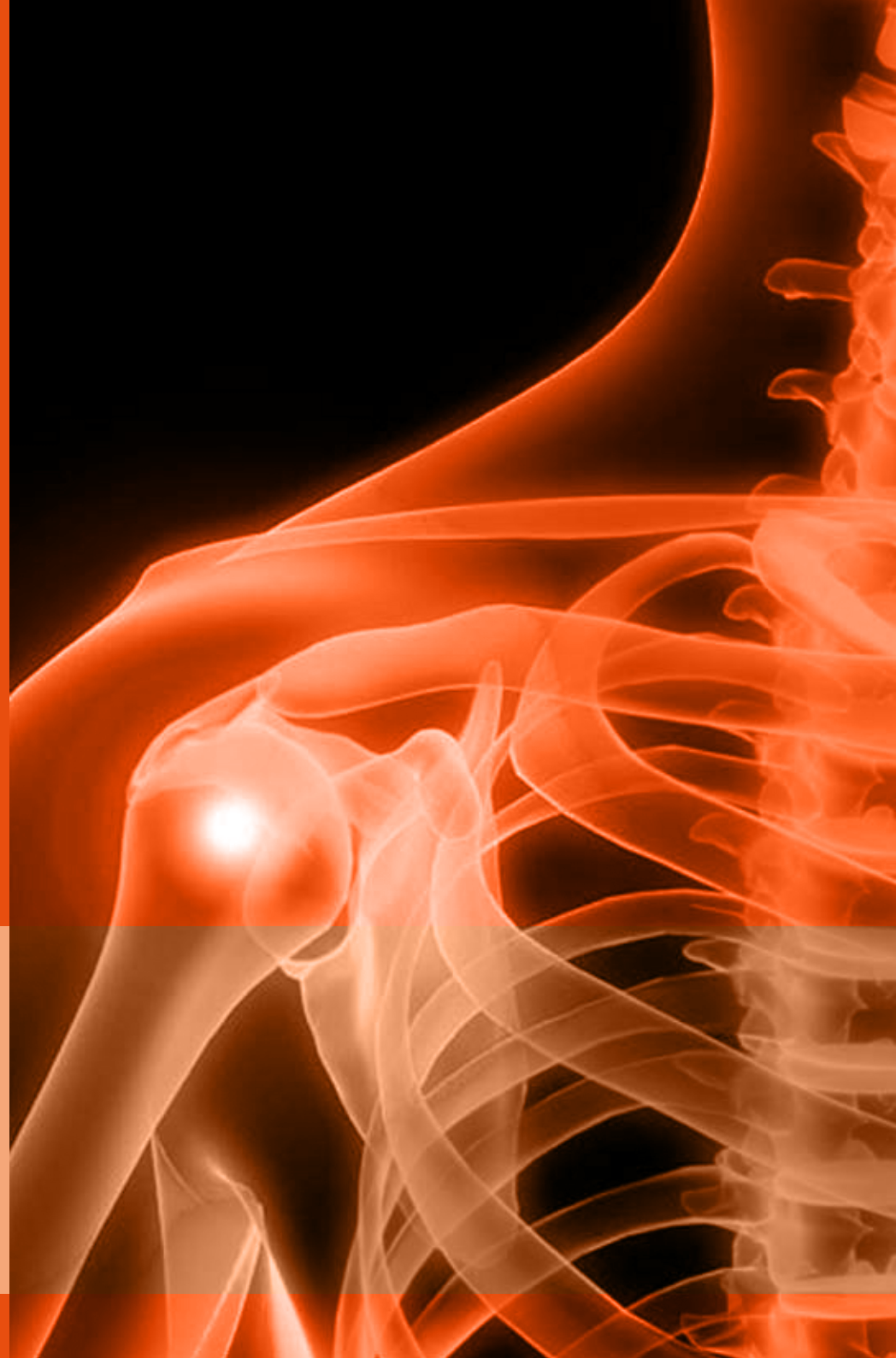


guia

Actualización de la evidencia científica sobre la influencia de la fatiga física en patrones de movimiento y su interés en la prevención de procesos músculo-esqueléticos



UGT-CEC



guia

Actualización de la evidencia científica sobre la influencia de la fatiga física en patrones de movimiento y su interés en la prevención de procesos músculo-esqueléticos



**Secretaría de Salud Laboral
UGT-CEC**



EDITA
Secretaría de Salud Laboral de la UGT-CEC

DISEÑA e IMPRIME
Blanca Impresores S.L.
95 319 11 02

Depósito Legal: J-175-2013



guio

Actualización de la evidencia científica sobre la influencia de la fatiga física en patrones de movimiento y su interés en la prevención de procesos músculo-esqueléticos

