC no presentó diferencias significativas ($p = 0,83$) en sus comparaciones Pre vs. Post.

Extremidad entrenada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p = 0,27$), efecto principal de tiempo no significativo ($p = 0,57$), y un efecto principal de interacción no significativo ($P = 0,71$). Debido a esto último el post hoc tampoco evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

A 30% del ROM total:

Extremidad inmovilizada: No Presentó un efecto principal de grupo ($p = 0,28$), efecto principal de tiempo no significativo ($p = 0,13$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p = 0,241$). Debido a estos resultados el post hoc tampoco evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

Extremidad entrenada: Presentó un efecto principal de grupo no significativo ($p = 0,61$), efecto principal de tiempo no significativo ($p = 0,16$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p = 0,41$). Debido a esto el post hoc no mostró diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

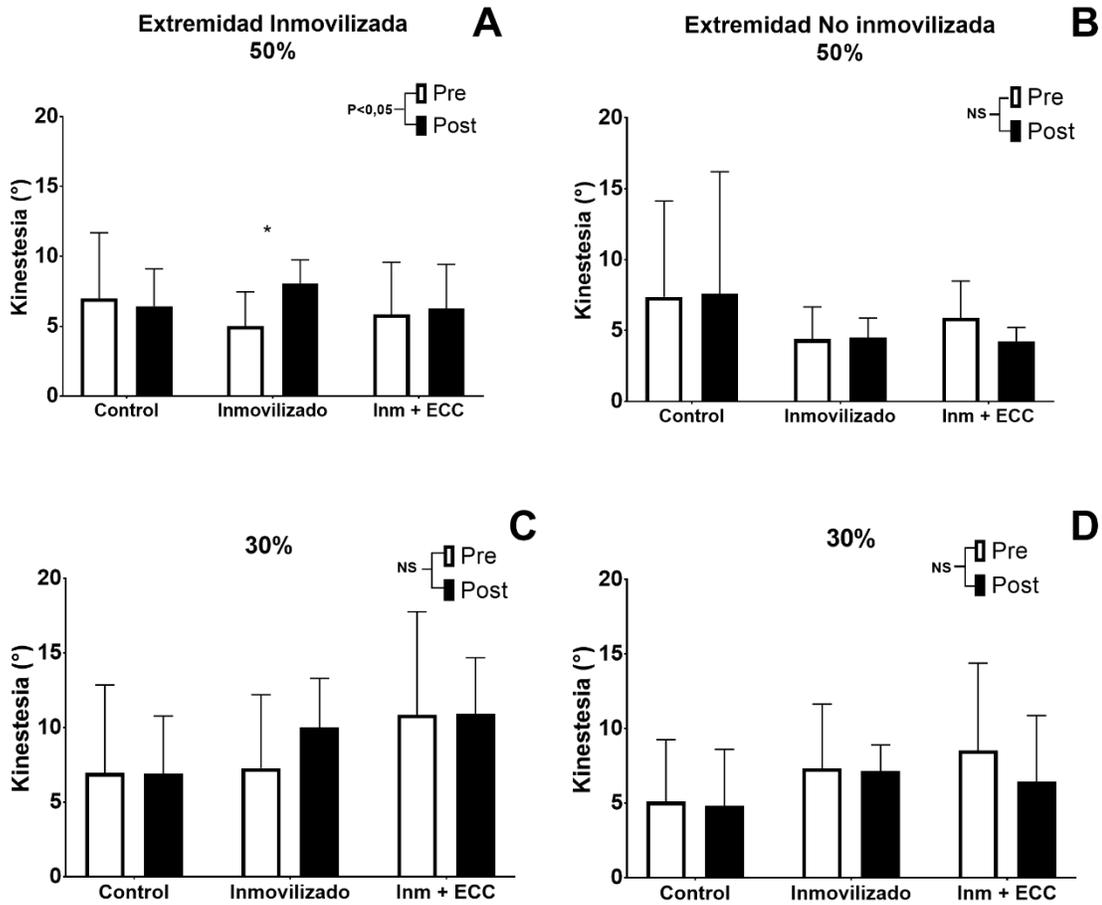


Figura10. Comparación Pre y Post entre los grupos de los cambios del grado de error al 50% de su rango de movimiento completo para la extremidad inmovilizada (A) y la extremidad no inmovilizada (B), y al 30% para la extremidad inmovilizada (C) y la extremidad no inmovilizada (D). * Significativamente diferente entre Pre vs post- ($P < 0,05$).

e) Balance de Extremidad Superior:

Test UQYBT evaluado por Distancia alcanzada:

Extremidad inmovilizada: Presentó un efecto principal de grupo significativo ($p=0,045$), efecto principal de tiempo significativo ($p=0,001$), y un

efecto principal de interacción significativo también ($p=0,0004$). Luego el post hoc evidenció que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,74$), grupo INM presentó una disminución de un 3% en la distancia máxima alcanzada ($p=0,0003$) (Figura 11A), y el grupo INM+ECC no presentó diferencias significativas ($p=0,68$) en sus comparaciones Pre- vs. Post-.

Extremidad entrenada: Presentó un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,083$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,18$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p=0,16$). Debido a esto el post hoc no evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

Test UQYBT evaluado por Puntaje obtenido:

Extremidad inmovilizada: Presentó un efecto principal de grupo significativo ($p=0,046$), efecto principal de tiempo significativo ($p =0,001$), y un efecto principal de interacción significativo también ($p=0,00006$). Luego el post hoc evidenció que el grupo GC no presentó diferencias significativas ($p=0,47$), grupo INM presentó una disminución de un 3,1% ($p=0,0001$) (Figura 11D), y el grupo INM+ECC no presentó diferencias significativas ($p=0,72$) en sus comparaciones Pre- vs. Post-.

Extremidad entrenada: Presentó un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,17$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,98$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p=0,341$). Debido a estos resultados el post hoc no evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

