



UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA
FACULTAD DE MEDICINA
LIC. EN KINESIOLOGIA Y FISIATRIA
IMPLICACIONES DEL DOLOR EN EL CONTROL MOTOR

Alumno: Oriolo, Nicolás Luis.

Tutor: Russo, Horacio.

Bs. As, Argentina

Índice general

1. Resumen.....	4
2. Problema.....	5
3. Justificación.....	6
4. Objetivos.....	7
5. Introducción.....	8
6. Marco teórico.....	9
6.1 Concepto del control motor.....	9
6.2 Teorías del control motor.....	10
6.2.1 Teoría refleja.....	10
6.2.2 Teoría jerárquica.....	11
6.2.3 Teoría de la programación motora.....	12
6.2.4 Teoría de sistemas.....	13
6.2.5 Teoría de la acción dinámica.....	14
6.2.6 Teoría del procesamiento de distribución en paralelo.....	15
6.2.7 Teoría orientada a la actividad.....	16
6.2.8 Teoría del medio ambiente.....	16
6.3 Fisiología del control motor.....	17
6.4 Dolor.....	25
6.4.1 Teorías del dolor.....	25
6.4.1.1 Teoría de la compuerta.....	25
6.4.1.2 Teoría de la neuromatrix.....	27
7. Diseño metodológico.....	29
8. Resultado.....	30
8.1 Relación entre dolor y movimiento.....	30
8.2 El dolor relacionado a adaptaciones neuromusculares.....	31
8.2.1 Teoría del círculo vicioso.....	32
8.2.2 Teoría de la inhibición de la fuerza.....	34
8.2.3 Teoría de la adaptación al dolor.....	34
8.2.4 Teoría de la respuesta protectora.....	37
8.3 Principios clave de la afección al control motor.....	38
8.3.1 Tarea a realizar y componentes posturales.....	39

8.3.2	Balance entre movimiento y estabilidad.....	39
8.3.3	Interacción entre elementos pasivos, activos y sensoriales.....	40
8.3.4	Variabilidad de movimiento.....	42
8.3.5	El sistema sensorial provee la información para guiar y controlar el movimiento.....	44
8.3.6	El control motor varía según individuos.....	44
8.4	Control motor en el ejercicio y el dolor.....	45
8.5	Representación cortical.....	47
8.6	Propiocepcion.....	50
8.7	Patrón de actividad muscular.....	51
9.	Conclusión.....	54
10.	Discusión.....	55
11.	Bibliografía.....	57

1. Resumen

En el presente trabajo se realizó una búsqueda y revisión de artículos, bibliografía y avances científicos en el estudio y la concepción del control motor detallando su relación directa con el dolor musculoesquelético y como se ve afectado el control motor o control sensorio motor ante la presencia de este. El objetivo del mismo fue resumir la información encontrada de forma concisa, pero detallada, para que nosotros como agentes de salud tengamos en cuenta al momento de la rehabilitación de nuestros pacientes los puntos de vista necesarios para idear el plan de rehabilitación. Se hallaron múltiples teorías, principios, bibliografía y puntos de vista que refieren la interacción entre el control motor y el dolor desde lo neuromusculoesquelético hasta el procesamiento y alteración de engramas motores, planificación motora y conducta biopsicosocial de la persona, detallando el complejo sistema que se ve alterado de forma altamente individualizada junto con una gran variabilidad, dándose a conocer que los planes de rehabilitación deben ser únicos y adaptarse al contexto y funcionalidad de la persona para su dolor ya sea agudo o de transición a dolor crónico.

Palabras clave: Dolor neuromusculoesquelético, control motor, control sensoriomotor, variabilidad, adaptaciones neuromusculares.

2. Problema

En el estudio del control motor se pueden dividir dos categorías como puede ser el control motor asociado a la postura y el control motor asociado al movimiento, el movimiento es una herramienta terapéutica que nosotros como kinesiólogos utilizamos en el tratamiento de nuestros pacientes, desde el área traumatología para el reacondicionamiento, reeducación y rehabilitación de lesiones como puede ser una fractura, un desgarró o un esguince, hasta su utilización en el área neurológica para el tratamiento de pacientes con accidentes cerebro vasculares con la utilización de ejercicios.

Estos pacientes pueden presentar cierta desconfianza al momento de la realización de ejercicios debido que presentan kinesiofobia o miedo al movimiento debido al miedo al dolor y la inseguridad que estos le generan, de esta forma pudiendo afectar al control motor creando respuestas mal adaptativas que lo único que van a generar es la perpetuación de esa sensación no pudiendo progresar con nuestros objetivos terapéuticos, abriendo las cuestiones a:

- ❖ Qué mecanismos subyacen dichas interacciones?
- ❖ Como nosotros como agentes del movimiento podemos intervenir?

Estas preguntas son de relevancia cuando nuestro objetivo es apoyar a la persona a que mejore hasta el momento del alta kinesica. Tenemos que aprender cómo influye el dolor al control motor desde todos los puntos de vista y teoría posible debido que el paciente es altamente variable y completamente individualizado, necesitamos todas las herramientas posibles para lograr un correcto accionar kinesico.

3. Justificación

El dolor suele ser de los principales motivadores de una persona para la búsqueda de asistencia médica y su posible derivación a la realización de sesiones de kinesiología. Nosotros, como agentes de salud, trabajamos con la fisioterapia y con el movimiento para cumplir con nuestros objetivos en rehabilitación como pueden ser la disminución del dolor y la recuperación de la función por medio de la reeducación del movimiento. El control motor y el aprendizaje motor es parte de nuestras herramientas kinésicas y es fundamental nuestro trabajo con su utilización. Saber como el control motor es afectado por el dolor en sus estadios, como puede ser el dolor agudo, sub-agudo y crónico, es importante para nuestro accionar y la elaboración de un plan de tratamiento basado en fisioterapia y especialmente en ejercicio. Las adaptaciones neuromusculoesqueléticas que se pueden producir de esta interacción son de accionar kinesico directo para el mejoramiento a corto plazo y lograr beneficios en respuestas adaptativas beneficiosas logrando que no se produzcan respuestas mal adaptativas del control motor perjudicando a una transición de dolor agudo a dolor crónico.

Finalmente teniendo los conocimientos de cómo estos conceptos se relacionan entre sí, para la inclusión en nuestro emplear kinesico siendo fundamental para el mejoramiento de la persona y su entorno biopsicosocial en ausencia del dolor y la readaptación motora con el recuperamiento de la funcionalidad y calidad de vida.

4. Objetivos

- Explicar la relación entre el dolor y la disfunción del control motor.
 - ❖ Plantear las bases de la relación entre el dolor y el control motor
 - ❖ Identificar los principios clave de la afección del control motor en personas con dolor.
 - ❖ Indicar como el control motor en el ejercicio afecta al dolor.
 - ❖ Verificar las alteraciones en la representación cortical del movimiento en el dolor.
 - ❖ Indicar la alteración de la propiocepción en el dolor.
 - ❖ Identificar los patrones de activación muscular alterados.

5. Introducción

El dolor suele ser la principal fuente de consulta para la búsqueda de atención kinesiológica. El entendimiento de cómo el dolor afecta al movimiento y al control motor se ha desarrollado desde las teorías que lo simplifican desde un tradicional modelo de daño sobre los tejidos a uno que incluye los comportamientos motores en respuesta a la cognición e individualidad de cada persona, y los mecanismos que se produce. La variabilidad de las respuestas neuromusculares en respuesta al dolor impacta de formas diferentes a la actividad y a la función siendo de suma importancia para nuestro trabajo en rehabilitación. El dolor causa cambios en la coordinación según el movimiento funcional, esta interacción entre el dolor y el control motor o control sensorio-motor depende según de la tarea a realizar alterando incluso el tiempo de activación intramuscular e intermuscular del patrón de movimiento elegido. El sistema nervioso central responde al dolor de forma compleja alterando el comando motor e individualizando la respuesta motora al contexto biopsicosocial de la persona. Esta interacción se debe por que el dolor altera el control motor hasta la planificación del movimiento e individualizando la tarea que la persona tiene que realizar. (Cook, 2010).

6. Marco teórico

6.1 Concepto del control motor

Según Anne Shumway-Cook (2019) este concepto está definido como el estudio de la causa y naturaleza del movimiento, este se refiere a dos elementos. El primero se asocia con la estabilización del cuerpo en el espacio, el control motor aplicado al control de la postura y el equilibrio. El segundo se relaciona con el desplazamiento del cuerpo en el espacio, el control motor aplicado al movimiento.

Sus áreas de estudio se engloban en tres zonas las cuales son: el estudio de la acción, en este se describe un movimiento dentro del contexto de la realización de una acción particular. Como resultado, usualmente el control motor se estudia en relación con acciones o actividades específicas, tales como la marcha. El estudio de la percepción, debido que el movimiento se origina de la interacción de múltiples procesos, que incluyen aspectos perceptivos, cognitivos y motores. Las actividades se realizan dentro del contexto de un ambiente. Los sistemas aferentes proporcionan información sobre el cuerpo y el ambiente siendo esenciales para la capacidad de actuar de forma efectiva dentro de un entorno. Por último, el estudio de la cognición debido que generalmente un movimiento no se realiza sin un propósito, los procesos cognitivos son fundamentales para el control motor detallando la importancia de la atención, la motivación y los aspectos emocionales, base de la determinación de propósitos u objetivos. El control motor incluye los sistemas perceptivos y de acción, organizados para alcanzar dichos objetivos.

Aunque estos aspectos o áreas pueden ser estudiados de forma aislada, se cree que la verdadera naturaleza del control motor no puede alcanzarse sin una síntesis de la información de cada uno de ellos. Dando como resultado la interacción del individuo con los

medios que se desenvuelve o las actividades que realiza (Imagen en anexo 1). (Shumway-Cook, 2019).

6.2 Teorías del control motor

6.2.1 Teoría refleja

Las investigaciones de Sherrington formaron las bases para esta teoría. Para Sherrington, los reflejos eran los componentes básicos del comportamiento complejo, trabajando juntos en la secuencia del movimiento para lograr un propósito común.

Sherrington realizó experimentos en gatos, perros y monos para mostrar la existencia de los reflejos y para describirlos y definirlos cuidadosamente. La concepción de un reflejo requiere tres estructuras diferentes, estas son: un receptor, una vía nerviosa (un conductor) y un efector. Sherrington continuó describiendo el comportamiento complejo en función de reflejos compuestos y su combinación sucesiva o encadenamiento.

Concluyendo que con un sistema nervioso sano, la reacción de sus diversas partes, los reflejos simples, se combina en acciones mayores, las cuales contribuyen el comportamiento del individuo como un todo.

Las limitaciones de esta teoría se centran en el que el reflejo no puede ser considerado como una unidad básica del comportamiento si se reconocen tanto los movimientos involuntarios como los movimientos voluntarios como formas aceptables de conducta, ya que el reflejo debe ser activado por un agente externo.

Otra característica es que no explica ni predice adecuadamente aquel movimiento que ocurre en ausencia de un estímulo sensorial.

Aun otra limitación es que la teoría no comprende los movimientos rápidos, o sea, las secuencias que suceden muy rápidamente como para permitir el feedback sensorial del movimiento anterior para producir el siguiente.

Una limitación adicional es que el modelo de encadenamiento de reflejos no explica el hecho de que solo un estímulo pueda resultar en respuestas variadas que dependen de un contexto y de los comandos descendentes.

Finalmente, la sucesión de reflejos no explica la capacidad de realizar movimientos nuevos, los cuales reúnen combinaciones únicas de estímulos y respuestas según los métodos aprendidos previamente. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.2 Teoría jerárquica

Esta teoría indica que el control motor surge de reflejos que están envueltos en los niveles de organización jerárquica del sistema nervioso central.

En esta teoría Hughlings Jackson, sostenía que el cerebro tiene niveles de control superior, medio e inferior, que corresponden a las áreas de asociación superiores, a la corteza motora y a los niveles espinales de función motora.

En general, el control jerárquico se define como una estructura organizacional de mayor a menor, es decir, cada nivel consecutivamente superior ejerce control sobre el nivel menor.

En la década de 1920, Rudolf Magnus comenzó a explorar la función de diferentes reflejos dentro de distintas partes del sistema nervioso. Descubrió que los reflejos controlados por los niveles inferiores de la jerarquía neural solo están presentes cuando se dañan los centros corticales. Estos resultados fueron interpretados mas tarde para indicar que los reflejos son parte de una jerarquía del control motor, en la cual los centros superiores normalmente inhiben estos centros inferiores de reflejo. Posteriormente se utilizaron los conceptos investigados por Magnus para explicar el desarrollo de la movilidad humana en niños y adultos.

El desarrollo motor normal fue atribuido a la creciente corticalización del sistema nervioso central que produjo la aparición de niveles superiores de control sobre los reflejos de nivel inferior.