Autor

Juan Manuel Castellote Olivito

Escuela Nacional de Medicina del Trabajo

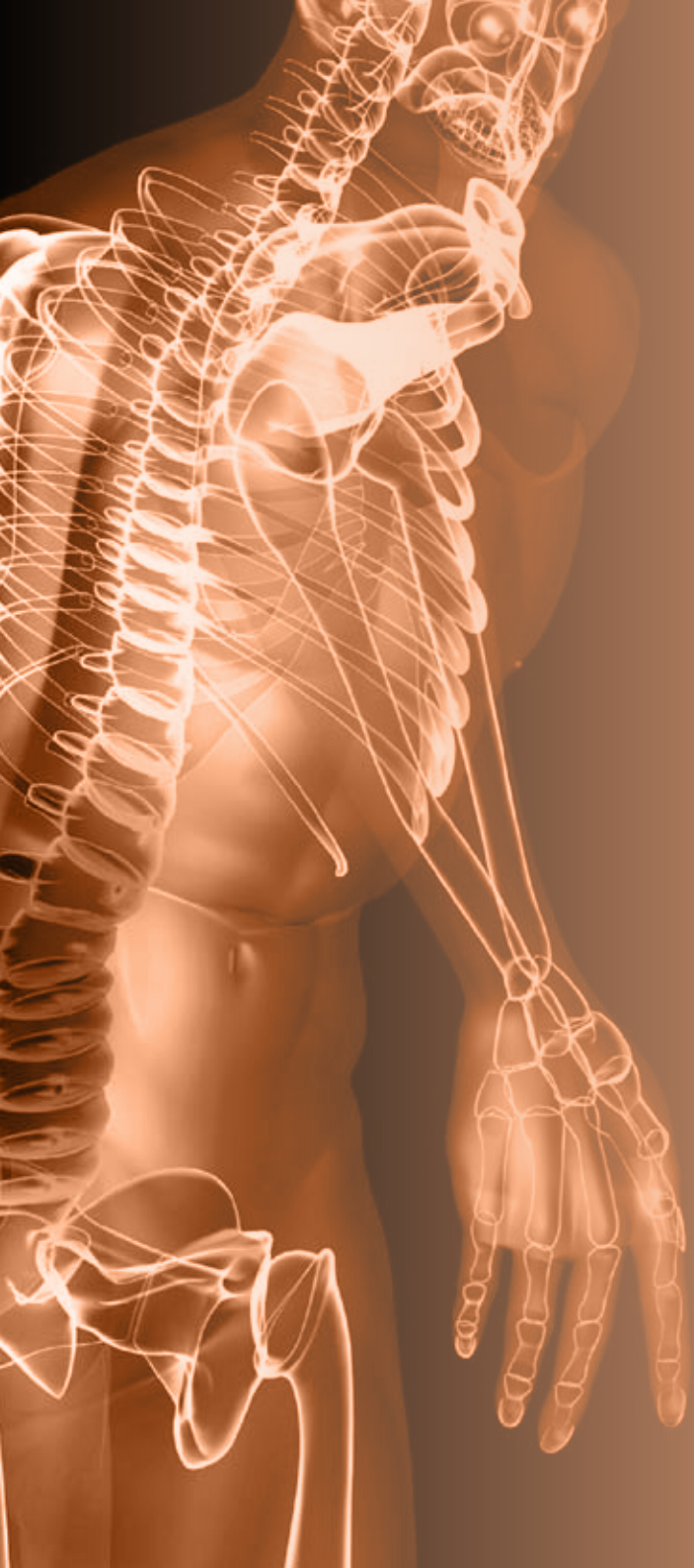
Instituto de Salud Carlos III

Este documento ha sido
preparado por el Instituto de Salud Carlos III
para la Secretaría de Salud Laboral UGT-CEC.

I. Introducción.....	9
II. Objetivos, material y métodos	15
III. Resultados comentados.....	21
IV. Bibliografía	43
ANEXO I	
Acrónimos	55
ANEXO II	
Búsqueda bibliográfica.....	59
ANEXO III	
Artículos relevantes	62
1.- Fatiga en musculatura ejecutora	
Tarea de movimiento	62
2.- Fatiga en musculatura ejecutora	
Tarea postural	64
3.- Fatiga en musculatura ejecutora	
Tarea de estimación de movimiento.....	65
4.- Fatiga en musculatura ejecutora	
Valoración de reflejos	67
5.- Fatiga postural previa.....	
6.- Fatiga postural previa	
Tarea postural previa y en musculatura ejecutora.....	69
7.- Fatiga en musculatura postural	
Tarea en musculatura postural	70



Introducción



1.