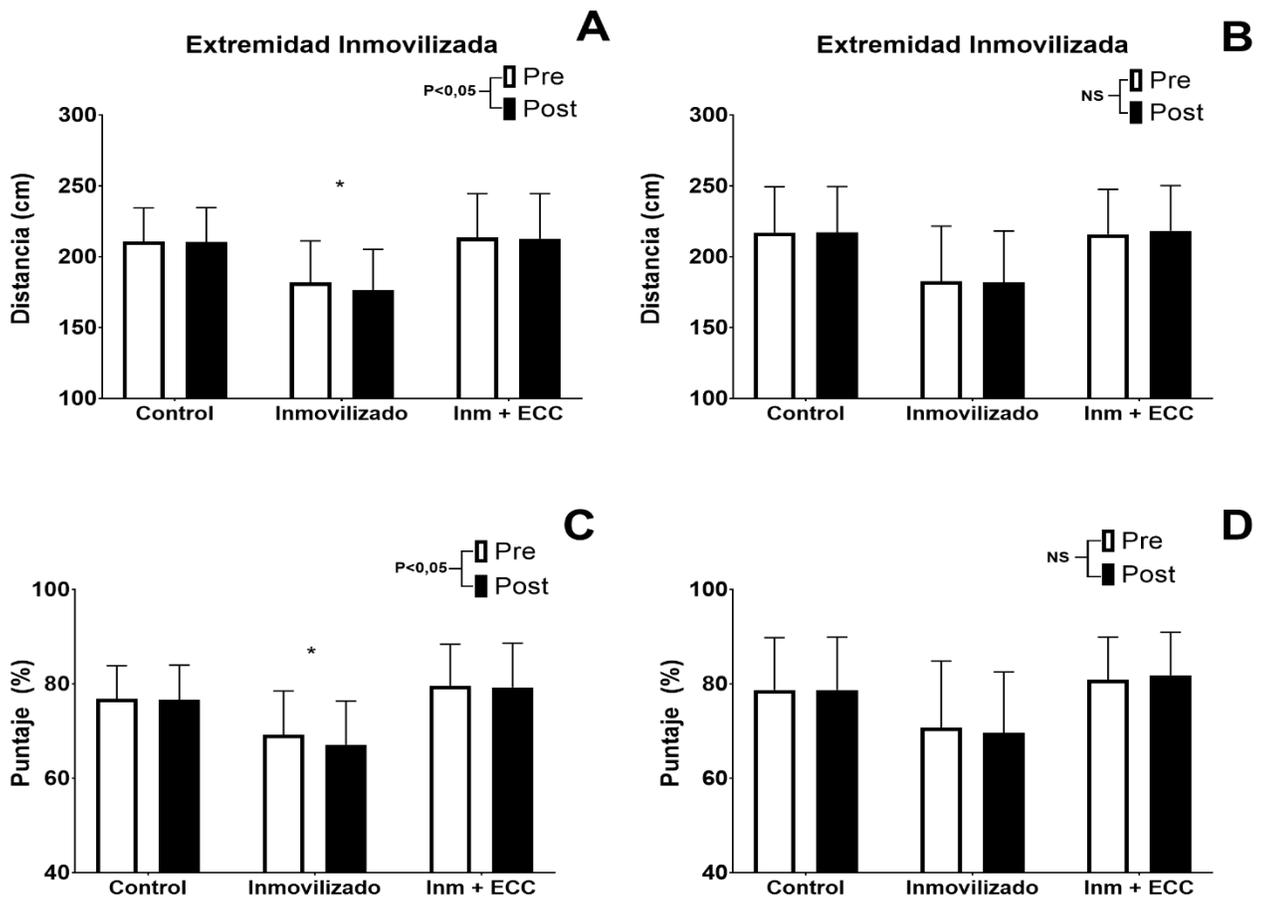


Figura 11. Comparación Pre y Post entre los grupos de los cambios del test UQYBT (Upper Quarter Y Balance Test) de la distancia máxima alcanzada para la extremidad inmovilizada (A) y la extremidad No inmovilizada (B). Comparación pre y post de los cambios en el puntaje para la extremidad inmovilizada (C) y la extremidad No inmovilizada (D). * Significativamente diferente entre Pre vs post- ($P < 0,05$).

f) Fatigabilidad:

Extremidad inmovilizada: Presentó un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,4$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,9$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p=0,18$). Debido a estos resultados el post hoc no evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

Extremidad entrenada: Presentó un efecto principal de grupo no significativo ($p=0,073$), efecto principal de tiempo no significativo ($p=0,09$), y un efecto principal de interacción no significativo ($p=0,25$). Debido a estos resultados el post hoc no evidenció diferencias significativas en cada uno de los tres grupos.

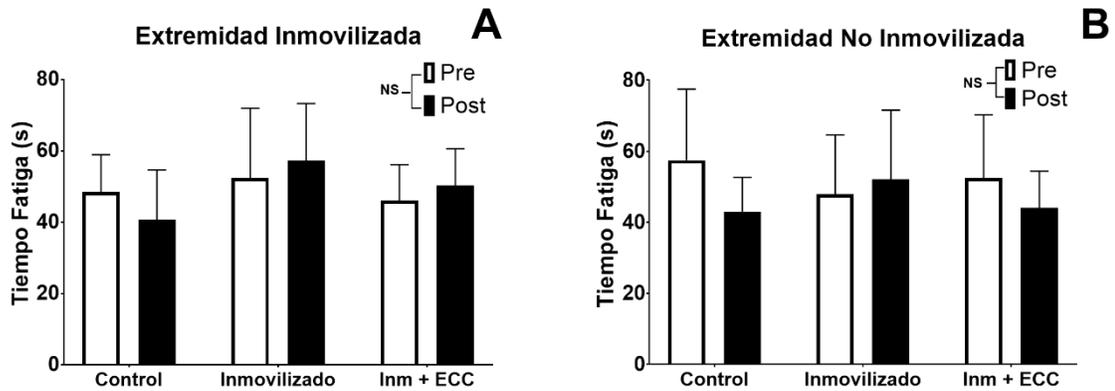


Figura 12. Comparación Pre y Post entre los grupos para los cambios en el tiempo de fatiga para la extremidad inmovilizada (A) y la extremidad No inmovilizada. * Significativamente diferente entre Pre vs post- ($P < 0,05$).

Capítulo 4: Discusión.

De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio cuatro semanas de inmovilización de los flexores de codo indujeron 42% de disminución de la MVC y 10.2% disminución en la fuerza, medida mediante 1RM, en la extremidad inmovilizada en el grupo INM en comparación al grupo INM+ECC, el cual mostró un aumento de la MVC en un 3,8% en la extremidad no dominante. Además, el grupo INM+ECC presentó un aumento de un 18% en la MVC y un aumento significativo en la capacidad de realizar 1RM en la extremidad entrenada. Esto demuestra que la inmovilización genera una disminución de la fuerza y que el entrenamiento excéntrico contralateral es capaz de evitar esta pérdida e incluso aumentar la fuerza en la extremidad inmovilizada. En relación a los cambios en el perímetro de brazo, cuatro semanas de inmovilización disminuye esta cualidad muscular, siendo un 8% la disminución más importante cuando se evaluó el brazo en contracción máxima para el grupo INM en la extremidad inmovilizada en comparación al grupo INM+ECC, el cual mostró una disminución del 5% solamente. En cuanto a la evaluación de la kinestesia se puede evidenciar que solo el grupo INM presentó un aumento significativo en el grado de error en la extremidad no dominante. Además, en los resultados del UQYBT para evaluar balance de extremidad superior solo el grupo INM mostró una disminución significativa en la distancia máxima alcanzada para la extremidad inmovilizada. Según los resultados del tiempo de fatiga ninguno de los dos grupos presentó cambios significativos para ambas extremidades. Así, todo lo anterior confirma nuestra hipótesis de que el entrenamiento excéntrico contralateral es capaz de atenuar o evitar las pérdidas causadas por un período de inmovilización. A continuación, se discutirán los hallazgos encontrados en el presente estudio para las variables de fuerza isométrica, 1RM, perímetro de brazo, kinestesia y balance inducidos por un programa de entrenamiento excéntrico contralateral durante un período de cuatro semanas de inmovilización con cabestrillo.