Se afirma de la importancia de los elementos de organización jerárquica en el control motor. Se modifico el concepto de orden estricto, donde los centros superiores siempre están al mando. Las ideas actuales describen el control jerárquico dentro del sistema nervioso que reconocen el hecho de que cada nivel puede actuar sobre los otros (superiores e inferiores) dependiendo de la actividad. Además, se modifico la función de los reflejos en el movimiento, siendo ya no considerados el único determinante del control motor, si no que solo uno de los variados procesos esenciales para la generación y el control del movimiento.

Una de las limitaciones de la teoría jerárquica es que no puede explicar el predominio del comportamiento reflejo en adultos normales en ciertas situaciones como el reflejo de triple flexión del miembro inferior. Este siendo un reflejo que se encuentra dentro del nivel inferior de la jerarquía que domina la función motora. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.3 Teoría de la programación motora

Las teorías más actuales sobre el control motor han expandido nuestro entendimiento del sistema nervioso central. Se han alejado de las ideas de que es un sistema principalmente reactivo y han comenzado a explorar la fisiología de las acciones en vez de la naturaleza de las reacciones

La teoría de programación motora para el control motor indica la generación de patrones centrales que pueden generar por si mismos movimientos tan complejos como el caminar, trotar.

El termino programa motor puede ser utilizado para identificar un generador de patrón central (GPC), es decir, un circuito neural especifico como el que produce el caminar, en este caso el termino representa conexiones neurales estereotipadas e inmodificables, pero el termino también es empleado para describir los programas motores de nivel superior que representan acciones y organizados jerárquicamente, los cuales almacenan los patrones para generar

movimientos a fin de que podamos realizar las actividades con variados sistemas efectores.

Una limitación de esta teoría es que un programa motor central no puede ser considerado como el único determinante de la acción. Por ejemplo, dos comandos idénticos para los flexores de codo producirán movimientos distintos dependiendo de la posición del brazo modificando el movimiento a realizar. Además, si los músculos están fatigados, comandos similares darán resultados distintos. Por lo tanto el concepto de programa motor no considera el hecho de que el sistema nervioso debe tener en cuenta las variables musculoesqueléticas y ambientales para lograr el movimiento. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.4 Teoría de sistemas

Esta teoría fue desarrollada mediante las investigaciones de Nicolai Bernstein viendo al cuerpo como un sistema sujeto a la interacción de fuerzas externas, como puede ser la gravedad y fuerzas internas, como la inercia. Durante el transcurso de cualquier acción, las cantidades de fuerza que actúan en el cuerpo cambiarán lo que ocasiona que el mismo comando central ocasione movimientos distintos debido a la interacción entre fuerzas externas y las variaciones de las condiciones iniciales.

Bernstein sugirió que el control del movimiento integrado probablemente se distribuía a través de muchos sistemas interactivos que trabajan en cooperación para lograr el movimiento. Esto dio origen al concepto de modelo distributivo del control motor.

Al describir al cuerpo como un sistema mecánico, Bernstein indicó que tenemos muchos grados de libertad (posibles variaciones en el movimiento) que necesitan ser controlados, siendo la coordinación del movimiento el proceso de dominar los grados de libertad redundantes del organismo en movimiento.

Como una solución para el problema de los grados de libertad del movimiento, Bernstein propuso que los controles jerárquicos

existen para simplificar el dominio de los múltiples grados de libertad del cuerpo. De esta forma, los niveles superiores del sistema nervioso activan y controlan a los inferiores, los cuales activan las sinergias o grupos de músculos obligados a actuar juntos como una unidad. De esta forma, Bernstein creía que las sinergias tenían un papel importante en la solución del problema a los grados de libertad.

La única limitación a esta teoría se encuentra en lo poco centrada a la interacción con el ambiente que se encuentra, siendo el control motor parte esencial con la misma (Shumway-Cook, 2019).

6.2.5 Teoría de la acción dinámica

Este enfoque proviene de un estudio más amplio de las dinámicas o sinergias dentro del mundo físico. Esta teoría indica el fenómeno de autoorganización siendo fundamental para los sistemas dinámicos. Afirma que cuando un sistema de partes individuales se une, sus elementos se comportan colectivamente en forma ordenada. No hay necesidad de un centro superior que envíe las instrucciones o comandos para lograr una acción coordinada. Este principio aplicado al control motor propone que el movimiento surge como resultado de elementos que interactúan, sin necesidad de un comando específico o de programas motores en el sistema nervioso.

La acción dinámica o perspectiva sinergista también trata de encontrar descripciones matemáticas de estos sistemas autoorganizados. Las características esenciales examinadas son las llamadas propiedades no lineales, como puede ser el proceso de pasar de una marcha normal al trote y finalmente a la carrera. Esto permite la predicción de las formas en que un sistema dado actuara en diferentes situaciones.

Una limitación de este modelo puede ser la suposición de que el sistema nervioso tiene un papel insignificante y que la relación entre el sistema físico y el ambiente donde opera determina principalmente el comportamiento del animal. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.6 Teoría del procesamiento de distribución en paralelo

La teoría del procesamiento de distribución en paralelo (PDP) describe la forma en que el sistema nervioso procesa la información para actuar. Esta teoría ha sido empleada para explicar cómo adquirimos nuevas habilidades, debido a que predice los procesos utilizados por el sistema nervioso durante el desarrollo o la adquisición de nuevas habilidades.

La teoría del PDP es consistente con el conocimiento actual en la neurofisiología, el cual postula que el sistema nervioso opera tanto mediante procesos en serie, en una única vía, como procesos en paralelo, o sea, interpreta la información a través de vías múltiples que la analizan simultáneamente en diferentes formas.

Al igual que en el sistema nervioso, la eficacia del desempeño en este sistema depende de dos factores. El primero es el patrón de conexiones entre capas y el segundo la fuerza entre las conexiones individuales. Esto permite determinar las uniones más eficientes para realizar una función particular a través de la propagación retrograda. Mediante este proceso, se determina la respuesta más eficiente desde la capa de la neurona motora. Comienza con una serie aleatoria de estímulos al sistema, este luego calcula la diferencia entre la actividad deseada y la real para la unidad de respuesta. Dicha diferencia es llamada error, que se utiliza para modificar las conexiones entre aquellos elementos que los han producido. Este proceso se realiza una y otra vez, simulando la repetición de una actividad. Con este proceso, el sistema se autocorriga hasta resolver el problema de la respuesta.

Como única limitación de esta teoría es que no trata de ser una réplica exacta del sistema nervioso y, por lo tanto, muchas de sus funciones no imitan el procesamiento de la información durante el desempeño y el aprendizaje. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.7 Teoría orientada a la actividad

Esta teoría planteada por Peter Greene, indica que es necesario un entendimiento del control motor que requiere más que comprender los circuitos, necesita una concepción de los problemas que el sistema nervioso central debe resolver para llevar a cabo tareas motoras. Un enfoque orientado a las actividades para el estudio del control motor proporcionaría la base para una imagen más coherente del sistema motor.

El método orientado a la actividad se basa en el reconocimiento de que el objetivo del control motor es el dominio del movimiento para realizar una acción particular, no para efectuar movimientos por el solo hecho de moverse. Este planteamiento supone que el control del movimiento se organiza alrededor de comportamientos funcionales dirigidos a objetivos como caminar o hablar.

Una limitación de la teoría orientada a la actividad es la falta de un acuerdo consistente acerca de cuáles son las actividades fundamentales del sistema nervioso central. (Shumway-Cook, 2019).

6.2.8 Teoría del medio ambiente

Esta teoría fue desarrollada por el psicólogo James Gibson, comenzando con la idea de cómo nuestros sistemas motores nos permiten interactuar mas efectivamente con el medio ambiente a fin de tener un comportamiento orientado al objetivo. Su investigación se centro en la forma en que detectamos la información del medio ambiente pertinente para nuestras acciones y en como la utilizamos para controlar nuestros movimientos.

Las actividades necesitan información perceptiva específica para un desempeño dirigido al objetivo dentro de un ambiente determinado. La organización de la acción es especial para la actividad y el medio ambiente en que se realiza.

Gibson recalco la importancia de la percepción en el sistema motor para la realización de la tarea, la percepción se centra en detectar aquella información del medio que apoyara las acciones necesarias para alcanzar el objetivo. Desde una perspectiva del ambiente, es importante determinar como un organismo descubre que información es relevante para la acción, que forma toma y como se utiliza para modificar y controlar el movimiento.

Esta perspectiva permite ver al sistema nervioso como un sistema sensorial-motor, que reacciona a las variables del entorno, a la idea de que es un sistema que percibe la acción, que explora activamente el ambiente para cumplir sus objetivos.

La limitación de esta teoría es que tiende a dar menos énfasis a la organización y función del sistema nervioso, el cual conduce dicha interacción. (Shumway-Cook, 2019).

6.3 Fisiología del control motor

El control motor, como se dijo anteriormente, es el estudio de la causa y naturaleza del movimiento, surge de la interacción de sistemas perceptivos y de acción, con la cognición, que afecta ambos sistemas en distintos niveles. Dentro de cada uno de ellos encontramos diversos niveles de procesamiento (Imagen en anexo 2).

Tomando como referencia las teorías del control motor más actuales como la teoría del procesamiento en paralelo, la teoría de sistemas y teoría de la acción dinámica, el control del movimiento se alcanza a través del esfuerzo cooperativo de diversas estructuras cerebrales, las cuales se organizan tanto jerárquicamente como en paralelo. Esto significa que una señal puede ser procesada jerárquicamente, dentro de los niveles ascendentes del sistema nervioso central. Por otra parte, dicha señal puede ser procesada simultáneamente en distintas estructuras cerebrales, indicando un

procesamiento de distribución en paralelo. Ambos procesos ocurren en los sistemas perceptivos y de acción del control del movimiento.

Dentro del sistema perceptivo, los centros cerebrales superiores integran los estímulos provenientes de los diversos sentidos e interpretan la información sensorial entrante. En parte de la acción del control motor, los niveles cerebrales superiores forman planes y estrategias motoras para la acción. De este modo, los niveles superiores pueden seleccionar una respuesta específica para realizar una actividad particular.

La función cerebral subyacente al control motor se divide en varios niveles de procesamiento como la medula espinal, el tronco encefálico, el cerebelo, el diencefalo y los hemisferios cerebrales, incluyendo la corteza motora y los ganglios basales que estos a su vez se organizan en varios sistemas los cuales son:

❖ **Sistemas aferentes:** Los impulsos sensoriales actúan como los estímulos para el movimiento reflejo organizado en el nivel de la medula espinal del sistema nervioso. Además la información sensorial cumple una función vital en la modificación de respuestas motoras producidas por la actividad de los generadores de patrones espinales. Asimismo, en el nivel de la medula, la información sensorial puede cambiar el movimiento ordenado por los comandos originados en los centros superiores del sistema nervioso. Esto se da debido a que los receptores sensoriales se reúnen en las neuronas motoras, consideradas la vía común final.

➤ **Sistema somatosensorial:** Integrado por los receptores periféricos como el huso neuromuscular ubicado en el vientre muscular consistiendo en fibras especializadas intrafusales, rodeadas por tejido conectivo o fascia. El huso neuromuscular envía fibras al sistema nervioso por medio de fibras aferentes (mediante el grupo aferente Ia y grupo II) y es controlado por el sistema nervioso central a través de fibras eferentes. Ambas fibras son inervadas por neuronas motoras gamma, cuyos cuerpos celulares se encuentran dentro del asta anterior de la medula espinal, entremezclados con las

neuronas motoras alfa que inervan las fibras extrafusales. Estas se encargan del reflejo miotático o el reflejo de estiramiento, cuando un músculo se estira, se estira su huso neuromuscular, estimulando las fibras aferentes Ia. Estos poseen conexiones con las neuronas motoras alfa, las cuales activan el músculo que inervan y sinergias musculares. También estimulan las interneuronas inhibitorias Ia, que posteriormente inhiben las neuronas motoras alfa de los músculos antagonistas.

El órgano tendinoso de Golgi (OTG) es otro de los receptores periféricos el cual tiene forma de huso y se ubica en la unión tendón-músculo. La información aferente del OTG es llevada al sistema nervioso mediante las fibras aferentes Ib y a diferencia de los husos neuromusculares, no poseen conexiones eferentes. Este receptor es sensible a los cambios de tensión producidos por el estiramiento o la contracción de un músculo, encargándose de inhibir su propio músculo y estimular el músculo antagonista.

Los receptores articulares están compuestos por las terminaciones de Ruffini, de Pacini, los receptores de ligamentos y las terminaciones libres. La función que desempeña la información aferente de estos receptores es a la percepción de nuestra posición en el espacio o la propiocepción. El sistema nervioso central determina la posición articular registrando cuales receptores se activan al mismo tiempo, lo que permite la determinación de la posición articular exacta.