Introducción.

La fatiga física es un elemento presente en el mundo del trabajo apareciendo en diferentes contextos y teniendo variados condicionantes propios de cada entorno laboral (Brown & McConnell, 2012) (Duke, Guest, & Boggess, 2010) (Barr, Gregson, & Reilly, 2010). De ella se derivan alteraciones en la postura y movimiento en el trabajo.

Dolor y fatiga en relación con posturas y esfuerzos son problemas de salud que el trabajador asocia con alta frecuencia con la actividad laboral tal como reflejan los resultados de la VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo, desarrollada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (“VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo,” 2012). Se considera por tanto de especial interés en Salud Laboral la investigación de la respuesta adaptativa músculo-esquelética al estado de fatiga en especial en movimientos mantenidos o repetitivos. Ocurre p.ej. en cadenas de montaje o ensamblaje, así como en reponedores de almacenes y comercios (y actualmente se describe ya en trabajos de baja intensidad física – como son las tareas de oficina-).

La fatiga muscular periférica se ha definido como el aumento progresivo en el esfuerzo requerido para producir un determinado nivel de fuerza, seguido por la incapacidad progresiva para mantener dicha fuerza de forma continua o repetida (R M Enoka & Stuart, 1985). Como correlato de la misma, ella conlleva cambios en parámetros de movimiento local y aferentes –tales como son rango de movimiento, pérdida de exactitud en el gesto- y mayor variabilidad en la actividad temporal y de intensidad muscular existiendo estrategias adaptativas (Aymard, Katz, Lafitte, Le Bozec, & Pénicaud, 1995) (Beelen & Sargeant, 1991) (Bonnard, Sirin, Oddsson, & Thorstensson, 1994) (Danion, Latash, Li, & Zatsiorsky, 2001) (Emery & Côté, 2012) (Roger M Enoka & Duchateau, 2008) (Flynn, Holmes, & Andrews, 2004) (Gates & Dingwell, 2008) (Gribble & Ostry, 1999) (Hammar skjöld & Harms-Ringdahl, 1992).

En ciertas tareas tales como trabajar en cintas transportadoras o cadenas de montaje o empaquetado la exactitud en el gesto repetido es un componente básico de la tarea. Es conocido que estos trabajos, si se realizan en condiciones de fatiga pueden provocar dolor, sobrecarga o daño muscular pudiendo ser causa de enfermedades ocupacionales (Eler et al., 1992; Guerra, 2001). Ciertas tareas en cintas transportadoras, tales como el portar productos de la cinta a cajas no sólo requieren movimientos precisos y rápidos sino también una interiorización de la acción a ejecutar ya que la

misma ha de realizarse con precisión en las coordenadas espacio-tiempo, requiere capturar y soltar objetos delicados y en ocasiones además una decisión mental sobre la tarea. Un gesto sigue a otro y aunque el trabajo sea rutinario, existe poco tiempo para perder la atención, requiriendo cierta consciencia de la acción. Es sabido que la consciencia puede ser externamente modificada por parte del sujeto (Sanegre, Castellote, Haggard, & Valls-Solé, 2004) así como por una capacidad de reacción visual ante requerimientos externos (Juan M Castellote, Kumru, Queralt, & Valls-Solé, 2007). Con estas premisas, el sistema motor del sujeto ha de estar preparado para responder a cualquier alteración interna o externa de tal forma que el individuo pueda estar atento y anticipar adecuadamente un cambio en las condiciones o en la respuesta (J M Castellote, Valls-Solé, & Sanegre, 2004). En situaciones de riesgo cuando el sistema motor está fatigado una equivocación no sólo puede originar un accidente sino que puede tener consecuencias legales.

Es en las tareas transicionales –pasar de una posición a otra- donde se ven los mayores cambios de actividad muscular y con ello de posible error. Estos gestos son en ocasiones programados (pasar de sentarse a levantarse, comenzar a caminar) como inesperados (frenar una caída) (Queralt, Valls-Solé, & Castellote, 2008) (Juan M Castellote, Queralt, & Valls-Solé, 2012). En estas tareas se activan los músculos bajo dos patrones solidarios: -uno para mantener una postura de fijación (corporal) y hacer la acción deseada y otro de ejecución de la tarea (habitualmente manual de llevar/ coger/dejar objetos por ejemplo)¹.