Efectos de la Inmovilización

Estudios realizados previamente donde se han utilizado protocolos de inmovilización como los de Parcell et al. (2000) y Miles, Heil, Larson, Conant & Schneider, (2005) han reportado disminuciones significativas en la función muscular y perímetro muscular. Nosotros realizamos nuestro estudio por el protocolo utilizado por Magnus et al. (2010) y encontramos similares resultados al protocolo de inmovilización en cuanto a la disminución de perímetro muscular (5,2% vs. 8%, respectivamente) y en cuanto a la disminución de la fuerza se correlaciona al protocolo descrito en el estudio de Hortobayi et al. 2010 (42% vs. 48%, respectivamente). Sin embargo, en otras variables como el balance y kinestesia no hay estudios que demuestren el efecto de la inmovilización a largo plazo. Lo interesante es que el protocolo de inmovilización de 4 semanas logró disminuir la fuerza y el perímetro muscular en los sujetos inmovilizados en nuestro estudio.

Efectos del ejercicio excéntrico contralateral

Si bien se ha demostrado en varios estudios los beneficios del entrenamiento concéntrico e isométrico contralateral (Fatemeh et al. 2014, Shima et al. 2002, Adamson et al. 2008). Munn et al. (2005) realizaron un estudio de 6 semanas de entrenamiento mixto (concéntrico/excéntrico), el cual aumentó la fuerza en un 7% la fuerza de la extremidad contralateral, sin uso de inmovilización. Además, en el estudio de Fatemeh et al. (2014) se demostró que el entrenamiento contralateral isométrico de flexores de codo en mujeres jóvenes y adultas durante 2 semanas, aumentó la fuerza de la extremidad contralateral en el grupo joven de 24% y de un 39% en el grupo adulto. Nuestro estudio está enfocado en un protocolo de entrenamiento excéntrico contralateral diseñado por nosotros, el cual

busca destacar virtudes de este tipo de entrenamiento. Los efectos del entrenamiento excéntrico a largo plazo son principalmente hipertrofia muscular y el aumento de la fuerza, y se ha demostrado firmemente que el entrenamiento excéntrico genera mayor hipertrofia que el entrenamiento concéntrico (Farthing & Chilibeck , 2003). El entrenamiento excéntrico ha sido poco estudiado para el efecto contralateral. Uno de los principales estudios es el de Chen et al. (2016) en el cual demostraron que el entrenamiento excéntrico contralateral genera disminución en los marcadores de daño muscular de la extremidad contraria luego de realizar una serie de contracciones excéntricas. Por lo tanto, nuestros resultados muestran que el entrenamiento excéntrico contralateral genera grandes beneficios en cuanto al aumento de la fuerza y del perímetro muscular, es de gran interés clínico el aplicar este tipo de entrenamientos en periodos de inmovilización prolongada en distintas articulaciones.

Función Muscular

Varios estudios demuestran que luego de inmovilizar una extremidad por un período de tiempo prolongado, trae alteraciones negativas en las funciones musculares. Nuestros resultados muestran que hay una disminución significativa tanto en la fuerza isométrica, así como también, en 1RM que los sujetos del grupo INM podían realizar y de la extremidad que se limitó el movimiento (Figura 7A y 8A), lo cual se corresponde con los estudios previos donde se manifiesta una reducción significativa de la fuerza (Munn et al, 2005, Parcell et al, 2000, Hendy et al, 2012, Berg & Tesch, 1996). Específicamente nuestro estudio mostró disminución de la fuerza de un 42% de la MVC lo cual se asemeja con el estudio de Hortobayi et al. (2000), en el cual se realizó la inmovilización de la rodilla por 3 semanas y tuvo una disminución del 48% de la fuerza del cuádriceps. También el estudio de Parcel et al. (2000) demostraron que un periodo de inmovilización de 4 semanas existe una disminución de la MVC en un 12% para los flexores de codo.

Miles et al. (2005) enfocó su estudio en un programa de 3 semanas de inmovilización de una extremidad superior en el cual obtuvo como resultado una disminución de 5% de la fuerza medida en 1RM, lo cual también se correlaciona con nuestro estudio en el cual tuvimos como resultado para la medición de fuerza en 1RM una pérdida de 10,8%. Por lo tanto, el protocolo de inmovilización utilizado en nuestro estudio logró demostrar una disminución de la fuerza importante, tanto isométrica como isotónica, Además nuestros resultados se comparan con los estudios mencionados anteriormente, demostrando la efectividad del protocolo de inmovilización en línea con los tiempos y extremidades usadas anteriormente.

Estas disminuciones de la fuerza muscular de la extremidad superior producto de la inmovilización se pueden deber a alteraciones neuromusculares las cuales producen disminución en la activación neural de las fibras musculares (Yue et al., 1997), tales como una disminución en la excitabilidad espinal medida con el reflejo de Hoffman, disminución en la conducción nerviosa (Clark, Manini, Bolanowski & Ploutz-snyder, 2006), disminución en la activación central y aumento en el tamaño de la respuesta motora (Clark, Issac, Lane, Damron & Hoffman, 2008) y una disminución en la excitabilidad de la corteza motora primaria (Kaneko, Murakami, Onari, Kurumadani & Kawaguchi, 2003). Otro aspecto que afecta a la fuerza muscular son las alteraciones metabólicas como la disminución de las concentraciones de fosfocreatina (PCr) (Fransen et al., 2015), y también una baja en la sensibilidad del calcio y aumento en su umbral de activación (Hvid et al., 2011). Además, existen alteraciones de la síntesis de proteínas, en las cuales hay un desbalance tanto de la síntesis como en la degradación de estas (Bodine, 2013). Por lo tanto, producto de los mecanismos explicados anteriormente, se genera la atrofia muscular que va a desencadenar la disminución de la fuerza muscular post-inmovilización.

En cuanto a la fatigabilidad, cabe mencionar que, si bien nuestro protocolo de inmovilización no tuvo cambios significativos en esta variable, fue importante ver el comportamiento que tendrían los sujetos ante esta medición. Sin embargo, según el estudio de Johnston, Burke, MacNeil & Candow (2009) demostraron que

después de 2 semanas de inmovilización de los flexores de codo se produce una disminución de la resistencia muscular asociado a una baja de la cantidad de creatina. Podemos aclarar que esto fue un resultado que no esperábamos debido a que no tuvimos diferencias significativas, por lo tanto, nosotros asociamos nuestros resultados a que nuestro protocolo de inmovilización no fue capaz de alterar las variables metabólicas del músculo.