Los receptores cutáneos son los mecanoreceptores, los termoreceptores y los nociceptores. La información del sistema cutáneo también es utilizada de diferentes formas en el procesamiento jerárquico. En los niveles inferiores, la información cutánea origina movimientos reflejos. También esta información asciende y proporciona información relacionada con la posición del cuerpo.

Las vías ascendentes transmiten la información aferente del tronco y extremidades enviándolas a la corteza sensorial y al cerebelo. Estas se dividen en dos vías que transmiten la información

en paralelo, estas son el sistema lemniscal medial de la columna dorsal compuesto por neuronas de raíces dorsales enviando información sobre la sensibilidad de los músculos, tendones y articulaciones a la corteza somatosensorial y a otros centros cerebrales superiores.

La otra vía es el sistema anterolateral, el cual, consiste en los tractos espinotalámicos, espinoreticular y espinomesencefálico. Estas fibras se entrecruzan al entrar a la medula espinal y luego ascienden a los centros del tronco encefálico. Este sistema tiene dos funciones, el primero es la transmisión de la información de tacto y presión, la segunda función es la transmisión de los factores térmicos y de la nocicepción a los centros cerebrales superiores.

La información proveniente de ambos tractos somatosensoriales ascendente, atraviesa el tálamo, localizado en el diencefalo. Este es uno de los centros de procesamiento principales del cerebro. Todos los sistemas sensoriales envían inputs al tálamo, que luego retransmite esa información a la corteza. Algunas regiones talámicas no son de carácter sensorial. Estas regiones tienen funciones motoras o realizan algún tipo de tarea de integración.

La corteza somatosensorial es una de las principales áreas de procesamiento para todas las modalidades somatosensoriales y marca el principio de la conciencia de la sensación somática. Se divide en dos áreas principales que son la corteza somatosensorial primaria y corteza somatosensorial secundaria. En esta área es donde comenzamos a ver el procesamiento de modalidad cruzada. Esto significa que ahora la información de los receptores se integra para entregarnos la información sobre el movimiento de una determinada área del cuerpo. Esta información se coloca sobre un mapa de todo el cuerpo el cual se distorsiona debido que ciertas áreas poseen una mayor representación cortical que otras partes como puede ser las manos, los pies y la boca. Este es el comienzo del procesamiento espacial, esencial para la coordinación motora en el espacio. Los movimientos coordinados requieren información de la

ubicación del cuerpo en relación al entorno y de la posición de una sección del cuerpo en relación a las otras.

La sensibilidad de contraste permite la detección de la forma y límites de los objetos. La corteza somatosensorial procesa la información entrante para aumentar la sensibilidad de contraste a fin de que podamos identificar y discriminar con más facilidad los diferentes objetos mediante el tacto.

En las cortezas de asociación comenzamos a ver la transición de la percepción a la acción. También vemos la interacción entre el procesamiento cognitivo y el perceptivo. Las cortezas de asociación, ubicadas en los lóbulos parietal, temporal y occipital, incluyen centros para el procesamiento sensorial y el cognitivo de nivel superior. Dentro de estas cortezas se encuentran áreas de asociación, las cuales, unen la información de los distintos sentidos. (Shumway-Cook, 2019).

➤ Sistema visual: La visión sirve al control motor a modo de permitirnos identificar objetos en el espacio y determinar su movimiento. Cuando la visión tiene esta función es considerada un sentido exteroceptivo. Pero la visión también nos entrega información sobre donde está nuestro cuerpo en el espacio, sobre la relación de una parte del cuerpo con la otra y del movimiento del cuerpo. Cuando ejerce esta función es llamada propiocepción visual, lo que significa que no solo nos entrega información sobre el entorno, sino que también sobre nuestro propio cuerpo.

La diferenciación sensorial es un aspecto clave del procesamiento sensorial que apoya al control motor. Para llevarla a cabo, el sistema visual debe identificar los objetos y determinar si están en movimiento.

La corteza visual primaria ubicada en el lóbulo occipital recibe los estímulos de ambos ojos, posteriormente, las células de respuesta de la corteza visual primaria se proyectan al área 18 de Brodmann. Desde esta área las neuronas se proyectan a la corteza temporal media, a la corteza inferotemporal, y a la corteza parietal

posterior. Las vías centrales de procesamiento visual se prolongan para incluir las células de la corteza visual primaria, situada en el lóbulo occipital y las células de las cortezas visuales de nivel superior, ubicadas en las cortezas temporal y parietal. Las cortezas de nivel superior están implicadas en la integración de la información somatosensorial y visual para la orientación espacial, una parte esencial de toda actividad.

Las células dentro de las vías visuales contribuyen a una jerarquía dentro del sistema visual, donde cada nivel incrementa la abstracción visual. Además, existen vías paralelas a través de las cuales se procesa esta información. Estas vías incluyen las capas magnocelulares (que analizan el movimiento y los detalles generales del “donde”) y las células parvocelulares (que procesan los detalles finos y el color del “que”) del núcleo geniculado lateral. (Shumway-Cook, 2019).

➤ Sistema vestibular: El sistema vestibular es sensible a dos tipos de información, la posición de la cabeza en el espacio y a cambios repentinos en la dirección de los movimientos de la cabeza. Los impulsos vestibulares son importantes para la coordinación de muchas respuestas motoras y nos ayudan a estabilizar los ojos y a mantener el equilibrio postural durante la bipedestación y la marcha.

Al igual que otros sistemas sensoriales, el sistema vestibular puede dividirse en dos partes, los componentes periféricos que consisten en receptores sensoriales como el laberinto membranoso del oído interno, otra parte del laberinto es la coclea, relacionada con la audición. El componente central que consiste en cuatro núcleos vestibulares como el núcleo vestibular lateral, el núcleo vestibular medial, el núcleo vestibular superior y el núcleo vestibular inferior. Una cierta porción de las neuronas vestibulares van desde los receptores sensoriales al cerebelo, a la formación reticular, al tálamo y a la corteza cerebral. (Shumway-Cook, 2019).

❖ **Sistemas de acción:** los sistemas de acción incluyen áreas del sistema nervioso como la corteza motora, el cerebelo y los ganglios basales, los cuales realizan procesamiento esenciales para la coordinación del movimiento.

➤ **Corteza motora:** Se ubica en el lóbulo frontal y consiste en diferentes áreas de procesamiento, entre las que se encuentran la corteza motora primaria, el área motora suplementaria y la corteza premotora. Estas regiones interactúan con las áreas de procesamiento sensorial del lóbulo parietal y también con los ganglios basales y las áreas cerebelosas para identificar donde queremos movernos, planificar el movimiento y para ejecutar las acciones.

Estas tres áreas poseen sus propios mapas somatotópicos del cuerpo. El mapa motor es similar al mapa sensorial en la forma que distorsiona las representaciones corporales, en ambos casos, las áreas que requieren un control más preciso se encuentran más representados a nivel de la corteza.

La función de la corteza motora en el control motor se define por la actividad de neuronas corticoespinales donde la tasa de descarga de las neuronas codifica la fuerza empleada para mover una extremidad y la velocidad de un movimiento. Se encuentran direcciones de movimiento específicas donde cada neurona se activa, aunque cada una respondía a una amplia gama de direcciones, las acciones son controladas por una población de neuronas. La actividad de cada una de las neuronas puede representarse como un vector cuya extensión constituye el grado de actividad en cualquier dirección. Entonces la suma de los vectores de todas las neuronas predeciría la amplitud y dirección del movimiento. Sin embargo, existen muchas vías motoras paralelas para efectuar una secuencia de acción, al igual que existen vías paralelas para el procesamiento sensorial. (Shumway-Cook, 2019).

➤ Áreas de asociación de nivel superior: Estas áreas son importantes para la planificación motora y otros comportamientos cognitivos, como la integración de la información sensorial y la selección de la respuesta motora apropiada.

La corteza prefrontal cumple su función en la planificación de estrategias de las funciones motoras superiores. Esta área se encuentra interconectada con las áreas parietales posteriores y trabajan estrechamente en actividades espaciales que requieren atención. (Shumway-Cook, 2019).

➤ Cerebelo: El cerebelo es una de las tres áreas del cerebro que contribuyen a la coordinación del movimiento, además de la corteza motora y del complejo de los ganglios basales. Su función se relaciona con las conexiones de sus impulsos y respuesta, actuando como un comparador, un sistema que compensa los errores comparando la intención con el desempeño.

Sus impulsos incluyen información de otros módulos del cerebro relacionados con la programación y ejecución de movimientos. Con frecuencia esta información es llamada “copia eferente” cuando proviene de la corteza motora primaria, debido que se sugiere que es una copia directa de la respuesta de la corteza motora hacia la medula espinal. El cerebelo también recibe información del feedback sensorial de los receptores sobre los movimientos a medida que son realizados. Después de procesar esta información, las reacciones van del cerebelo a la corteza motora para perfeccionar el movimiento. (Shumway-Cook, 2019).

➤ Ganglios basales: El complejo de los ganglios basales se compone de un conjunto de núcleos ubicados en la base de la corteza cerebral, los cuales incluyen al cuerpo estriado, donde se ubican el putamen y el núcleo caudado, el globo pálido, el núcleo subtalamico y la sustancia negra.

El complejo de los ganglios basales envía sus respuestas a las áreas de la corteza prefrontal y premotora, involucradas en el procesamiento motor de nivel superior, incluyendo funciones relacionadas con la planificación y control de un comportamiento motor más complejo. Los ganglios basales pueden tener una función en la activación selectiva de algunos movimientos al suprimir otros. (Shumway-Cook, 2019).

6.4 Dolor

El dolor está definido según la Asociación internacional del estudio del dolor (IASP) como una experimentación sensorial y emocional poco placentera asociada a un actual o potencial daño del tejido o descrito en término de daño.

6.4.1 Teorías del dolor

6.4.1.1 Teoría de la compuerta

Melzack y Wall (Melzack R, 1965) propusieron la teoría de la compuerta. Esta teoría es un modelo integrador que tuvo en cuenta los componentes fisiológicos y psicológicos del dolor. La teoría sugiere que existen terminaciones nerviosas especializadas, nociceptores, cuya respuesta se modula en el asta dorsal de la médula espinal. La entrada de estímulos aferentes de gran diámetro y estímulos aferentes de pequeño diámetro se "cierran" en la médula espinal. Estas dos entradas convergen en una neurona de sustancia gelatinosa (SG) en el asta dorsal de la médula espinal, así como en una célula T. La neurona SG es inhibidora de la célula T que inicia las consecuencias del dolor, es decir, las respuestas motoras, sensoriales y autonómicas. La teoría sugiere que existe un equilibrio entre la entrada aferente de diámetro grande y pequeño que, en condiciones normales, favorece una inhibición del sistema y, por lo tanto, no experimenta dolor. La entrada de los nociceptores inhibe la neurona SG, lo que permite que la célula T dispare,

"abriendo la puerta" y, por lo tanto, produciendo dolor. Sugiere además que aumentar la entrada de gran diámetro da como resultado un "cierre de la puerta" al aumentar el disparo de la neurona SG para inhibir la actividad nociceptora y, posteriormente, disminuir el disparo de la célula T para producir una reducción del dolor. Además, propone que este sistema está bajo el control de sitios supraespinales que podrían modular aún más el dolor.

La teoría sugiere que los nociceptores son tónicamente activos. Posteriormente, los estudios neurofisiológicos muestran que los nociceptores no son espontáneamente activos. La teoría también sugiere que los nociceptores son directamente inhibidores de la célula SG, pero una vez más, esto no se ha cumplido, y los nociceptores son realmente excitatorios. La teoría también se basó en gran medida en el concepto de inhibición pre sináptica, para la cual hay una fuerte evidencia que existen mecanismos pos sinápticos responsables de la inhibición en la médula espinal también. Por lo tanto, ha resultado en el reconocimiento de que el dolor es un fenómeno del SNC, que los tratamientos para el dolor deben estar dirigidos no sólo al sistema nervioso periférico sino también a la modulación del SNC, y que el dolor es multidimensional.