Los primeros, patrones posturales, dirigen las acciones precisas. En muchas actividades laborales la actividad postural de estos músculos es primordial, y lo es bajo diversas situaciones limitantes. Tal es el caso cuando la tarea requiere movilizar objetos de estantes en cierta altura, situación en la que los músculos del tronco y de las piernas se activan previamente, en anticipación a la actividad de los músculos del hombro y miembros superiores. Cada vez que se ejecuta un movimiento, ellos se activan, con lo que también serían parte afectada en situaciones de actividad laboral prolongada en que la fatiga física pueda afectar a la acción a ejecutar. Es durante los últimos años cuando se ha comenzado a dar relevancia y consideración a la actividad de estos grupos musculares que aparentemente no son tan evidentes en las actividades cotidianas como aquellos otros que directamente participan en el manejo de cargas (Juan M Castellote et al., 2012) (Queralt et al., 2008) (Carlsen, Chua, Inglis, Sanderson, & Franks, 2004).

Parece que la actividad de la musculatura postural se conforma de forma específica para cada movimiento focal, de tal manera que el grado de actividad (y con ello posible fatiga) va a ser diferente según una persona coja o deje un

¹ Es de destacar que las evaluaciones habituales de patrones a nivel de despistaje se hacen en aquellos grupos musculares 'de tarea', pero escasamente se consideran los de preparación 'posturales'.

objeto, lo impulse o deba frenar su acción de empuje. Durante la última década se han descrito situaciones en que su actividad se modifica cuando hay dolor lumbar (Hodges, Moseley, Gabrielsson, & Gandevia, 2003) (Moseley, Nicholas, & Hodges, 2004). Existe la posibilidad de que se puedan re-estructurar patrones de movimiento que pudieran reducir los efectos de la fatiga en la ejecución de tareas con el fin primordial de mantener conservado el objetivo final de la tarea.

Lo expuesto anteriormente conllevaría a la necesidad de evaluar en el entorno de salud laboral, grupos musculares que aparentemente no están directamente implicados en una tarea detectando así necesidades de asistencia sanitaria y poniendo recursos para la mejora en los Servicios de Salud.

Por tanto, con el presente estudio se pretende realizar una revisión y actualización de un aspecto concreto como es la influencia de la fatiga en patrones motores y el valor de su detección como medida preventiva que permita reconocer las necesidades mencionadas y pueda servir como ejemplo a futuros análisis en poblaciones diana. El reconocer cómo la fatiga puede afectar a estos patrones es primordial pues permitirá ver qué componente muscular puede ser más sensible a la fatiga. Con ello se espera contribuir a localizar los cambios en los gestos motores, información que pueda ser de interés a los agentes sociales en sus programas de salud laboral.





Objetivos, material y método



1.

Objetivos.

La actualización del conocimiento científico sobre la influencia de la fatiga en patrones motores y con ello el valor preventivo de su detección se desglosa en las tareas de sintetizar la evidencia de la influencia de la fatiga en patrones motores -con especial atención a la influencia en músculos posturales y músculos de tarea-, identificar recursos metodológicos de evaluación útiles para la práctica de vigilancia de la salud y atención primaria así como elaborar recomendaciones en prevención sanitaria para detección o despistaje de alteraciones en patrones motores debidas a fatiga física.

2.

Material y métodos.

La actualización científica sobre la evidencia disponible respecto a la influencia de la fatiga en patrones motores se realiza en base a la explotación de datos primarios ya existentes (análisis, comprobación si fuere el caso y síntesis) estableciendo recomendaciones.

El análisis de fuentes de información primaria sobre el perfil actual de la situación internacional en estudios de fatiga muscular y su influencia en patrones de movimiento se hace consultando diversas bases de datos de interés en esta materia: Pubmed -Medline-, ISI Web of Knowledge, CISDOC-OSHA-ILO-así como OSH Update extendiendo la búsqueda a publicaciones en español, francés e inglés, completándola con una búsqueda manual adicional en aquellas publicaciones con mayor número de artículos. Se seleccionan trabajos que reúnan: artículo original con datos primarios de actividad muscular (EMG principalmente), objetivos expresados y medidas de resultados, clasificando la evidencia de la información en base a actividades o patrones. La información sintetizada de patrones motores se agrupa, estableciendo recomendaciones.



La búsqueda bibliográfica inicial se adjunta en el Anexo II. Se profundizó en la exploración en aquellos documentos que incluyeran las combinaciones de los términos valorados. Posteriormente se hizo una búsqueda manual a partir de las referencias relevantes de los artículos obtenidos y analizados, siendo la base del presente estudio.