Por otro lado, en el grupo INM+ECC encontramos como resultado un aumento de un 3,8% de la MVC en el lado inmovilizado (Figura 7B) lo que representa una gran diferencia con el grupo INM que presentó disminución de la MVC (42%). Por su parte, la medición mediante 1RM no disminuyó en el grupo INM y que realizó entrenamiento INM+ECC, lo que a su vez fue diferente con el grupo INM el cual presentó una disminución (10,8%) en la extremidad inmovilizada. Estos resultados dan pie para aseverar que el entrenamiento contralateral tiene beneficios en cuanto a la fuerza muscular. Estos resultados están en línea con estudios previos como el de Farthing et al. (2009) en el cual realizaron 3 semanas de entrenamiento contralateral más inmovilización de muñeca y mano, y no tuvieron cambios significativos en la extremidad inmovilizada con un aumento de la MVC en un 2% en el grupo inmovilizado más entrenamiento isométrico. Lo mencionado anteriormente tiene correlación con estudios realizados anteriormente como los de Munn et al. (2005) y el de Magnus et al. (2010). Si bien no hay estudios que comprueben de qué manera suceden los efectos del entrenamiento contralateral, sí se manejan posibles mecanismos y lugares donde se podrían desarrollar estas transferencias, entre los cuales destacan diferentes tipos en los cuales la capacidad de generar fuerza en la extremidad contraria podría aumentar:

- **Mecanismos musculares:** Es bien sabido que el entrenamiento de fuerza genera adaptaciones en el músculo tales como hipertrofia, aumento en la concentración de enzimas y proteínas contráctiles. Sin embargo, los estudios realizados sobre los efectos del entrenamiento contralateral no han podido demostrar adaptaciones significativas propias

del músculo, lo que sugiere que el efecto contralateral se debe principalmente a mecanismos neurales (Carroll et al. 2005; Hendy et al. 2012).

- **Mecanismos neurales:** Si los cambios no se deben a adaptaciones musculares, este efecto debe ser regulado por cambios en las vías de activación de los músculos principalmente por el sistema nervioso central. Existe evidencia de que el entrenamiento de fuerza puede aumentar la tasa máxima de disparo e incrementar el reclutamiento de las unidades motoras al inicio de la contracción, y también puede alterar la sincronización de la motoneurona. Por lo tanto, la extremidad contralateral podría acceder a estas adaptaciones y los mecanismos dispuestos sobre este efecto incluyen cambios en el patrón de actividad neural asociado con una descarga motora y modificaciones adaptativas en los circuitos neuronales envueltos en la planificación y ejecución motora (Carroll et al. 2005; Hendy et al. 2012).

-**Mecanismos Espinales:** Existe una compleja red de circuitos en la médula espinal que influye en la vía motora, tanto mediante acciones reflejas en las motoneuronas y modulando comandos descendentes. Este circuito está formado por la vía motora hacia los agonistas, sinergistas y antagonistas, de tal modo que todos estos influyen en la capacidad de generar fuerza. Este efecto puede estar regulado por las interneuronas que reciben información ascendente y descendente, estas pueden cruzar la línea media para activar o inhibir motoneuronas contralaterales (Carroll et al. 2005; Hendy et al. 2012).

- **Mecanismos corticales:** Existe una extensa red de circuitos distribuidos a través del lóbulo frontal de la corteza cerebral que están envueltos en la planificación y ejecución de los movimientos voluntarios. Estas áreas motoras están organizadas jerárquicamente: Desde la toma de decisiones de orden superior y la planificación en las regiones prefrontales a un control relativamente directo de la descarga de la motoneurona en la

corteza motora primaria. Las conexiones entre los hemisferios cerebrales y las fibras corticoespinales ipsilaterales de la corteza motora primaria proporcionan vías para el impulso neuronal para estimular el musculo homologo contralateral durante la contracción unilateral. El término “irradiación motora” describe la actividad corticoespinal bilateral que ocurre durante el movimiento unilateral. La literatura indica que la irradiación motora es uno de los principales mecanismos que puede contribuir a la transferencia de la fuerza durante el entrenamiento contralateral (Carroll et al. 2005; Hendy et al. 2012).

Por ende, nosotros pensamos que es posible que los deterioros en cuanto a fuerza causados por la inmovilización sobre la extremidad no entrenada, se puedan aminorar e incluso lograr aumentos por medio del entrenamiento excéntrico contralateral.

Perímetro de brazo (masa muscular)

Tomando en cuenta que los sujetos del grupo INM estuvieron con cabestrillo por 4 semanas, era de importancia ver qué efecto podría tener la inmovilización en cuanto al perímetro muscular como marcador de masa muscular. Diversos estudios han demostrado que el principal efecto de la inmovilización sobre una extremidad en cuanto al perímetro muscular es la disminución de esta variable (Parcel et al. 2000; Farthing et al. 2009; Yasuda et al. 2005; Kitahara et al. 2003). En cuanto a nuestro estudio, nuestros resultados se comparan con los estudios previos ya que tuvimos una disminución de 8% en el perímetro muscular (Figura 9), y sobre todo con los resultados del estudio de Parcel et al. (2005), en el cual se inmovilizó una de las extremidades superiores y se evaluaron los flexores de codo después de 4 semanas (disminución del 4% del área de sección transversal). Además, se ha demostrado que hay una pérdida en el área de fibras

musculares tipo I, IIa y IIx (Yasuda et al., 2005). Esto queda demostrado en el estudio de Hortobágyi et al. (2000) donde demostraron que la inmovilización durante 2 semanas una extremidad inferior disminuye el área de fibras musculares tipo I, tipo II y IIx, en un 13%, 10% y 10%, respectivamente. Esta disminución del área de sección transversal del músculo está dada principalmente por la atrofia que se produce producto de la inmovilización de la extremidad, este proceso fue explicado anteriormente. Interesantemente, se ha demostrado un efecto del entrenamiento contralateral en relación al perímetro muscular, el cual consiste básicamente en la mantención o aumento de este (Magnus et al., 2010). Lo cual no se correlaciona con nuestro estudio en el cual tuvimos cambios significativos debido a una disminución del perímetro muscular en la extremidad inmovilizada en dos distancias medidas, pero que de todas formas fueron menores que las del grupo INM. En el estudio de Farthing et al. (2000), en el cual se inmovilizó una extremidad superior por 3 semanas y se entrenó la extremidad contralateral, en sus resultados no obtuvo diferencias significativas respecto al tamaño muscular. Por lo tanto, podemos decir que, si bien nuestros resultados mostraron disminución en el perímetro muscular para el grupo INM+ECC, esta pérdida fue menor que en comparación con el grupo inmovilizado sobre la extremidad no entrenada.