6.4.1.2 Teoría de la neuromatrix

Esta teoría propone una red amplia y extensa de neuronas que integra el tálamo, la corteza y el sistema límbico, que inicialmente está determinado genéticamente y luego esculpido por aportes externos (sensoriales), denominado el yo corporal. Esta red imparte un patrón o resultado característico, denominado neurosignature, que se proyecta a las áreas del cerebro para la conciencia del dolor y la salida o el movimiento motor. El patrón de neurosignature es modulado por entradas sensoriales y eventos cognitivos, y como tal es un sistema plástico que resulta en una respuesta individualizada a un estímulo nocivo. Es importante

comprender que el dolor se procesa en el cerebro a nivel cortical donde se produce la conciencia de la sensación. Sin embargo, a menudo ocurre después de la activación de los nociceptores, y se modifica por las estructuras del tronco del encéfalo espinal y subcortical. Además, otros sistemas pueden influir en la actividad neurológica nociceptora y nociceptiva central, incluidas células no neuronales tales como células inmunes circulante y local, hormonas como cortisol, y factores liberados por fibras musculares como el trifosfato de adenosina (ATP) o lactato. Esta neuromatriz del cuerpo mismo está influenciada por múltiples sistemas, que incluyen la entrada directa de los nociceptores, los sitios corticales que participan en la función cognitiva y evaluativa, y funciones sistémicas. Los resultados de la neuromatriz son múltiples y se centran en la percepción del dolor, las acciones directas en respuesta al dolor o las respuestas al dolor relacionadas con el estrés. En conjunto, estos datos representan una red compleja de sistemas que interactúan para modificar e influir en la percepción y respuesta a estímulos nocivos, y explican además cómo el dolor podría persistir en ausencia de los mismos. Múltiples sitios potenciales con la corteza cerebral, así como el tronco del encéfalo y la médula espinal, modulan e integran estímulos nocivos para producir una percepción y una respuesta al dolor. (Melzack R, 2001)

7. Diseño metodológico

Se realizó una revisión narrativa de artículos científicos y bibliografía utilizando el buscador de PubMed.

Utilizando un filtro de fecha de 2011 a 2021 se realizó una primera búsqueda en el buscador científico PubMed con la utilización de los términos Mesh: Movement AND Chronic pain dando como resultado un total de 222 artículos. Se utilizaron los términos Mesh Motor activity AND Chronic pain dando como resultado un total de 185 artículos obtenidos siendo un total de 407 artículos en total los cuales fueron utilizados 18. La filtración de estos artículos fue mediante la lectura del título, mediante los abstracts de los mismo y viendo los autores y referencias de los artículos seleccionados y bibliografía siendo los más relevantes al tema seleccionado. El objetivo de esta fue la detección de los principales autores los cuales fueron: Pascal Madeleine, Kathleen Sluka y Paul Hodges.

Una vez detectado a los autores se realizó una segunda búsqueda en el buscador de PubMed con el nombre de los autores seleccionados, el resultado de dicha búsqueda fue de Pascal Madeleine un total de 43 resultados y 2 utilizados, Kathleen Sluka con un total de 107 resultados y 1 utilizado, y Paul Hodges un total de 95 resultados y 6 utilizados, estos artículos fueron filtrados leyendo los títulos y los abstracts

Por último el resto de información recolectada fue realizada por selección de bibliografía de los artículos leídos y búsqueda manual utilizando la literatura: Control Motor: teoría y aplicaciones prácticas de Anne Shumway-Cook y Grieve's Modern Musculoskeletal Physiotherapy (4° edition).

8. Resultados

8.1 Relación entre dolor y movimiento

El dolor y el movimiento son un fenómeno relevante el cual impacta en las experiencias humanas de muchas formas. Clínicamente nosotros como agentes de la salud, observamos que el dolor produce una gran variedad de adaptaciones motoras desde sutiles compensaciones motoras durante la realización de una tarea como agarrar y prensar un objeto, hasta la completa evitación de un movimiento o actividad que resulte doloroso al hacerse. A pesar que el dolor es una respuesta protectora normal y fisiológica ante una lesión o el estímulo de un posible daño, prolongado o disfuncional, ocasiona adaptaciones neuromusculares en respuesta a ese dolor que podrían contribuir a la pérdida de la función y a la cronicidad en una variedad de condiciones del dolor. Alternativamente el movimiento a menudo esta prescrito para ayuda en la disminución del dolor y restaurar o mejorar la función. El entendimiento entre la relación del dolor y el movimiento puede ser una base para las aproximaciones terapéuticas y kinesiológicas con el fin de la recuperación de la persona y la reducción del riesgo de disfunción en términos a largo plazo como consecuencia de respuestas neuromusculares maladaptativa. Las adaptaciones neuromusculares en respuesta a dolor musculoesqueletico han sido implicadas en la transición de la condición de un dolor agudo a un dolor crónico las cuales pueden dirigir a la disfunción o discapacidad (Sluka, 2018).

Pierobon et al (2017) indican que el dolor provoca una redistribución en la actividad inter e intramuscular que pueden generar distintas alteraciones como rigidez y disminución del rango de movimiento. Estas modificaciones en el control motor se evidencian en el reclutamiento de distintas unidades motoras a nivel periférico, como en áreas del sistema nervioso involucradas en el control del movimiento a nivel central. La principal finalidad de las adaptaciones es disminuir el dolor. En un principio resultan

beneficiosas para dicho objetivo pero tienen efectos perjudiciales a largo plazo, favoreciendo la perpetuación y recurrencia del dolor.

Hodges et al (2019) evidencian las diferencias existentes del control motor en la población con dolor crónico de espalda baja. Se indican que ambos patrones excitatorios como inhibitorios de la actividad muscular pueden resultar de una lesión o nocicepción como también pueden ser de forma anticipatoria al miedo del dolor, esto pudiendo reportarse en un aumento de la actividad de los extensores lumbares en pacientes con dolor siendo de forma variable ya que también se demuestra ningún cambio o incluso una disminución de la actividad muscular. Además se demuestra una alteración en los tiempos de activación tardía de la musculatura estabilizadora como puede ser del transverso abdominal y los multifidos o una activación precoz de la musculatura de los oblicuos abdominales en pacientes con dolor. Aun que las adaptaciones al dolor del control motor se pueden clasificar en un espectro donde por un lado se encuentran las personas donde se prioriza la estabilidad aumentando la excitabilidad de las unidades motoras con un aumento secundario de la contracción muscular; por el otro lado se encuentran las personas con una pérdida del control muscular e inhibición además de la pérdida de la estabilidad y una reducción de la excitabilidad de las unidades motoras con el potencial de aumentar la carga sobre los tejidos poniendo especial incapie en la alta variabilidad e individualidad que presentan las personas ante un mismo problema como puede ser el dolor de espalda baja.

8.2 El dolor relacionado a adaptaciones neuromusculares

Clínicamente, el dolor es a menudo la principal causa de consulta de los pacientes, el cual simultáneamente es una barrera para la prescripción y adherencia de un plan de tratamiento focalizado en el ejercicio terapéutico para contribuir en la

restauración de la función y evitar la atrofia muscular. De momento se encuentran 3 principios que intentan describir la relación entre el movimiento o el control motor y el dolor o lesión. Estas teorías son: un movimiento y una carga subóptimo sobre el tejido puede terminar en una lesión o dolor; una percepción o noción de una lesión o dolor pueden interferir con el output motor en varios niveles del sistema neuromuscular y, un patrón de movimiento alterado en respuesta a una lesión o dolor o la percepción del mismo sirve para proteger la parte del cuerpo afligido (incluyendo un movimiento alterado como una respuesta aprendida o condicionada al dolor o con un movimiento que se presenta inclusive en la ausencia de un estímulo doloroso). Estos conceptos no se presentan de forma individual y pueden superponerse, como ejemplo, una adaptación neuromuscular al dolor puede servir como una respuesta protectora a una lesión o una región dolorosa, desencadenada de una carga excesiva de un tejido subóptimo el cual no estaba preparado.

Existen 4 teorías que ayudan al entendimiento entre la relación del dolor/nocicepción y respuestas motoras comunes sin llegar a profundizar en el aspecto biopsicosocial de lo que influye el dolor al movimiento en el control motor. (Sluka, 2018).

8.2.1 Teoría del círculo vicioso

Esta teoría propone que el dolor va a resultar en un sostenido incremento de la actividad muscular (espasmo muscular) que resulta en una isquemia y acumulación de metabolitos los cuales de forma cíclica van a producir más dolor y disfunción. Este razonamiento proviene de que la acumulación de metabolitos van a estimular al grupo III (A δ mielinizadas) y grupo IV (C no mielinizadas) de aferencia nociceptiva los cuales transmiten la información de dolor desde la periferia hasta el nivel medular y se van a interrelacionar con la motoneurona gamma, conduciendo a un aumento del tono muscular y rigidez mediada por reflejos. Algún ejemplo que se

evidencio con la etiología de esta teoría es la de los puntos gatillos con el aumento de actividad electromiográfica (Sluka, 2018) (Imagen en anexo 3). Las mayores complicaciones que presenta esta teoría incluyen en la evidencia de respuestas musculares variables del dolor inducido en la musculatura de la mandíbula el cual disminuye en lugar de incrementar la actividad electromiográfica en algunas condiciones de dolor crónico donde se demuestra la variabilidad que presenta el control motor entre individuos (Roy, 2018).

Westgaard et al (2001) evaluaron la actividad electromiográfica de la musculatura del trapecio y su tendencia al desarrollo de dolor en dos grupos de trabajadoras mujeres, con bajo impacto y exigencia biomecánica como puede ser estar parado o sentado por muchas horas. Se demostró que la actividad electromiográfica de la musculatura del trapecio fue menor aun en la alta prevalencia de dolor de hombro y cuello en ambos grupos de trabajadoras. Estas medidas son interpretadas por el autor como una disminución en la actividad electromiográfica con un aumento en la prevalencia de dolor de hombro y cuello; argumentando en que trabajadores con trabajos de baja exigencia biomecánica, la actividad baja del trapecio es significativa como un factor de riesgo de dolor de hombro.

Hodges & Tucker (2011) describen que el dolor no tiene un efecto uniforme sobre la excitabilidad de las vías motoras. En términos de la teoría del círculo vicioso, se denota la inconsistencia con la evidencia en la actividad motora variable, como pueden ser inyecciones de solución salina en los humanos pueden aumentar, disminuir o no presentar cambios en la actividad muscular. Aun mas, si la actividad electromiográfica aumenta solo durara el tiempo del estimulo doloroso sin perpetuarse.

8.2.2 Teoría de la inhibición de la fuerza

Esta teoría indica que la fuerza muscular se encuentra inhibida ante la presencia del dolor, el cual se encuentra generalmente aceptado. Las evaluaciones de la fuerza muscular pueden llegar a cuantificar el grado de disfunción (tabla de evaluación de fuerza muscular de Kendall) o pérdida de la fuerza. (Sluka, 2018). La evidencia demuestra el soporte de esta teoría y en contraste con la teoría del círculo vicioso, en el cual en una inyección de una solución hipertónica salina en un experimento de dolor inducido en la región de la rodilla en la zona infrapatelar ocasiono una disminución de la fuerza muscular del cuádriceps con un aumento de la excitabilidad corticoespinal, el cual mejoro tiempo después cuando el efecto de la inyección se termino (Rice et. al, 2015).

8.2.3 Teoría de la adaptación al dolor

Esta teoría propone ambas interacciones entre respuestas motoras facilitas y respuestas motoras inhibitorias dependiendo en su relación a la región dolorosa. Esta teoría reúne ambas teorías, la teoría del círculo vicioso y la teoría de la inhibición de la fuerza muscular. Estos son, el musculo agonista (músculos que producen dolor o movimientos dolorosos) van a demostrar un actividad disminuida o inhibida donde también los músculos antagonistas (los músculos que se oponen a los que presenta la sintomatología) van a demostrar un aumento en su actividad neuromuscular. Se describe en la teoría de adaptación al dolor que el dolor crónico es una manifestación y alteración del comportamiento motor, en adhesión a esto la actividad muscular en y alrededor del sitio de dolor se encuentra alterada durante contracciones isométricas y movimientos sin que resulte en un aumento sistémico de la actividad muscular postural. (Sluka, 2018). (Imagen en anexo 4).

Esta teoría sugiere que se encuentra una alteración en el output neuromotor con una disminución o inhibición del musculo agonista y un aumento de la actividad neuromuscular del antagonista

resultando en una reducción de la fuerza muscular y disminución de la amplitud de movimiento, la velocidad de ejecución además de un desplazamiento protector de la región dolorosa para prevenir dolor o una posible lesión. (Lund et al, 1990).

Hodges & Tucker (2011) describen que la premisa de la teoría adaptativa al dolor se centra en la inhibición de la musculatura que maneja el estímulo doloroso o que producen un movimiento doloroso. En esta se encuentra evidencia contradictoria como puede ser en las medidas de excitabilidad en las vías motoras desde la corteza hasta la motoneurona que son variables, mostrando tanto propiedades excitatorias como inhibitorias en respuestas a inputs del grupo III y grupo IV de aferencia nociceptiva muscular, como se demuestra en el dolor de la musculatura de los flexores del brazo los cuales se muestra una facilitación de las motoneuronas de tanto los flexores como los extensores, contradiciendo a la teoría de adaptación al dolor prediciendo lo opuesto de la musculatura antagonista.