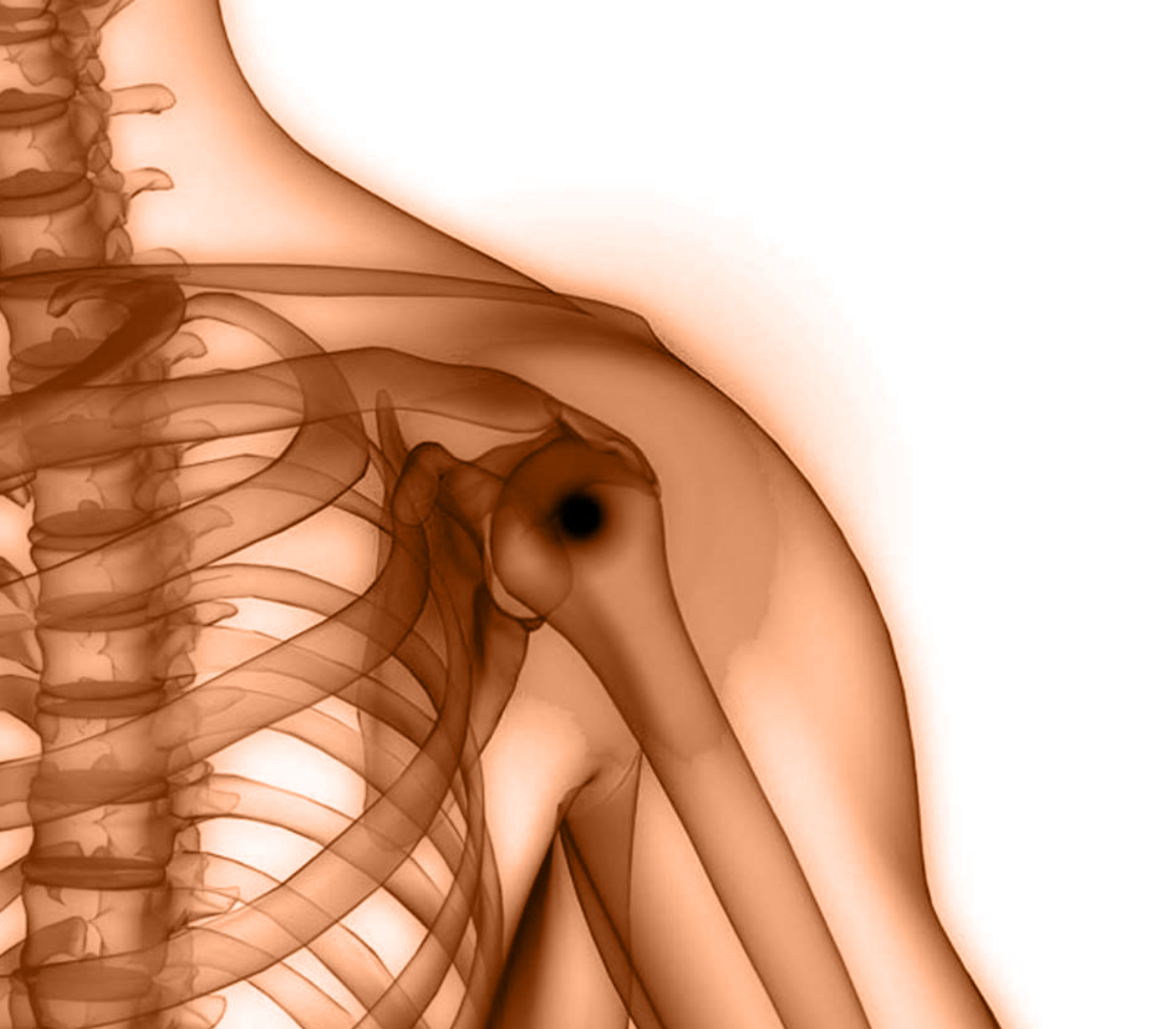
La información obtenida y recogida se ha agrupado en base al tipo de tarea estudiada y a la localización de la fatiga física creada. Se ha hecho un correlato de cada epígrafe entre texto y Tablas. Tanto en cada agrupación como al final de todas, según se ha considerado oportuno, se han realizado los comentarios adecuados que han incluido en relación con lo hallado tanto la identificación de posibles recursos metodológicos de evaluación útiles en vigilancia de la salud y atención primaria como recomendaciones al respecto.