Kinestesia

Existen varios estudios que han determinado los efectos de la inmovilización sobre la kinestesia y las alteraciones causadas por esta condición. Huber et al., (2006) y Moisélo et al., (2008) ambos demostraron que después de 12 horas de inmovilización de extremidad superior existe una alteración en la coordinación y formación del movimiento. Así también, Opie, Evans, Ridding & Semmler (2016) demostraron que después de 8 horas de inmovilización de extremidad superior afecta el rendimiento de una tarea motora. Al analizar

nuestros resultados en cuanto a la kinestesia (Figura 10), se observó un 39,5% aumento significativo en el grado de error en la reproducción al 50% del ROM total para la extremidad inmovilizada después de cuatro semanas con cabestrillo en el grupo INM. Nosotros especulamos que esta alteración en la kinestesia puede ser causada por una disminución en la excitabilidad de la corteza (Facchini, Romani, Tinazzi & Aglioti, 2002; Weibull, Flondell, Rosén & Björkman, 2011). En periodos corto de inmovilización, además de una disminución en la tasa de disparo de la motoneurona en períodos largos de inmovilización (Seki, Taniguchi & Narusawa, 2001), estas alteraciones han mostrado a causar un déficit propioceptivo sobre el músculo por lo que se va ver afectada la sensación de posición articular. Si bien existen estudios sobre los efectos de un periodo corto de inmovilización sobre la kinestesia, no hemos encontrado estudios en la literatura que reporten alteraciones en cuanto a la medición del grado de error después de un periodo largo de inmovilización. Por lo tanto, sería importante a futuro realizar investigaciones de los efectos de la inmovilización por largos periodos sobre la kinestesia. Por otra parte, los resultados en comparación al grupo INM+ECC, indujo un efecto protector y no presentó cambios significativos para la extremidad inmovilizada (Figura 10B). Esto es posible mediante el efecto contralateral, es decir que existen adaptaciones a niveles espinales a las cuales podría acceder la extremidad no entrenada, ya que se ha visto que el entrenamiento de fuerza y resistencia aumenta también la descarga neuronal hacia la otra extremidad (Lee et al., 2009). Sin embargo, no encontramos estudios en la literatura que entreguen mayor información para justificar nuestros resultados. Esto demuestra que, si existe un efecto contralateral en cuanto a la kinestesia sobre la extremidad contralateral, por lo que sería importante realizar más investigaciones sobre este efecto y su magnitud en cuanto a la kinestesia sobre la extremidad inmovilizada.

Balance de extremidad superior.

En cuanto a nuestros resultados sobre la evaluación del balance mediante el UQBYT, estos demuestran que existe una disminución significativa en la máxima distancia alcanzada para la extremidad inmovilizada (Figura 11A). Caplan et al. (2015) demostró que existe una disminución en la capacidad de mantener una postura vertical, representada por un aumento del balanceo después de una semana de inmovilización de tobillo. Este es uno de los pocos estudios que demuestra, que existe una alteración del balance después de un periodo de inmovilización. Sin embargo, no lo podemos extrapolar a nuestros resultados debido a que el período de inmovilización es de una semana y es de extremidad inferior. Esta alteración del balance se puede ver afectada por la disminución en la activación central, kinestesia alterada o disminución en la activación de las motoneuronas. Por ende, las afecciones sobre el balance después de un periodo largo de inmovilización, principalmente en extremidad superior no han sido muy estudiadas por la literatura.

Interesantemente, al analizar los resultados del balance para el grupo INM+ECC, estos no muestran cambios significativos en la distancia máxima alcanzada para la extremidad inmovilizada (Figura 11B). Esto se puede atribuir que hubo un aumento de la fuerza, no existieron cambios en kinestesia en la extremidad inmovilizada, por lo que el balance no cambio significativamente debido a los cambios en las variables mencionadas anteriormente. Kim, Cha & Fell (2011) demostraron que un programa de entrenamiento de fuerza contralateral de dos semanas para extremidad inferior mejora la estabilidad de la extremidad no entrenada. Esto demuestra que, si bien no existen muchos estudios para justificar nuestros resultados, existe un efecto contralateral en cuanto al balance después de un programa de entrenamiento de fuerza. Por lo tanto, nuestro estudio es uno de los primeros en evaluar el balance de extremidad superior después de un periodo largo de inmovilización y de los efectos del entrenamiento excéntrico contralateral sobre esta variable.

Por último y después de todo lo expuesto anteriormente a través de nuestro estudio, podemos afirmar que los efectos producidos por la inmovilización por

cuatro semanas con cabestrillo generan una serie de deterioros a nivel muscular y articular los que se pueden aminorar entrenando fuerza de manera excéntrica en la extremidad no inmovilizada, o también conocido como cross-training, el cual realmente produce un efecto en la extremidad contralateral, sobre todo en cuanto a pérdida de fuerza se refiere y perímetro muscular. A su vez, nuestro estudio da pie para comenzar con nuevos estudios y seguir analizando estos efectos mediante este tipo de entrenamiento en variables poco estudiadas como el balance y la kinestesia.

Limitaciones.

Las limitaciones con las que nos encontramos durante la realización de nuestro estudio son, en primer lugar, la acotada cantidad de estudios previos que se han realizado en entrenamientos contralaterales de manera excéntrica. Luego tenemos la pequeña cantidad de sujetos que participaron en el estudio por lo complejo que es tener que inmovilizarse una extremidad por un mes lo que hace difícil replicar los resultados en una población más amplia. Además, no se podía tener control estricto sobre el uso del cabestrillo, era un compromiso de los participantes a usarlo por 8 horas al día.

Proyecciones

En cuanto a las investigaciones a realizar a futuro, sería interesante buscar cual es el mecanismo principal que permite el efecto contralateral en el entrenamiento de fuerza, así como también sería de suma importancia investigar sobre los diferentes tipos de entrenamiento de fuerza muscular y su magnitud en el efecto contralateral. Por otro lado, queremos destacar la kinestesia y el balance, ya que estas variables influyen tanto en las actividades de la vida diaria y la práctica deportiva, sin embargo, estas no han sido evaluadas después de un periodo larga de inmovilización, por lo que sería interesante evaluar estas cualidades a largo plazo. Por lo tanto, queremos destacar lo novedoso de este estudio ya que nuestros resultados dan pie para poder realizar intervenciones clínicas en pacientes que por alguna razón deban mantener una extremidad inmovilizada y de esta forma prepararlos para que lleguen a su terapia de rehabilitación con un nivel basal mayor de fuerza y perímetro muscular más adecuado de lo que llegarían si solo estuvieran inmovilizados. Nosotros Creemos que los tiempos de rehabilitación podrían ser menores al estar en una mejor condición muscular, ya que esto podría permitir una rehabilitación más eficiente tanto para el paciente como para el kinesiólogo, por lo cual sería novedoso llevar este protocolo a cabo en terapias kinesiológicas.

Conclusión.