Describen que estas teorías predicen respuestas estereotipadas (Teoría del círculo vicioso y teoría de adaptación al dolor) en el comportamiento musculo motor, pero no es lo observado en algunas situaciones, se demuestran respuestas variables en los patrones adaptativos como puede ser en la musculatura de la columna, donde varios músculos deben ejecutar una misma función siendo respuestas individualizadas según cada individuo, las teorías deben cumplir con el principio de variabilidad. Se propone una teoría con 5 principios las cuales son: la primera es la inclusión de la redistribución en la actividad inter e intramuscular; este aspecto propone que los inputs de las motoneuronas pueden ser desiguales en la redistribución de actividad entre regiones con inter e intramusculares en individuos y la función a realizar, pero con el objetivo de proteger la región dolorosa o lesión. El segundo principio es la adaptación al dolor el cual provoca cambios en el comportamiento motor; explica que la redistribución inter e intramuscular cambia el output de la contracción mecánica muscular, como puede ser la redistribución muscular para mover la región a

arcos de movimientos no doloroso cambiando la dirección de ejecución del movimiento. El tercer principio refiere a la protección frente al dolor o la lesión o la posible amenaza a ello, el cambio en la redistribución de la actividad muscular esta guiado por el cambio en el comportamiento motor en respuesta ante el dolor, lesión o ambos, el cual, el sistema nervioso va a buscar un patrón de movimiento que resulte menos doloroso, esto incluso ocurre en la anticipación de un posible estímulo doloroso o riesgo de lesión. El cuarto principio hace referencia que la adaptación al dolor puede incluir cambios en varios niveles del sistema motor, estos pueden ser los cambios en la excitabilidad de las motoneuronas que pueden verse aumentadas pero con una disminución en de la excitabilidad cortical y un aumento en la inhibición intracortical. El quinto y último principio refiere a que las adaptaciones al dolor pueden tener beneficios a corto plazo, pueden tener consecuencias a largo plazo, esto puede ocasionar incrementos en la carga sobre los tejidos o disminución de la variabilidad trayendo consecuencias en los tejidos compensadores como stress muscular, articular o ligamentario, si bien estos mecanismos no son inmediatos requieren un periodo de mantenimiento en el tiempo y repetición para afectar a la salud de los tejidos, esto puede afectar a la capacidad del sistema nervioso a identificar posibles impactos negativos. Aun que el dolor provee un potente estímulo para cambiar la forma en que nos movemos para proteger la zona afecta o de lesión, la resolución del dolor no provee un estímulo para volver a nuestro patrón de movimiento normal, siendo la recurrencia o persistencia del dolor algo común en este hecho, donde las adaptaciones al dolor fallen en su resolución provocando problemas a largo plazo.

8.2.4 Teoría de la respuesta protectora

Esta teoría es un alternativo modelo el cual describe y explica en varias partes la variabilidad observada en el sistema neuromuscular en respuesta al dolor que no pueden ser del todo incluidas en las otras teorías. La primera parte de esta teoría se refiere a las adaptaciones a corto plazo del sistema neuromuscular en respuesta al dolor que sirve para la protección de la región amenaza o dolorosa. Esta teoría se diferencia de las otras tres debido que no refiere una respuesta directa dolor-motora pero unifica la intención de cualquier respuesta motora se realiza con el objetivo de la protección del dolor, en situación de dolor/lesión. La segunda parte de esta teoría afirma que ante la lesión, dolor o amenaza ocurren un amplio abanico de comportamientos motores desde sutiles redistribuciones entre la actividad intermuscular e intramuscular hasta una evitación completa del gesto motor o movimiento. Como ejemplo, se demuestra que el dolor muscular se encuentra asociado con una disminución en el ratio de descarga (determinante de la fuerza que genera el musculo) de unidades motoras durante una contracción. El comportamiento del ratio de descarga de las unidades motoras se encuentra reducido, sin embargo la fuerza que genera el musculo siguen siendo constante debido a las adaptaciones en el reclutamiento de las unidades motoras no afectadas sin la inclusión de la acción de músculos sinérgicos para efectuar el movimiento. El dolor induce un cambio en el reclutamiento de unidades motoras siendo desigual en el reclutamiento de las unidades motoras en presencia y ausencia del dolor, significando que la descarga del ratio de unidades motoras va a disminuir y unidades motoras adicionales van a ser reclutadas para mantener el ratio de descarga de unidades motoras por ende la fuerza muscular (Hodges et al, 2009). Esta teoría se encuentra en contraposición con el resto debido que se contrapone con el modelo de excitación/inhibición. Esta teoría argumenta que el cambio del output motor (cambios en la fuerza muscular, amplitud de

movimiento, cambios o distribución de la carga, etc) puede tener beneficios reales o percibidos a corto plazo de proteger la parte del cuerpo para un dolor real o anticipado. Sin embargo, este modelo reconoce que estas adaptaciones pueden tener beneficios protectores a corto plazo pero también pueden causar disfunciones con consecuencias a largo plazo provocando la disfunción y aumentando el riesgo de lesión o dolor crónico. Sin más, esta teoría concede la ayuda de los factores biopsicosociales para explicar los cambios individuales de los comportamientos motores, potencialmente afectando a las respuestas neuromusculares en múltiples niveles del sistema nervioso. (Sluka, 2018). (Imagen en anexo 5).

8.3 Principios clave de la afección al control motor

Los cambios del control sensoriomotor o control motor en presencia de dolor y/o lesión presentan un espectro de cambios en compartir la carga muscular entre la musculatura sinérgica o la distribución de la activación muscular para una completa evitación del movimiento o la función desde cambios en la percepción de un input sensorial a una reorganización de la representación del un segmento corporal. Los modelos predicen un aumento sistémico en la actividad muscular con el objetivo de proteger un región dolorosa con un dolor subsiguiente a uno provocado por la isquemia muscular secundario un espasmo muscular (Teoría del círculo vicioso), o una reducción de la amplitud de movimiento y fuerza secundario a una sistémica reducción de la excitabilidad de los músculos que producen un movimiento doloroso y un aumento de la excitabilidad de los músculos antagonistas (Teoría de adaptación al dolor). Si bien estas teorías pueden ser respaldadas, fallan en la consideración de explicar la diversidad y la complejidad de los cambios individuales en el control motor. Nuevas teorías han sido desarrolladas que consideran los puntos clave del control sensoriomotor o control motor

siendo inclusivas de las variaciones individuales en la disfunción en el dolor y la lesión, aparte del desarrollo en la perpetuación del dolor (Hodges P, Falla D, 2015). (Imagen en anexo 6).

8.3.1 Tarea a realizar y componentes posturales

Un primer principio es que el movimiento involucra en su gran mayoría componentes que son indicadores hacia donde guiar el movimiento y componentes que son posturales. Estos dos elementos pueden trabajar en sinergia dependiendo de la función que elaboren como al arrojar una pelota el cual la musculatura del tronco actúa de forma base estable para poder ejercer el lanzamiento con el miembro superior o al correr donde la misma musculatura cambia su acción a una más dinámica, rítmica y cíclica. Ahora bien el dolor puede afectar a la indicación o la tarea a realizar, a los componentes posturales o ambos. (Hodges P, Falla D, 2015).

8.3.2 Balance entre el movimiento y la estabilidad

Esto va a estar determinado por la tarea a realizar y su función a ejercer el movimiento que puede ser desde una marcha que determina un movimiento de la columna para minimización del gasto de energía con transferencia de carga hasta una restricción de la movilidad hacia la estabilidad de la columna para un levantamiento de peso desde el suelo minimizando el brazo de palanca desde la columna. Todo esto va a estar determinado por la tarea o función a realizar y el balance que se debe lograr entre la movilidad y la estabilidad de los componentes musculoesqueléticos como puede ser incluso mantener una postura estática en bipedestación el cual se va a poder apreciar incluso pequeños movimientos.

En estos caso el dolor o la lesión puede estar caracterizada por mucha movilidad o mucha rigidez dependiendo de las necesidades

funcionales de los pacientes y su contexto. (Hodges P, Falla D, 2015).

Pierobon et al (2017) indican que en sujetos con cervicalgia se encontró una alteración en el control motor evidenciada por un aumento en la actividad de la musculatura superficial al realizar contracciones isométricas y actividades funcionales de miembros superiores, mientras que en los músculos profundos la activación fue menor. A nivel cervical, estos cambios son producidos en las contracciones musculares llevan a activar los músculos superficiales para suplantar la función de la musculatura profunda. Sin embargo, estos músculos no están preparados para realizar esta actividad, lo que lleva a mayor fatiga en los músculos ECOM y escaleno anterior en los pacientes con dolor crónico cervical.

8.3.3 Interacción entre elementos pasivos, activos y sensoriales

Como bien indica el título la función motora depende de la interacción y la sinergia entre los elementos estáticos pasivos, los elementos activos y un controlador sensorial como puede ser el sistema nervioso. La modificación de cualquiera de estos elementos va a traer consecuencias al control motor y su interacción entre ellos. Como los elementos pasivos de una articulación como puede ser el tobillo afectara de manera que se compense o se adapte el movimiento a un mayor esfuerzo de coordinación de la rodilla, la cadera y la columna. Los cambios en un músculo a la capacidad de generar fuerza afectara de manera que se compensara utilizando otros grupos musculares o elementos pasivos de sostén, y cambios en la estrategia motora teniendo repercusiones por otros sistemas (pudiéndose evidenciar en una menor co-contracción requiriéndose a compensar con otros segmentos) (Hodges P, Falla D, 2015).

Pieronbon et al (2017) hablan acerca de la preactivación de los músculos cervicales, tanto flexores como extensores, en los movimientos de los miembros superiores donde la secuencia temporal de contracción está determinada por la dirección de la perturbación. Pareciera que este mecanismo se utiliza para mantener la estabilidad de los sistemas vestibular y visual, así como de protección de la columna cervical. En pacientes con dolor crónico cervical, la activación de los flexores profundos del cuello se encuentra retrasada lo cual puede exponer a la columna a mayores fuerzas durante movimientos de los miembros superiores.

Richardson et al (2000) indican que la estabilización de la columna está influenciado por la interacción de tres subsistemas los cuales son el sistema pasivo (estructuras osteoligamentarias), el sistema activo (la musculatura de la columna) y el sistema neural (el control de la musculatura por el sistema nervioso central y periférico). Se describen dos sistemas musculares funcionales relacionados en la estabilización de la columna como el sistema muscular local y el sistema muscular global. Los músculos del sistema local son profundos y anatómicamente cercanos a las vertebrae, siendo capaces de aumentar la estabilidad vertebral segmental. Los músculos del sistema global son los encargados de la generación de fuerza y la función de controlar las cargas externas. El sistema nervioso central se encarga de la preparación y modulación del sistema muscular para el soporte de la columna lumbar y sus segmentos para la actividad funcional y la carga. Se encuentran relaciones entre el dolor de la columna lumbar y déficits del control motor en la musculatura local, notablemente del transversos abdominal y los multifidos, estos músculos pareciera que pierden su capacidad de anticipación en pacientes con dolor lumbar, exhibiendo un retraso en la activación y una pérdida de su acción programada.

8.3.4 Variabilidad de movimiento

La función motora es variable. Esto significa que hay múltiples caminos para realizar nuestros objetivos y diferentes combinaciones de activación muscular de distintas formas coordinadas de segmentos del cuerpo con diferentes estrategias para lograrlo. Esta abundancia motora tiene lados positivos y lados negativos. La variabilidad del movimiento puede ser beneficiosa debido a que comparte la carga de una estructura para que esa misma no esté constantemente cargada, determina una compensación cuando la primera opción deja de ser viable e induce un estado de prueba y error requerida para el aprendizaje motor, en cambio si la variabilidad del movimiento es escasa y está limitada podría inducir a que el mismo tejido este permanente cargado sin poder compensarse aumentando la probabilidad del riesgo de lesión. Ahora si la variabilidad del movimiento es excesiva podría no ser controlada y estar descoordinada cumpliendo la tarea a realizar pero con un mayor gasto de energía y una mayor carga sobre el tejido. (Hodges P, Falla D, 2015).

Pascual et al (2017) evaluaron la influencia del dolor crónico de hombro en 37 participantes, en este estudio se tomaron las medidas de la máxima elevación humeral, máxima velocidad angular, variabilidad del máximo ángulo, variabilidad funcional y VAS para la medición del dolor con un grupo de control de 58 participantes. Se utilizaron estrategias de estabilización y fijación de tronco y codo para evitar estrategias compensatorias. Se demostró que el grupo que presentaba dolor crónico de hombro resultaron en una disminución del de la máxima elevación humeral, disminuyendo el ángulo en que podían mover el hombro y un disminución en la velocidad angular, disminuyendo la velocidad de ejecución pero con un aumento de la variabilidad del movimiento cuando el sistema neuromuscular no puede utilizar estrategias compensatorias para evitar posición dolorosas.