Se han seleccionado aquellos artículos que reunieron las siguientes características: artículo original con datos primarios relativos al análisis de fatiga muscular y sus consecuencias en patrones de movimiento con especial detalle en regiones posturales o de tarea y en los que se especifique con claridad las características de la muestra objeto de estudio y las variables analizadas.

En el Anexo I se detalla la búsqueda y referencias encontradas. Descartando los artículos que no cumplían los criterios establecidos anteriormente, el resto son incluidos en el estudio. Los trabajos relevantes se hallan tabulados para su posterior análisis y comentario.

Por los hallazgos posteriormente descritos, se puede avanzar que el tipo de estudios en estos procedimientos de evaluación de resultados de fatiga física en patrones de movimiento se realiza principalmente en laboratorios de investigación con frecuencia asociados a centros clínicos. En ciertos casos han tenido una mayor entrada en clínica puesto que evalúan procesos de simulación real de tareas en condiciones cambiantes y evaluables de forma repetida (por necesidad de la enfermedad o proceso objeto de estudio).

Algunos estudios, de forma más puntual, se han dirigido a estudiar sistemas de evaluación dirigidos a la caracterización cinemática de acciones fundamentales en gestos concretos en relación con ocupaciones humanas (caminar, sentarse, equilibrarse, asir herramientas,...), lo cual puede contribuir a desarrollar modelos a partir de los cuales se puedan diseñar nuevas propuestas de intervención evaluativa o terapéutica, reprogramación de estrategias posturales o corrección de automatismos motores alterados a consecuencia de la fatiga.





Resultados comentados

1.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea de movimiento.

Se han encontrado 10 artículos relevantes de los cuales la mayoría -6- se refieren a la ejecución de la tarea por parte del miembro superior.

Estabilidad en la tarea

Uno de los indicadores de fatiga muscular es el índice de activación muscular. Diversos autores han referido cambios en la variabilidad del mismo en músculos no fatigados (Morris & Allison, 2006) (Kanekar, Santos, & Aruin, 2008) (Strang, Berg, & Hieronymus, 2009) (Singh & Latash, 2011) estando reflejados los pertinentes en la Tabla 1 (Anexo III).

Por otra parte se sabe que las características musculares, el ciclo contráctil, la variabilidad de movimiento y el hecho de ser repetitivo (Holtermann, Grönlund, Stefan Karlsson, & Roeleveld, 2008) (Gollhofer, Komi, Miyashita, & Aura, 1987) (Holtermann, Roeleveld, & Karlsson, 2005) (Madeleine & Farina, 2008) (Madeleine, Mathiassen, & Arendt-Nielsen, 2008) son determinantes en los procesos de fatiga. En el estudio de Singh (Singh & Latash, 2011) se halló que esta variabilidad ha aparecido tanto en músculos que participaron en la actividad de fatiga (tibial anterior) como en otros ajenos a la misma (tales como gastrocnemio y recto femoral) explicando que había mayor variabilidad en la magnitud de los modos-M. Este hecho ya fue anticipado en cierta medida por otros estudios del mismo equipo pero a nivel de fatiga de dedos de la mano o por la fatiga tras hacer empuñamientos (Danna-Dos Santos et al., 2010). El hecho de que se vean cambios no sólo a nivel muscular sino en modos-M conlleva el considerar como algo cierto que la redundancia motora presente no implica que haya dificultades de manejo por parte del SNC sino que simplifica su actividad al otorgar una mayor estabilidad entre diversas condiciones de actividad (tipos de la misma) y estados del sujeto (fatiga).

El estudio de Gates (Gates & Dingwell, 2010) tiene un especial interés ya que los sujetos fueron expuestos a una tarea hasta fatiga total en la misma región corporal. Debían desplazar un peso horizontalmente con la mano en una dirección (ambos sentidos) siguiendo el ritmo de un metrónomo. En la mayoría de los músculos estudiados la frecuencia de la

potencia media del EMG se redujo de forma significativa. Sin embargo no hubo diferencias ni en los valores promedio ni en la variabilidad de la distancia recorrida, velocidad de ejecución o errores en la frecuencia interna de la tarea. Es decir que los sujetos eran capaces de mantener la tarea pese a la fatiga². Los sujetos eran capaces de corregir errores tras la fatiga de una forma más rápida³. Otros estudios han demostrado que durante la fatiga hay cambios en el rango de movimiento y posiciones segmentarias mientras que las características generales de la tarea permanecen constantes (Bonnard et al., 1994) (Sparto, Parnianpour, Reinsel, & Simon, 1997) (Forestier & Nougier, 1998) (Côté, Raymond, Mathieu, Feldman, & Levin, 2005) (Fuller, Lomond, Fung, & Côté, 2009).