Según nuestro estudio, en un protocolo de inmovilización de 4 semanas para los flexores de codo con 3 grupos estudios, INM, INM+ECC y GC, hemos evidenciado que la fuerza isométrica contralateral disminuye en el primero, en cambio en el segundo grupo esta aumenta. En cuanto a la fuerza isotónica, medida en 1RM, disminuye en el grupo INM y se mantiene en el grupo INM+ECC. El perímetro muscular disminuye en el grupo INM y en el grupo INM+ECC no se produce este efecto, sino que más bien no tiene diferencias significativas, lo cual deja de manifiesto que para esta variable el entrenamiento excéntrico contralateral trae beneficios. En la kinestesia, el grupo INM presentó aumento en la tasa de error, en cambio el grupo INM+ECC no tuvo diferencias significativas, lo cual también indica otro beneficio de este tipo de entrenamiento. El balance, medido mediante el UQYBT tuvo resultados similares a los anteriores, el grupo INM disminuyó la distancia máxima alcanzada, en cambio el grupo INM+ECC no tuvo diferencias significativas.

Bibliografía.

- Adamson, M., MacQuaide, N., Helgerud, J., Hoff, J., & Kemi, O. (2008). Unilateral arm strength training improves contralateral peak force and rate of force development. *European Journal of Applied Physiology*, 103(5), 553-559
- Allen, D. (2001). Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 311-319
- Berg, H. & Tesch, P. (1996). Changes in muscle function in response to 10 days of lower limb unloading in humans. *Acta Physiol Scand*, 157(1), 63-70
- Bodine, S. (2013). Disuse-induced muscle wasting. *The International Journal Of Biochemistry & Cell Biology*, 45(10), 2200-2208.
- Caplan, N., Forbes, A., Radha, S., Stewart, S., Ewen, A., St Clair Gibson, A., & Kader, D. (2015). Effects of 1 Week of Unilateral Ankle Immobilization on Plantar-Flexor Strength, Balance, and Walking Speed: A Pilot Study in Asymptomatic Volunteers. *Journal Of Sport Rehabilitation*, 24(2), 156-162.
- Carroll, T., Herbert, R., Munn, J., Lee, M., & Gandevia, S. (2006). Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *Journal Of Applied Physiology*, 101(5), 1514-1522.
- Chen, T., Chen, H., Lin, M., Yu, H., & Nosaka, K. (2016). Contralateral Repeated Bout Effect of Eccentric Exercise of the Elbow Flexors. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 48(10), 2030-2039.
- Clark, B., Issac, L., Lane, J., Damron, L., & Hoffman, R. (2008). Neuromuscular plasticity during and following 3 wk of human forearm cast

- immobilization. *Journal Of Applied Physiology*, 105(3), 868-878.
- Clark, B., Manini, T., Bolanowski, S., & Ploutz-snyder, L. (2006). Adaptations in human neuromuscular function following prolonged unweighting: II. Neurological properties and motor imagery efficacy. *Journal Of Applied Physiology*, 101(1), 264-272.
- Clark, B., Taylor, J., Hoffman, R., Dearth, D., & Thomas, J. (2010). Cast immobilization increases long-interval intracortical inhibition. *Muscle & Nerve*, 42(3), 363-372.
- Dankel, S., Counts, B., Barnett, B., Buckner, S., Abe, T., & Loenneke, J. (2017). Muscle adaptations following 21 consecutive days of strength test familiarization compared with traditional training. *Muscle & Nerve*.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2016). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Medicine*, 47(4),
- Facchini, S., Romani, M., Tinazzi, M., & Aglioti, S. (2002). Time-related changes of excitability of the human motor system contingent upon immobilisation of the ring and little fingers. *Clinical Neurophysiology*, 113(3), 367-375.
- Farthing, J., Chilibeck, P., & Binsted, G. (2005). Cross-Education of Arm Muscular Strength Is Unidirectional in Right-Handed Individuals. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 37(9), 1594-1600.
- Farthing, J. & Chilibeck, P. (2003). The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *European Journal Of Applied Physiology*, 89(6), 578-586.
- Farthing, J., Krentz, J., & Magnus, C. (2009). Strength training the free limb attenuates strength loss during unilateral immobilization. *Journal Of Applied Physiology*, 106(3),
- Ehsani, F., Nodehi-Moghadam, A., Ghandali, H., & Ahmadizade, Z. (2014). The comparison of cross-education effect in young and elderly females from unilateral training of the elbow flexors. *Medical journal of the Islamic Republic of Iran*, 28, 138.
- Fransen, J., Zuhl, M., Kerksick, C., Cole, N., Altobelli, S., Kueth, D., & Schneider, S. (2015). Impact of creatine on muscle performance and phosphagen stores after immobilization. *European Journal Of Applied Physiology*, 115(9), 1877-1886.
- Gabriel, D., Kamen, G., & Frost, G. (2006). Neural Adaptations to Resistive

- Exercise. *Sports Medicine*, 36(2), 133-149.
- Gondin, J., Guede, M., Maffiuletti, N., & Martin, A. (2004). Neural activation of the triceps surae is impaired following 2 weeks of immobilization. *European Journal Of Applied Physiology*, 359-365.
- Gorman, P., Butler, R., Plisky, P., & Kiesel, K. (2012). Upper Quarter Y Balance Test. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 26(11), 3043-3048.
- Guilhem, G., Cornu, C., & Guével, A. (2010). Neuromuscular and muscle-tendon system adaptations to isotonic and isokinetic eccentric exercise. *Annals Of Physical And Rehabilitation Medicine*, 53(5), 319-341.
- Hendy, A., Spittle, M., & Kidgell, D. (2012). Cross education and immobilisation: Mechanisms and implications for injury rehabilitation. *Journal Of Science And Medicine In Sport*, 15(2), 94-101.
- Hortobágyi, T., Dempsey, L., Fraser, D., Zheng, D., Hamilton, G., Lambert, J., & Dohm, L. (2000). Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *The Journal Of Physiology*, 293-304.
- Howatson, G., & van Someren, K. (2007). Evidence of a contralateral repeated bout effect after maximal eccentric contractions. *European Journal Of Applied Physiology*, 101(2), 207-214.
- Huber, R., Ghilardi, M., Massimini, M., Ferrarelli, F., Riedner, B., Peterson, M., & Tononi, G. (2006). Arm immobilization causes cortical plastic changes and locally decreases sleep slow wave activity. *Nature Neuroscience*, 9(9), 1169-1176.
- Hvid, L., Ørtenblad, N., Aagaard, P., Kjaer, M., & Suetta, C. (2011). Effects of ageing on single muscle fibre contractile function following short-term immobilisation. *The Journal Of Physiology*, 589(19), 4745-4757.
- Hvid, L., Aagaard, P., Justesen, L., Bayer, M., Andersen, J., & Ortenblad, N. et al. (2010). Effects of aging on muscle mechanical function and muscle fiber morphology during short-term immobilization and subsequent retraining. *Journal Of Applied Physiology*, 109(6), 1628-1634.
- International Standards for Anthropometric Assessment*. (2001) (1st ed., p. 139). Australia.
- Johnston, A., Burke, D., MacNeil, L., & Candow, D. (2009). Effect of Creatine Supplementation During Cast-Induced Immobilization on the Preservation of