Pascal (2010) indica que la variabilidad motora es una característica del movimiento humano. Cambios en la cinemática y patrones de activación muscular pueden resultar en movimientos similares en términos de desarrollo. Los cambios en la organización mecánica de los grados de libertad de movimiento y la dimensión dinámica del output motor pueden aumentar o disminuir dependiendo de la circunstancia. La variabilidad del movimiento en términos del output motor o rendimiento se aprecia tanto de forma estática o continua como dinámica, esto se refleja en la diversa extensión de adaptaciones motoras funcionales durante la fatiga, en presencia de dolor que resalta los mecanismos reflejos y modulares inhibitorios y excitatorios. En presencia del dolor la cinemática y la variabilidad se encuentra afectada de forma que en una primera instancia se encuentra una disminución de la variabilidad del movimiento y posteriormente se encuentra un aumento de la variabilidad en estadios agudos, a modo de compensación, el cual vuelve a disminuir en estadios subcrónicos y crónicos de dolor (Imagen en anexo 7). En términos de variabilidad motora, el aumento de variabilidad se observa en personas que realizan tareas repetitivas en situación de dolor. Durante el dolor agudo el sistema nervioso central se encuentra confrontado por una información somatosensorial alterada por el input sensorial nociceptivo, esto resulta en un mecanismo motor adaptativo que se centra en la realización de la tarea y el rendimiento sobre la integración y adaptación a la información nociceptiva. El mantenimiento de la tarea en estado agudo de dolor puede verse como un aumento en el rendimiento con respecto a los objetivos marcados por la tarea incluso si esto puede tener un efecto adverso a largo plazo. La adaptación motora en estados agudos de dolor puede ser obtenido al involucrar y probar programas motores que implica nuevas sinergias musculares. Entonces se puede esperar que la variabilidad motor sea más alta en relación con la información sensorial modificada en el dolor agudo, al igual que se demuestra que en trabajadores experimentados cuentan con un amplio abanico de características

motoras lo que promueve una alta capacidad de características motoras variables.

8.3.5 El sistema sensorial provee la información para guiar y controlar el movimiento

Esto pretende indicar que la información acerca del movimiento y la posición proviene de más de una fuente. El sistema nervioso confía en múltiples fuentes de información sensorial con especial hincapié en el peso. Esto provee de la oportunidad para el sistema nervioso de tener otra fuente de información si una ya no está presente, pero también puede presentar el problema de que la fuente de la cual obtiene información no es del todo precisa. (Hodges P, Falla D, 2015).

8.3.6 El control motor varía según individuos

Siendo esta de las características más importantes del control motor es la variación según el individuo. Esto se debe a que dos individuos no usan sus cuerpos de la misma manera y esta particularidad se da en presencia de dolor o lesión. Entre muchos aspectos de la función motora pueden tener cierta similitud entre individuos, hay otros aspectos que no y varían según la anatomía y la biomecánica del individuo como al momento de realizar una sentadilla o un peso muerto. A esto se le suma la experiencia y la exposición al movimiento que tuvo el individuo junto con sus capacidades psicológicas y características cognitivas. Esto ante la presencia del dolor lo que es un tratamiento ideal para un sujeto podría no serlo para otro. Mientras tanto se podría tener un agrupamiento de características que se presenten en los individuos que de no ser presentadas existiría un largo potencial a la variación entre individuos. (Hodges P, Falla D, 2015).

Richardson et al (2000) indican que la recurrencia del dolor y cronicidad del dolor de espalda se centra en la disfunción del control motor y no tanto de un déficit de fuerza, se razona que estas deficiencias deben abordarse específica e individualmente en conjunto con un programa de ejercicios prescritos en pacientes con dolor lumbar.

Osmotherly et al (2019) realizaron una serie de siete pruebas de control sensoriomotor en población de 50 participantes con dolor idiopático de cuello y otros 50 personas asintomáticas, con el objetivo de investigar la correlación entre el control sensoriomotor cervical, la intensidad del dolor y la disfunción de la columna cervical. En este estudio no se encontró diferencia significativa entre los resultados de las pruebas de control sensoriomotor en ambas poblaciones, demostrando que la afección del control motor en el dolor idiopático de cuello puede no producirse.

8.4 Control motor en el ejercicio y el dolor

Seitz et al (2019) realizaron un programa de ejercicio terapéutico diario por tres semanas de la realización de abducción horizontal en pronación (imagen en anexo 8) para facilitar las respuestas neuromusculares de forma que incrementen o reduzcan la actividad muscular para la reducción del dolor y la mejora de la función. El objetivo del estudio fue el seguimiento sobre los impedimentos del control motor realizando una medición electromiográfica de la musculatura escapular, amplitud de movimiento y fuerza, junto con esto el reporte del dolor y la función en 25 individuos con 11 en presencia de dolor y 14 sin dolor lateral de hombro en test activos y resistivos de evaluación muscular. Esta disfunción del control motor se encuentra asociada a una actividad electromiográfica anormal de la musculatura escapular junto con un aumento de la actividad del trapecio superior y una disminución del trapecio inferior y el serrato anterior. El programa de ejercicios utilizado no solo se enfoco en el fortalecimiento de la musculatura

escapular sino que también el ejercicio fue realizado con la utilización de tiempos de contracción y descanso junto con la realización de calidad en el movimiento realizándolo sin compensaciones. Los resultados del estudio demostraron una disminución significativa del dolor en el grupo con dolor lateral de hombro. También que el grupo con dolor lateral de hombro demostraron un significativo aumento en la actividad electromiográfica del trapecio inferior y el serrato anterior en la fase concéntrica y durante la fase excéntrica comparado con el grupo de control. Se cree en el estudio que el aumento significativo en la actividad muscular del trapecio inferior y el serrato anterior resulta en el emplear mayor fuerza o mayor actividad muscular para realizar el ejercicio. Se demostró un significativo aumento de la fuerza en ambos grupos, siendo mayor en el grupo de control, en test de fuerza en flexión, abducción y sin cambios significativos en la fuerza en pronación.

Pierobon et al (2017) indicaron que la actividad de los flexores profundos del cuello se encuentra alterada en pacientes con dolor cervical, generando trastornos en el control motor que podría favorecer las recurrencias y la cronicidad. Para ello se recomienda la utilización de ejercicios de coordinación, fuerza y resistencia para la disminución del dolor y para el mejoramiento de las alteraciones neuromusculares a través del aprendizaje motor progresivo, donde se demuestra de forma significativa la reducción del dolor y la discapacidad o disfunción.

Richardson et al (2000) indican la elaboración de un programa de ejercicios en el dolor lumbar, estos ejercicios deben ser centrados en el control motor, en un entrenamiento de estabilización segmental directamente abordando algunas deficiencias físicas clave en el sistema neuromuscular. Este entrenamiento debe estar basado en controlar el dolor y protegiendo la columna de una reincidencia a la lesión con una restablecimiento y mejoramiento del control muscular para compensar cualquier pérdida de la estabilización segmental por lesión o cambio degenerativo. El metodo basado en el ejercicio se

enfoca en la función específica de la musculatura del tronco para el apoyo y el control segmentario de los pacientes con dolor lumbar, añadiendo y revirtiendo los problemas del control motor en la musculatura local del sistema neuromuscular y restaurando la sinergia entre la musculatura local y la musculatura global.

8.5 Representación cortical

Nngomo et al (2014) investigaron a población con tendinopatía del manguito rotador unilateral y los cambios que provoca en la representación motora a nivel central, para ello utilizaron estimulación magnética transcraneal y la representación motora del infraespinoso de forma bilateral, y ya sea cambios relacionados a la intensidad del dolor, a la duración del dolor y a la disfunción. La tendinopatía del manguito rotador es una de las patologías más comunes del hombro y la reorganización del control motor o control sensoriomotor y la corteza motora pueden explicar los déficits asociados a esta patología y a la cronicidad de los síntomas. Para la realización de este estudio se contó con 39 participantes (18 mujeres y 21 hombres) con tendinopatía del manguito rotador unilateral. Los resultados del estudio indicaron un significativo cambio o asimetría entre los hemisferios cerebrales del infraespinoso, indicando una reducción en la excitabilidad corticoespinal del lado afectado (hemisferio opuesto del hombro afectado) comparada con el lado no afectado. La cronicidad del dolor, pero no su intensidad, parece ser un factor relacionado a la baja excitabilidad de la representación cortical del infraespinoso.

Roy et al (2018) evaluaron la disfunción del control motor en condiciones de dolor crónico. En este estudio se ve como el dolor crónico tiene un componente central que está caracterizado por alteraciones en la estructura y función del cerebro. El objetivo de este estudio fue el entendimiento de cómo el dolor crónico de mandíbula o articulación temporomandibular afecta a la función del cerebro durante el procesamiento de un acto motor y durante el estímulo

termal en el antebrazo. Se utilizó una muestra de 31 individuos, la muestra que presentaban dolor de la articulación temporomandibular fue incluida por 16 sujetos que experimentaban dolor el cual tuviera una duración de más de 6 meses de tiempo, el grupo de control contaba con 15 participantes libres de dolor. Los resultados de este estudio indicaron que los pacientes con dolor crónico experimentaron más dolor que el grupo de control durante la realización del acto motor. Además la medición de la fuerza media empleada por ambos grupos fue mayor en el grupo que presentaba dolor con una diferencia poco significativa junto con la percepción de dolor en ambos grupos. Sin embargo, se encontró que la actividad funcional del cerebro en las regiones como la corteza prefrontal, ínsula y el tálamo fue mayor en el grupo con dolor crónico indicando el acto motor a realizar. La actividad funcional del cerebro en el grupo con dolor crónico fue menor en la realización de la tarea que reproducía dolor. Las observaciones del estudio sugieren que el dolor crónico de la articulación temporomandibular se encuentra asociado a cambios en como el cerebro procesa el acto motor y el dolor. Además se encontró que el grupo con dolor crónico activaron regiones del cerebro adicionales durante la evaluación del acto motor.

Thurm et al (2013) indican que el dolor crónico modifica la función cognitiva y puede derivar en una alteración al esquema corporal el cual fue evaluado en 16 atletas de competición. La capacidad de reconocimiento de los segmentos corporales es un requerimiento de la vida diaria de la persona que le contribuye a la interacción con objetos y para guiar el movimiento siendo parte del control motor de la persona. El esquema corporal es un sistema neural que representa los segmentos corporales con la utilización derivada de múltiples fuentes sensoriales desde distintas partes del cuerpo y es utilizada para guiar el acto motor. El dolor crónico cambia la representación cortical del segmento del cuerpo afectado y altera la forma en el que el cuerpo se desarrolla por el espacio. Los resultados indican que existe una tendencia de excluir la región

afectada en lugar de poner su atención en ella, y que el dolor crónico origina un aumento de la reactividad de la corteza cerebral expandiendo el área cortical relacionada al segmento del cuerpo afectado. Las zonas del cerebro que muestran esta actividad incrementada tienen su lugar en el tálamo y en el área primaria y secundaria de la corteza somatosensorial, esta expansión y actividad de la corteza somatosensorial va a promover la reorganización cortical y pudiendo liderar a una alteración del esquema corporal. Sin embargo en la realización de los test de propiocepción corporal el grupo de control sin presentar dolor y el grupo de los atletas de competición en presencia de dolor crónico no mostró una diferencia significativa, esto pudiéndose deberse al alto nivel de entrenamiento en la percepción corporal y la cinestesia que presentan el grupo de los atletas de competición pudiendo sobrellevar los problemas que el dolor crónico conlleva a la percepción del cuerpo en el espacio.

Hodges et al (2019) comparan las diferencias de la corteza motora primaria de la musculatura profunda y superficial de la columna cervical en sujetos con y sin dolor, resultando en que la población libre de dolor muestra una activación similar de la musculatura profunda y superficial, mientras que en la población con dolor se mostraron una activación menor de las mismas áreas de la corteza cerebral. Además se encuentra una activación mayor en áreas adyacentes de la corteza motora primaria siendo menor en la población libre de dolor especialmente relacionada con la musculatura profunda del cuello el cual mostraban una menor activación durante la acción de flexión de cuello.

Hodges & Schabrun (2012) indican que el dolor puede ocasionar una supresión o una disminución de la excitabilidad de la corteza motora junto con una disminución de periferia de la amplitud de movimiento y la velocidad de ejecución, además de una alteración en la coordinación motora y de la respuesta compensatoria postural. La teoría de la adaptación al dolor predice una disminución en la actividad del o los músculos que producen un movimiento

doloroso, dicha inhibición se puede producir a nivel de la medula espinal o la corteza. Los estudios con la utilización de estimulación magnética transcraneal (TMS) demuestran una disminución en los potenciales motores evocados (MEP) además de una alteración en los intervalos inhibitorios intracorticales cortos (SICI) y de facilitación intracortical (ICF) los cuales producen un alteración de los outputs motores. Se evidencia en situación de dolor agudo inducido con una solución salina hipertónica un aumento de la SICI y una disminución de la ICF siendo ambos complementarios pudiendo contribuir a una reducción del output motor después del dolor que identifican una reducción de las amplitudes de la MEP durante y después de la resolución del dolor.