Bonnard halló que en tareas de salto repetido los sujetos usan dos estrategias de adaptación local para mantener estable la tarea: en una se hace una redistribución de la participación de cada músculo en las diferentes articulaciones en que participa y en la otra por cambios en la participación de articulaciones individuales (Bonnard et al., 1994). Todo ello mediante cambios en parámetros de movimiento locales. Esto ya fue descrito por Enoka (R M Enoka & Stuart, 1992) cuando se realiza una actividad repetitiva en situaciones de fatiga describiendo cambios en reducción de rango de movimiento en la principal articulación del gesto, reducción de velocidad de movimiento y fuerza muscular así como cambios en el espectro del EMG.

Forestier halló que en lanzamientos de pelota la secuencia temporal de velocidades pico articulares tras fatiga incluía menores distancias temporales entre ellas (Forestier & Nougier, 1998), En otro estudio, ya postural, de levantar pesos de forma repetida se ha comprobado que hay una menor estabilidad postural con fatiga así como una reducción de movimiento en articulaciones distales (rodilla y cadera) estando compensado por un aumento del movimiento de tronco (Sparto et al., 1997). También y en relación con el mantenimiento de la tarea se ha descrito una mayor coactivación muscular durante fatiga en personas con lumbalgia (Potvin & O'Brien, 1998).

2 El hecho de estudiar la ejecución de una tarea cuando la fatiga ha sido máxima, pero manteniendo el gesto es un hecho frecuente en los estudios. Esto implica que exista una dificultad para valorar cómo afecta la fatiga cuando el gesto se degrada, es decir, cuando ya no puede mantenerse la actividad dentro de los márgenes requeridos.

3 Esto puede ir en línea con estudios en los que se dice que en tareas de exactitud se reduce el tiempo de ejecución de la tarea cuando aparece una mayor cocontracción post-fatiga, pudiendo sugerir una mayor eficiencia consciente por saberse el sujeto fatigado.

Cronología de cambios locales y posturales

El estudio de Fuller (Fuller, Fung, & Côté, 2011) estudia al detalle y permite comprobar la temporalidad de cambios durante la fatiga⁴. Comprobaron que durante la ejecución de la tarea hubo parámetros posturales generales que cambiaban mucho antes que parámetros locales, como la fatiga en el trapecio que apareció (medida como cantidad de activación –RMS– del EMG) al 65% de la duración de la tarea⁵. Los autores especularon previamente que los cambios locales pudieran anteceder a los generales, pero no fue así. Una explicación es que cambios sutiles a nivel muscular local puedan ir originando estos cambios generales precoces de una manera pro-activa antes de que se vean signos locales de la fatiga⁶.

El estudio de Fuller es el único estudio relevante en lo relativo a cambios cinemáticos y a nivel de miembro superior. A nivel de miembro inferior se ha encontrado uno de Gazeau (Gazeau, Koralsztein, & Billat, 1997) en el que se han hallado ya cambios en amplitudes articulares de miembro inferior y fuerzas de reacción en suelo en la mitad de la ejecución de una tarea. Otros autores, estudiando el trapecio, han visto cambios en la organización de unidades motoras ya al 25% de la tarea (Farina, Leclerc, Arendt-Nielsen, Buttelli, & Madeleine, 2008). Estos cambios podrían explicar cambios generales como los descritos ya a mitad de la tarea, pero no hay estudios que hayan correlacionado ambas situaciones. El estudio de Fuller (Fuller et al., 2011) ha valorado las correlaciones entre cambios en el RMS del trapecio durante la fatiga y la cinemática, comprobando que la posición vertical del hombro se correlacionó significativamente con los cambios del RMS del trapecio en todos los rangos estudiados, sugiriendo los autores que los sujetos con grandes cambios a nivel del trapecio también podrían tener cambios ostensibles en la altura posicional del hombro.

4 Se consideró como comienzo de cambio en una variable su desviación superior a 2 desviaciones estándar.

5 Habiéndose visto también otros cambios generales ya sobre el 45% de la misma.

6 El hecho de que no se detecten pero existan puede estar detrás del hecho de que haya actividad postural que se modifique tras fatiga de músculos de tarea aunque no cambie la actividad de éstos tras la fatiga, como se refiere en la sección oportuna.

Variabilidad temporal en la repetición del gesto.