Muscle Mass, Strength, and Endurance. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 23(1),

- Kaneko, F., Murakami, T., Onari, K., Kurumadani, H., & Kawaguchi, K. (2003). Decreased cortical excitability during motor imagery after disuse of an upper limb in humans. *Clinical Neurophysiology*, 114(12), 2397-2403.
- Kannus, P., Alosa, D., Cook, L., Johnson, R., Renström, P., & Pope, M. et al. (1992). Effect of one-legged exercise on the strength, power and endurance of the contralateral leg. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology*, 64(2), 117-126.
- Kawakami, Y., Akima, H., Kubo, K., Muraoka, Y., Hasegawa, H., & Kouzaki, M. et al. (2001). Changes in muscle size, architecture, and neural activation after 20 days of bed rest with and without resistance exercise. *European Journal Of Applied Physiology*, 84(1-2), 7-12.
- Kelly, V. (2008). Postural control. *Spring*, 442(442), 1-4.
- Kitahara, A., Hamaoka, T., Murase, N., Homma, T., Kurosawa, Y., & Ueda, C. (2003). Deterioration of Muscle Function after 21-Day Forearm Immobilization. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 1697-1702.
- Kim, K., Cha, Y., & Fell, D. (2011). The effect of contralateral training: Influence of unilateral isokinetic exercise on one-legged standing balance of the contralateral lower extremity in adults. *Gait & Posture*, 34(1), 103-106.
- Lee, M., Gandevia, S., & Carroll, T. (2009). Unilateral strength training increases voluntary activation of the opposite untrained limb. *Clinical Neurophysiology*, 120(4), 802-808.
- Li, L., Shin, H., Li, X., Li, S., & Zhou, P. (2016). Localized Electrical Impedance Myography of the Biceps Brachii Muscle during Different Levels of Isometric Contraction and Fatigue. *Sensors*, 16(4), 581
- Lundbye-Jensen, J., & Nielsen, J. (2008). Central nervous adaptations following 1 wk of wrist and hand immobilization. *Journal Of Applied Physiology*, 139-151.
- Magnus, C., Barss, T., Lanovaz, J., & Farthing, J. (2010). Effects of cross-education on the muscle after a period of unilateral limb immobilization using a shoulder sling and swathe. *Journal Of Applied Physiology*, 109(6), 1887-1894.
- Miles, M., Heil, D., Larson, K., Conant, S., & Schneider, S. (2005). Prior Resistance

- Training and Sex Influence Muscle Responses to Arm Suspension. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 37(11), 1983-1989.
- Moisello, C., Bove, M., Huber, R., Abbruzzese, G., Battaglia, F., Tononi, G., & Ghilardi, M. (2008). Short-Term Limb Immobilization Affects Motor Performance. *Journal Of Motor Behavior*, 40(2), 165-176.
- Munn, J., Herbert, R., Hancock, M., & Gandevia, S. (2005). Training with unilateral resistance exercise increases contralateral strength. *Journal Of Applied Physiology*, 99(5), 1880-1884.
- Opie, G., Evans, A., Ridding, M., & Semmler, J. (2016). Short-term immobilization influences use-dependent cortical plasticity and fine motor performance. *Neuroscience*, 330, 247-256.
- Parcell, Trappe, Godard, Williamson, Fink, & Costill. (2000). An upper arm model for simulated weightlessness. *Acta Physiol Scand*, 169(1), 47-54.
- Salles, J., Velasques, B., Cossich, V., Nicoliche, E., Ribeiro, P., Amaral, M., & Motta, G. (2015). Strength Training and Shoulder Proprioception. *Journal Of Athletic Training*, 50(3), 277-280.
- Schappacher-Tilp, G., Leonard, T., Desch, G., & Herzog, W. (2015). A Novel Three-Filament Model of Force Generation in Eccentric Contraction of Skeletal Muscles. *PLOS ONE*, 10(3), e0117634.
- Seki, K., Taniguchi, Y., & Narusawa, M. (2001). Effects of joint immobilization on firing rate modulation of human motor units. *The Journal of physiology*, 530(3), 507-519.
- Shima, N., Ishida, K., Katayama, K., Morotome, Y., Sato, Y., & Miyamura, M. (2002). Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4), 287-294.
- Suetta, C., Hvid, L., Justesen, L., Christensen, U., Neergaard, K., & Simonsen, L. et al. (2009). Effects of aging on human skeletal muscle after immobilization and retraining. *Journal Of Applied Physiology*, 107(4), 1172-1180.
- Vikne, H., Refsnes, P., Ekmark, M., Medbo, J., Gundersen, V., & Gundersen, K. (2006). Muscular Performance after Concentric and Eccentric Exercise in Trained Men. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 38(10), 1770-1781
- Weibull, A., Flondell, M., Rosén, B., & Björkman, A. (2011). Cerebral and clinical effects of short-term hand immobilisation. *European Journal Of*

Neuroscience, 33(4), 699-704.

Westrick, R. B., Miller, J. M., Carow, S. D., & Gerber, J. P. (2012). Exploration Of the Y-BALANCE Test for assesment of upper quarter closed kinetic chain performance. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(2), 139–147.

Yasuda, N., Glover, E., Phillips, S., Isfort, R., & Tarnopolsky, M. (2005). Sex-based differences in skeletal muscle function and morphology with short-term limb immobilization. . *J Appl Physiol*, 99 (3), 1085-1092.

Yue, G., Bilodeau, M., Hardy, P., & Enoka, R. (1997). Task-dependent effect of limb immobilization on the fatigability of the elbow flexor muscles in humans. *ExpPhysiol*, 82(3), 567-592.

Anexos

Anexo N°1

Nombre del Estudio: Efecto del entrenamiento excéntrico y entrenamiento mixto contralateral de los flexores de codo después de 4 semanas de inmovilización de codo y hombro con cabestrillo

Patrocinador del Estudio / Fuente Financiamiento Escuela de Kinesiología

Investigador Autofinanciado

Responsable:

Luis Peñailillo. Teléfono 93198108

Mail: lpenailillo@uft.cl

Felipe Perez Carrasco. Teléfono +56977688526

Mail: Fperezc@uft.edu

Carlos Ramírez Galleguillos. teléfono 90897464

Mail: carlosramirezchile@gmail.com

Unidad

Académica:

Gimnasio de

Gimnasio de kinesiología de la Universidad Finis Terrae (Av. Pedro de Valdivia #1590 Providencia, Santiago).

Consentimiento informado

**CARTA DE INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE DE ESTUDIO DE
INVESTIGACIÓN DE TESIS**

El propósito de esta información es ayudarle a tomar la decisión de participar, (o permitir participar a su hijo/hija, familiar o representado) -o no- en una investigación, y, si es el caso, para autorizar el uso de muestras humanas o información personal (por ejemplo, información de la ficha clínica).