8.6 Propiocepcion

Sahin et al (2017) Identifican que la propiocepcion es una modalidad sensorial mediada por el sistema articular, muscular y cutáneo de los receptores periféricos proveyendo de un input de información acerca de la posición y el movimiento. La propiocepcion consiente es necesaria para el día a día, las actividades deportivas y las tareas a realizar. La propiocepcion inconsciente participa en la modulación y la coordinación de las contracciones musculares y estabilización de los reflejos articulares. En la articulación del hombro las estructuras neurales y los mecanoreceptores en la capsula y los ligamentos mandan feedback para el control de la actividad de la musculatura del hombro, y este para el posicionamiento y el movimiento de la articulación para su estabilización. Una lesión de las estructuras musculares, articulares o movimientos dolorosos podrían provocar un efecto perjudicial en la propiocepcion. Para ello se realizo un estudio con 61 participantes con impingement subacromial y un grupo de control con 30 participantes. Se encontró que el grupo con impingement subacromial contaban con un déficit de la kinestesia, en la reproducción de una posición pasiva y en la reproducción de un posición activa en todos sus ángulos con la

exclusión de la sensación activa de la posición en el ángulo 0. Además se encontró que el hombro sano de los pacientes con impingement subacromial mostraba un déficit significativo de kinestesia.

Moseley et al (2015) demuestran que se encuentra una alteración de la propiocepción en las personas con dolor crónico idiopático de cuello o columna cervical al realizar test de reposición activa y pasiva de la cabeza en vuelta a posición neutral comparado con personas asintomáticas. Se cree que esta alteración de la propiocepción puede surgir de causas supraespinales. Además se cree que las personas con dolor idiopático de cuello tienen una reducción en el rendimiento implícito de la imaginación motora u observación del acto motor siendo menos precisos comparados con el grupo de control.

8.7 Patrón de actividad muscular

Sjøgaard & Sjøgaard (2014) identifican que la actividad muscular es una piedra angular en la actividad física, causando respuestas mecánicas y metabólicas interrelacionadas con la causa de fatiga muscular, disfunción y dolor. Este último solicita entendimientos de mecanismos neurales y los centros del sistema nervioso central que facilitan o inhiben la percepción del dolor. Contracciones musculares estáticas y repetitivas por periodo prolongado de tiempo ocurre en el cuello y el hombro, como bien el antebrazo se encarga de tareas ocupacionales, como el uso del ratón en la computadora, pueden desarrollar dolor muscular. Los mecanismos causales pueden incluir un reclutamiento estereotipado de unidades motoras de bajo umbral, como pueden ser las fibras tipo I. Los factores agravantes son altas demandas de fuerza combinado con un alto número de repeticiones que implican el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos. Los resultados indican que el desarrollo de estas tareas cotidianas ejerce una gran carga sobre los grupos musculares del antebrazo, no estando preparado para ello.

Las unidades motoras utilizadas indican una alta activación de un específico reclutamiento de unidades motoras en una actividad específica, los patrones de activación muscular imponen una alta carga en un reclutamiento de unidades motoras solo, potenciando el ratio de fuerza que ejercen.

Westgaard (1999) indica que manejos pesados con las manos son considerados como la principal causa de dolor musculoesqueletico en marcos ocupacionales. También posturas sostenidas por mucho periodo de tiempo y trabajos de movimientos repetitivos son aceptados como un factor de riesgo en muchas situaciones de trabajo. Estos factores de riesgo son desarrollados según la parte del cuerpo que se está poniendo en situación de estrés físico como puede ser levantar un objeto pesado, caminando o estando muchas horas parado, y trabajos de tareas repetitivas son importantes predominantes como factores de riesgo del desarrollo de dolor musculoesqueletico junto con los estresores mentales que ello conlleva. En la ergonomía se estima una carga muscular superior al 8-10% de la máxima contracción muscular que no puede ser sostenida en el tiempo. Las cargas musculares a este nivel o superiores son por lo tanto comúnmente consideradas como causas de dolor musculoesqueletico. Sin embargo hay escenarios donde los trabajadores expuestos a cargas más bajas (según la actividad muscular) desarrollan trastornos musculoesqueléticos. También se relaciona al proceso de inducción del dolor con el sobreesfuerzo de las unidades motoras musculares, donde hay un orden de activación de unidades motoras fijas de bajo umbral, donde estas pueden mostrar un patrón de actividad sostenida incluso a niveles bajo de actividad.

Pascal et al (1999) indican que la presencia de dolor en estadio crónico o dolor experimental agudo causan una disminución del ritmo de trabajo del lado dominante y del lado contralateral al dolor, junto con una disminución de la actividad electromiografía superficial de la musculatura del trapecio superior evidenciando una

reorganización de los patrones de actividad muscular y unidades motoras y una disminución en la fuerza muscular, junto con un aumento de la actividad electromiográfica de la musculatura del infraespinoso y una disminución de la actividad electromiográfica del deltoides anterior y medio. También, un aumento de la amplitud de movimiento del brazo del lado afectado en la realización de la tarea funcional evadiendo rango dolorosos de movimiento, además se evidencia cambios posturales activos compensatorios de la posición del brazo en el espacio.

9 Conclusión

El control motor es el control del movimiento y la postura, estos son elementos esenciales en el día a día de las personas el cual se puede ver influenciado por la presencia del dolor siendo una experiencia poco placentera relacionado con un daño real o potencial ocasionando una serie de adaptaciones multifactoriales como pueden ser adaptaciones del sistema neuromuscular maladaptativa en las que se desglosan varias teorías como son la teoría del círculo vicioso, teoría de inhibición de la fuerza, teoría de adaptación al dolor y por ultimo teoría de la respuesta protectora, siendo esta ultima la que mejor abarca desde un punto de vista la variabilidad existente entre individuos con dolor. Estas teorías, teniendo algunas más respaldo que otras, sientan una base de algo más complejo como es esta interacción entre el dolor y el control motor, desarrollándose varios principios de los cuales puede ser abordado dicha interacción, como pueden ser la variabilidad de las respuestas motoras condicionadas por el estadio del dolor y la experiencia previa del individuo, o la relación entre la tarea a realizar y los componentes posturales, o como el control motor varía según individuos junto con la respuesta ante el dolor. Donde se contribuye al refuerzo que el plan de rehabilitación sea individualizado y adaptado al contexto biopsicosocial de la persona con dolor para la modificación de las respuestas maladaptativas del sistema nervioso y la restauración de la funcionalidad de las actividades de la vida diaria y posiblemente deportivas.

Junto con esta interacción del control motor se integra también el efecto del ejercicio que no es más que un movimiento programado y dosificado para la restauración de la función ante la presencia del dolor en cualquiera de sus estadios ya se pueda mover la región afectada o no. Concluyendo que resulta indispensable para la recuperación de la función y proveyendo a la persona de un recurso eficaz para su integración en la rehabilitación de forma activa pero sin llegar a profundizar en los mecanismos de como el ejercicio

según tipo y dosificación puede ayudar en un plan de rehabilitación pudiendo ser objeto de estudio en futuros trabajos. Además de la mejora en la propiocepción, como la falla en la reposición activa de la articulación la sensación del movimiento, y la representación cortical, existiendo una reducción en la excitabilidad corticoespinal y la reorganización de los esquemas corporales con la utilización de distintas regiones de cerebro en el procesamiento del acto motor, los cuales se ven alterados en el paciente con dolor.

Como último punto se analizan la alteración en los patrones de actividad muscular los cuales demuestran un patrón estereotipados de la activación de las fibras musculares de tipo I tendiendo a la fatiga de músculos poco condicionados o no preparados para la realización de la tarea ocasionando una redistribución de los patrones musculares.

En el presente trabajo no se incluyó otro apartado del control motor siendo el aprendizaje motor abriendo posibilidades de estudios como si existe modificación del mismo en la población del dolor, como se podría llegar a modificar o si se puede incluir en un plan de rehabilitación y de qué forma puede contribuir para la restitución de la funcionalidad y la mejora de la sintomatología.

10 Discusión

Este análisis demuestra que la relación existente entre el control motor y el dolor es compleja, teniendo múltiples teorías recopiladas por Sluka, como la teoría del círculo vicioso la cual según los estudios de Hodges y Tucker demuestran que no hay una actividad motora uniforme en situaciones de dolor pudiendo aumentar o disminuir o inclusive no presentar cambios. La teoría de la inhibición de la fuerza apoyada por los estudios de Rice pero que no se presentan en situaciones normales. La teoría de la adaptación al dolor las cuales no se encuentra sustentada por los trabajos de Hodges y Tucker los cuales no predicen respuestas estereotipadas del comportamiento motor pero si respuestas variables de

patrones adaptativos y por último la teoría de la respuesta protectora la cual expresa el principio de variabilidad y el cual el control motor varía según individuos expuesto por Hodges que refiere adaptaciones a corto, mediano y largo plazo que realiza el sistema nervioso ante la presencia del dolor. Además se evidencia el apoyo de los principios del control motor expuestos por Hodges con los trabajos realizados por Pascal y Pascual de la variabilidad del movimiento; los trabajos de Richardson con la interacción de múltiples sistemas activos, pasivos y neurales; junto con los trabajos de Pierobon en el control motor postural y su interacción con el sistema visual y vestibular.

Además se evidencia el apoyo del ejercicio con los trabajos realizados por Seitz el cual se demuestra una disminución del dolor; los trabajos de Pierobon en la mejora de la función y Richardson en los trabajos de especificidad y de globalidad. Los cuales pueden contribuir en el apoyo de la restitución de la propiocepción alterada demostrada en en los trabajos de Moseley y de Sahin junto con el déficit en la representación cortical alterada demostrada en los trabajos de Hodges y Schabrun con la disminución de la excitabilidad de la corteza motora y los trabajos de Hodges demostrando una alteración de la corteza motora primaria en sujetos con dolor y una redistribución de la actividad neural.

Como punto final con este trabajo se pretende proveer el conocimiento del concepto del control motor, sus teorías y su relación ante la presencia del dolor junto con la aplicación de teorías relacionadas de estos dos conceptos, principios clave y autores relevantes al tema al tratar junto con la aplicación del movimiento para la restitución funcional de la persona a través del ejercicio terapéutico.

11Bibliografía

- Hodges P. (2011). *Pain and motor control: from the laboratory to rehabilitation*. Journal of electromyography and kinesiology 21, 220-228.
- Hodges P., Riek S., Graven-Nielsen T., Butler J., Tucker K. (2009). *Motor unit recruitment strategies are altered during deep-tissue pain*. The journal of neuroscience, 29(35), 10820-10826.
- Hodges P, Tucker K (2011). *Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain*. Pain, 152, s90-s98.
- Hodges P., Jull G., Marinovic W., Elgueta-Cancino E. (2019) *Motor cortex representation of deep and superficial neck flexor muscles in individuals with and without neck pain*. Hum brain mapp, 40, 2759-2770.
- Hodges P., Schabtraun S.M. (2012) *Muscle pain differentially modulates short interval intracortical inhibition and intracortical facilitation in primary motor cortex*. The Journal of pain, Vol. 13, 187-194.
- Hodges et al (2019) *Motor control changes in low back pain: divergence in presentations and mechanisms*. J orthop sports phys ther. Vol 49(6), 370-379.
- Jull G., Moore A., Falla D., Lewis J., McCarthy C., Sterling M. (2015). *Grieve's Modern Musculoskeletal Physiotherapy* (fourth edition).
- Lund J., Donga R., Widmer C., Stohler C. (1991). *The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity*. Can J Pshysion Pharmacol, vol 69, 683-694.
- Melzack R. (2001). *Pain and the neuromatrix in the brain*. Journal of dental education. Vol. 65, No 12, 1378-1382.
- Melzack R, Wall PD. (1965). *Pain mechanisms: a new theory*. Science; 150:971-8.

- Moseley L.G., Stanton T.R., Leake H.B., Chalmers J.K. (2015) *Evidence of impaired proprioception in chronic idiopathic neck pain: systematic review and meta-analysis*. Journal of the american physical therapy association, 1-39.
- Nngomo et al (2014) *Alterations in central motor representation increase over time in individuals with rotator cuff tendinopathy*. Clinical neurophysiology. 1-7.
- Osmotherly P.G, Zoete R., Rivett D.A, Snodgrass S.J.(2019) *No differences between individuals with chronic idiopathic neck pain and asymptomatic individual on Seven cervical sensorimotor control tests: a cross-sectional study*. 1-35.
- Pierobon A., Raguzzi I., Soliño S. (2017). *Rol de la musculatura flexora profunda en el dolor cervical crónico*. Revista AKD, n°70, 4-17.
- Pascal M., Lundager B., Voigt M., Arendt-Nielsen L. (1999) *Shoulder muscle co-ordination during chronic and acute experimental neck-shoulder pain. An occupational pain study*. Eur J Appl Physion, 79, 127-140.
- Pascal M. (2010). *On functional motor adaptations: from the quantification of motor strategies to the prevention of musculoskeletal disorders in the neck–shoulder región*. Acta Physiologica, 199, 1–46.
- Pascual L.J., Page Del Pozo, AF., Serra Año P. (2017). *Movement Variability Increases With Shoulder Pain When Compensatory Strategies of the Upper Body Are Constrained*. Journal of Motor Behavior. 1-24.
- Roy A., Wang W., Ho R., Ribeiro-Dasilva M., Fillingim R., Coombes S. (2018). *Funtional brain activity during motor control and pain processing in chronic jaw pain*. PAIN volumen 159, numero 12, 2547- 2564.
- Rice D., Graven-Nielsen, Lewis G., McNair P., Dalbeth N. (2015). *The effects of experimental knee pain on lower limb corticospinal and motor cortex excitability*. Arthritis and therapy, 17:204, 1-8.