Lea cuidadosamente este documento, puede hacer todas las preguntas que necesite al investigador y tomarse el tiempo necesario para decidir.

Este estudio está siendo financiado por los alumnos que llevan a cabo este proyecto de investigación quienes no pagarán al profesional a cargo del estudio y/o a la Unidad Académica por la realización del mismo.

1.Objetivos de la investigación

Usted ha sido invitado/invitada a participar en este estudio porque cumple con los criterios de inclusión y exclusión para ser partícipe de este. Lo cual será de vital importancia para el desarrollo de la investigación.

El objetivo de este estudio es determinar los cambios en la extremidad contralateral inmovilizada después de un entrenamiento de ejercicio excéntrico en personas sedentarias

Por lo cual los criterios de reclutamiento: sujetos hombres sedentarios sanos entre 18 y 30 años, que no hayan presentado una lesión previa de extremidad superior por al menos 6 meses. Para este estudio esperamos reclutar 30 sujetos.

2. Procedimientos de la investigación: Metodología

El proceso de Evaluación de los sujetos será realizado en el gimnasio de kinesiología de la Universidad Finis Terrae, los sujetos serán voluntarios, y serán ubicados de manera aleatoria en los diferentes grupos de estudio, este será realizado por 2 evaluadores estudiantes de pregrado de la carrera de Kinesiología pertenecientes a la Universidad Finis Terrae.

El proceso de este estudio comenzara con una primera sesión de evaluación para todos los sujetos, en la cual se recopilaran datos de los sujetos, posterior a esto se realizara la evaluación de fuerza de flexores de codo estimando la carga máxima que pueda levantar el sujeto, también se evaluara el perímetro muscular con huincha de medir, la propiocepción se evaluara con reposicionamiento activo para la flexión codo y esta será medida con goniómetro, para evaluar el balance utilizaremos el UQBYT (upper quarter y balance test), se evaluaran ambas extremidades superiores.

Posterior a la evaluación de todos los sujetos, comenzaran las sesiones de entrenamiento que consistirá en un grupo entrenamiento de fuerza excéntrico + inmovilización (n=7), este será realizado 3 veces por semana durante un mes, el grupo control (n=7) y el grupo inmovilizado (n=6) solo deberán asistir a la primera sesión de evaluación, y una evaluación post intervención, todos los sujetos a excepción del grupo control deberá usar un cabestrillo durante 8 horas diarias durante un mes en la extremidad superior no dominante, Posterior al periodo de inmovilización, se realizara una segunda evaluación con todas las variables ya mencionadas, y se aplicara un protocolo de entrenamiento de fuerza durante un mes, 3 veces por semana, para que la extremidad superior del sujeto que fue inmovilizada pueda volver a su condición de base o mejorar.

3. Beneficios

Usted no se beneficiará por participar en esta investigación de salud. Sin embargo, la información que se obtendrá a partir de estudio será de utilidad para saber más de cerca, los efectos deletéreos causados por la inmovilización, y los efectos del ejercicio contralateral en la inmovilización como una herramienta terapéutica para prevenir los efectos deletéreos de la inmovilización

4. Riesgos

Esta investigación puede presentar diferentes riesgos, ya que el paciente va a estar inmovilizado durante 8 horas diarias por cuatro semanas.

COSTOS

No se efectuarán remuneraciones o pagos a los sujetos del estudio (Movilización u Colación).

5. Confidencialidad de la información

La información obtenida se mantendrá en forma confidencial.

Es posible que los resultados obtenidos sean presentados en revistas y conferencias médicas, sin embargo, su nombre no será conocido.

6. Voluntariedad

Su participación en esta investigación es completamente voluntaria.

Usted tiene el derecho a no aceptar participar o a retirar su consentimiento y retirarse de esta investigación en el momento que lo estime conveniente. Al hacerlo, usted no pierde ningún derecho que le asiste como paciente de esta institución y no se verá afectada la calidad de la atención médica que merece.

Si usted retira su consentimiento, sus muestras serán eliminadas y la información obtenida no será utilizada.

7. Preguntas

Si tiene preguntas acerca de esta investigación Kinesiológica puede contactar o llamar a los Investigador responsables del estudio:

- Felipe Pérez Carrasco. Teléfono : +56977688526
- Carlos Ramírez Galleguillos. Teléfono: +56990897464

Este estudio fue aprobado por el Comité Ético Científico de la Universidad Finis Terrae. Si tiene preguntas acerca de sus derechos como participante en una investigación médica, usted puede escribir al correo electrónico: cec@uft.cl del Comité ético Científico, para que el presidente, Dr. Patricio Ventura-Juncá lo derive a la persona más adecuada.

8. Declaración de consentimiento

- Se me ha explicado el propósito de esta investigación, los procedimientos, los riesgos, los beneficios y los derechos que me asisten (o a mi hijo/hija, familiar o representado) y que me puedo retirar (o a mi hijo/hija, familiar o representado) de ella en el momento que lo desee.
- Firmo este documento voluntariamente, sin ser forzado/forzada a hacerlo.
- No estoy renunciando a ningún derecho que me asista (o a mi hijo/hija, familiar o representado).
- Se me comunicará de toda nueva información relacionada con el estudio del fármaco / equipo / otro que surja durante la investigación y que pueda tener importancia directa para mi o mi representado (o a mi hijo/hija, familiar o representado).
- Se me ha informado que tengo el derecho a reevaluar mi participación (o la de mi hijo/hija, familiar o representado) en esta investigación según mi parecer y en cualquier momento que lo desee.
- Al momento de la firma, se me entrega una copia firmada de este documento.

Firmas

Nombre:

Participante:

Firmas de los investigadores

Felipe Perez Carrasco

Carlos Ramírez Galleguillos

Anexo 2

Pauta de Evaluación:

Nombre: Fecha:

Edad:

Peso: Grupo:

Talla:

Lateralidad:

Fuerza

N° intentos	1 RM (kg)	Fuerza isométrica(newton) izquierda /derecha	
1			
2			
3			
60%			
10%			

Fatigabilidad

Fatigabilidad % Izquierda/ derecha	

Perímetro muscular

Extremidad	ES I°			ES D°		
A 3cm del codo						
A 6cm del codo						
A 9cm del codo						
Hombro en abd 90° y flx de codo 90°						

Kinestesia

Rango total disponible (ángulo)	Angulo determinado	Rango logrado (ángulo) ES D°			Rango logrado(ángulo) ES I°		
50% del rango disponible (ángulo)							
30% del rango disponible(ángulo)							

Balance

Dirección	Distancia lograda ES D° (cm)			Distancia lograda EI I° (cm)		
C7 a punta del dedo medio						
Superomedial						
Medial						
inferolateral						
Total						