- Roy et al (2018). *Functional brain activity during motor control and pain processing in chronic jaw pain*. Vol. 159 (12), 2547-2564.
- Richardson C.A., Gwendolen J.A. (2000) *Motor control problems in patients with spinal pain: a new direction for therapeutic exercise*. Journal of manipulative and physiological therapeutics. Vol 23 (2), 115-117.
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M.H. (2012). *Control motor: teoría y aplicaciones prácticas* (4th ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer, Williams & Wilkins.
- Shannon L., Merkle L., Sluka K., Frey L. (2018). *The interaction between pain and Movement*. Journal of hand therapy, 1-6.
- Seitz A.L., Podlecki L.A., Melton E.R., Uhl T.L. (2019). *Neuromuscular adaptations following a daily strengthening exercise in individual with rotator cuff related shoulder pain: a pilot case-control study*.
- Sahin et al (2017). *Shoulder proprioception in patients with subacromial impingement syndrome*. Journal of back and musculoskeletal rehabilitation, 1-6.
- Sjøgaard G., Sjøgaard K.(2014) *Muscle activity pattern dependent pain development and alleviation*. Journal of electromyography and kinesiology, 24, 789-794.
- Thurm et al (2013). *Chronic pain effect on body schema and neuropsychological performance in athletes: a pilot study*. Perceptual and motor skills: physical development and measurement, 116 (2), 544-553.
- Westgaard R.H, Vasseljen O, Holte K.A (2001). *Trapezius muscle activity as a risk indicator for shoulder and neck pain in female service workers with low biomechanical exposure*. Ergonomics, vol 44 (3), 339-353.
- Westgaard R.H. (1999) *Effect of physical and mental stressors on muscle pain*. Scand J Work Environ Health, vol 25, 19-24.

Anexo

Interacción del individuo, actividad y ambiente: imagen 1.



Fisiología del control motor: Imagen 2.

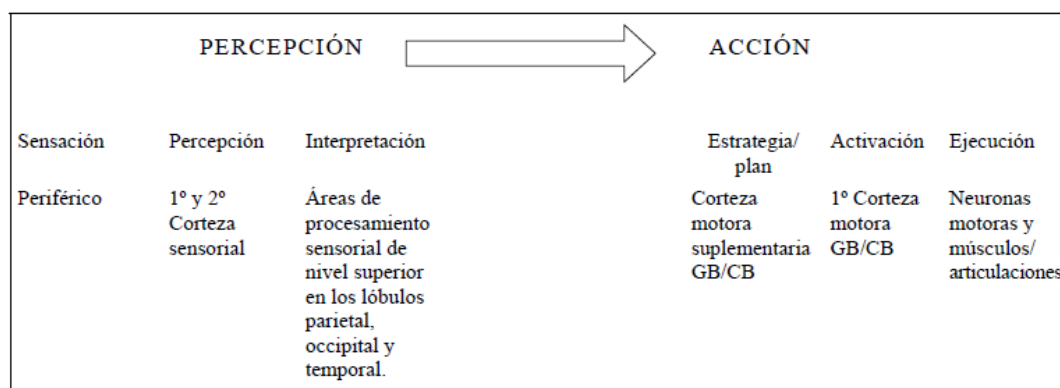


Figura 3.1. Modelo de la interacción de los procesos perceptivo, de acción y cognitivo involucrados en el control motor.
GB = ganglios basales; CB = cerebelo.

Teoría del círculo vicioso: imagen 3.

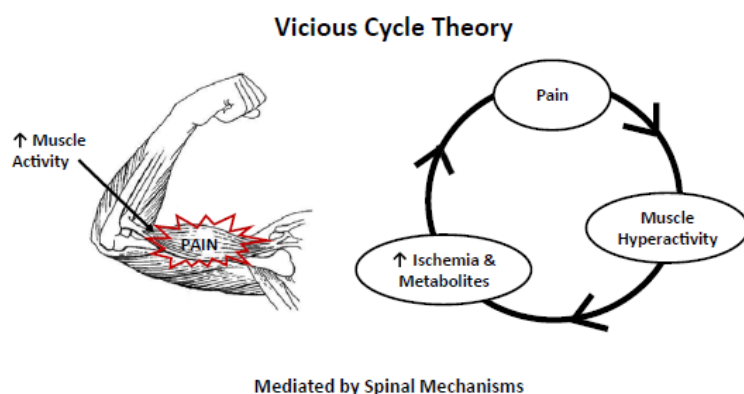


Fig. 1. The vicious cycle theory proposes that pain results in predictable increases in muscle activity regardless of task. Muscle hyperactivity in turn leads to ischemia and accumulation of metabolites, which then cyclically produces more pain. Anatomic arm graphic adapted from Wikimedia Foundation with permission from Pearson Scott Foresman.

Teoría de la adaptación al dolor: imagen 4.

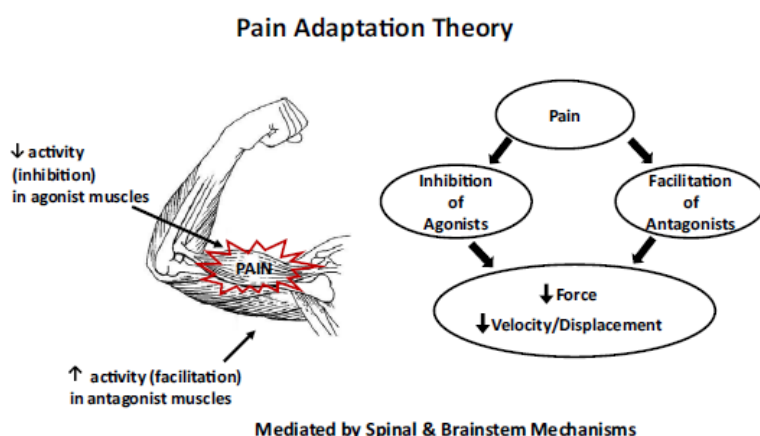


Fig. 2. The pain adaptation theory predicts inhibited muscle activity in painful agonist muscles with simultaneous excitation of nonpainful antagonist muscles. Anatomic arm graphic adapted from Wikimedia Foundation with permission from Pearson Scott Foresman.

Teoría de la respuesta protectora: imagen 5.

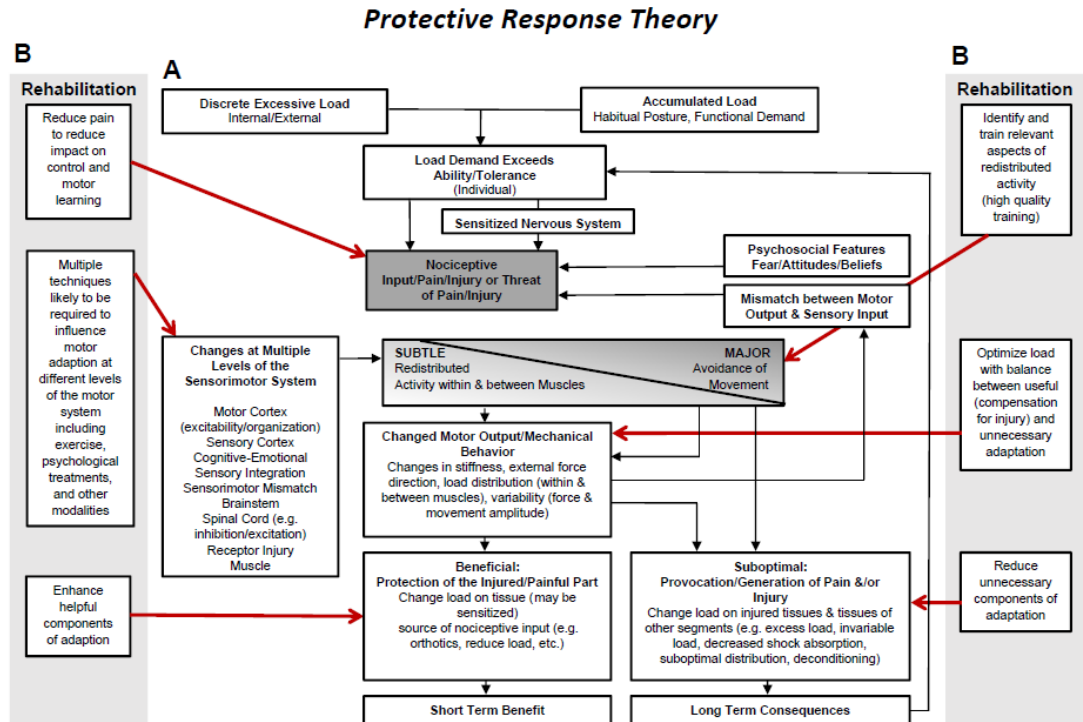
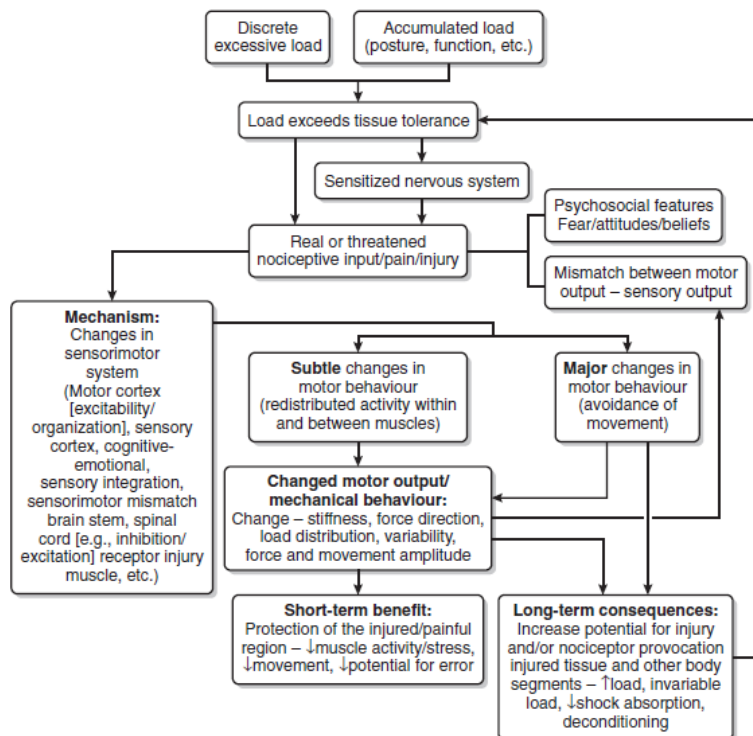
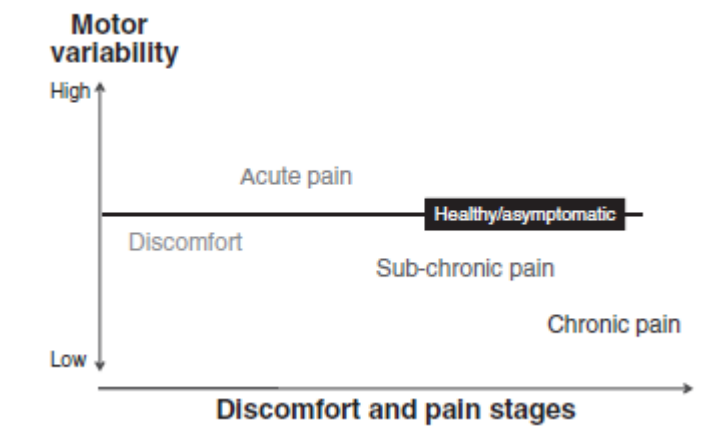


Fig. 3. Protective response theory with (A) motor adaptations to pain and (B) rehabilitative implications. Variable changes in motor responses can have both positive and dysfunctional outcomes that have implications for intervention. (A) With permission from Wolters Kluwer Health, Inc, from Hodges and Smeets.¹⁶ (B) With permission from Elsevier from Hodges.¹⁶

Relación entre dolor y movimiento: imagen 6.



Variabilidad de movimiento: Imagen 7



Ejercicio de abducción horizontal en pronación: Imagen 8