Existe una escasez de estudios relevantes respecto a variabilidad en actividades de miembro superior bajo fatiga (Fuller et al., 2011) (Singh, Varadhan, Zatsiorsky, & Latash, 2010) (Gates & Dingwell, 2010) (Cignetti, Schena, & Rouard, 2009). Fuller ha comprobado que varios parámetros cinemáticos a nivel de hombro y codo aumentan en su variabilidad entre repeticiones pero sólo en ciertas direcciones de movimiento, en concreto en las direcciones medio-lateral y supero-inferior⁷ sugiriendo que los sujetos van buscando formas de compensar por la fatiga en planos que son accesorios al principal. Pese a estas variabilidades el estudio de Fuller comprobó que las medidas de ajuste final permanecieron invariables entre repeticiones, lo que sugiere que los parámetros que puedan cambiar durante la fatiga se supeditan a conseguir el objetivo final de la tarea. En un estudio de Singh, y tan sólo circunscrito a función de dedos, se comprobó que la variabilidad de acción del índice debida a su fatiga era compensada por la fuerza ejercida en otros tres dedos no fatigados. En este punto hemos de destacar que esta variabilidad compensada dentro de un conjunto –compuesto de partes de partes (*manifold* o multiplicidad)- remite a describir a éste como conjunto controlado (Latash, Scholz, & Schöner, 2002). Por otro lado aquellas variabilidades que no llevan a lograr el resultado apetecido se denominan como configuraciones fuera del conjunto controlado⁸.

El estudio de Gates demostró la ausencia de cambios en la velocidad y distancia de alcance final en la tarea bajo fatiga durante una tarea de empuje de objetos; sin embargo en este estudio no estudiaron otras variables cinemáticas. En el estudio de Cignetti comprobaron en una tarea de alto consumo de oxígeno (esquí de fondo), esto es de fatiga global, que existía una mayor variabilidad tanto de brazos como de piernas entre ciclos repetidos. Es posible que estas variabilidades descritas reflejen en el caso de afectar a zonas cercanas a la fatigada, déficits asociados a una información propioceptiva alterada que haya que compensar y cuando afecta a nivel general pueda ser reflejo de nuevas estrategias para prolongar la tarea en el tiempo.

Por otra parte las similitudes en variabilidad temporal con actividades laborales son diferentes. Tal es el caso de los estudios de Fuller en que las tareas iban reguladas por un metrónomo, con lo que se asemejan a tareas en producción en cadena en las que el ritmo de la tarea delimita temporalidades de actuación. Sin embargo en los estudios referidos de Cote y de Forestier no había estas limitaciones, lo que hace que se asemejen a tareas repetitivas de fabricación en serie pero en las que el sujeto tiene margen para decidir individualmente cuando la tarea se repite.

⁷ Pero no a nivel antero-posterior, que en el estudio era el sentido principal de acción.
⁸ Serían condiciones para valorar la degradación de tarea.

Fatiga de musculatura paravertebral en tarea repetitiva

El estudio de Granata es un estudio de interés al estudiar tanto la fatiga de musculatura ejecutora como una tarea repetitiva de movimiento analizando la actividad en la espalda (K P Granata & Gottipati, 2008). Es sabido que la fatiga de los músculos extensores del tronco es un factor de riesgo para lumbalgia (Biering-Sørensen, 1984) (Alaranta, Luoto, Heliövaara, & Hurri, 1995) pero se desconocen con claridad sus mecanismos de acción. Se ha asociado con un reclutamiento muscular compensatorio y con cambios en la carga sobre la columna vertebral por la fatiga (Sparto & Parnianpour, 1998). También se ha asociado con reducciones en la relación entre fuerza para elevación y requerimientos de la tarea (Keyserling, Herrin, & Chaffin, 1980) . También se ha indicado que la fatiga de la musculatura de la espalda puede afectar a la estabilidad espinal (Kevin P Granata, Slota, & Wilson, 2004).

En el estudio referido de Granata, la tarea a ejecutar era una serie de movimientos repetitivos de flexión y extensión de tronco en el plano sagital medio con la finalidad de tocar repetidamente un objeto enfrente de los sujetos. Los movimientos de flexión de tronco permanecieron estables ya que los sujetos terminaron la tarea de forma satisfactoria. Sin embargo pese a la presencia de esta estabilidad en la flexión hubo alteraciones en otras dimensiones mostrando que la fatiga de la musculatura extensora de tronco es un factor de riesgo para lumbalgias⁹. A este respecto hay que señalar que las tareas laborales suelen producir menores niveles de fatiga y en periodos más prolongados de tiempo, tal como pueda ser la acumulación de fatiga en una jornada de 8 horas. Por otra parte la tarea a ejecutar era única no incluyendo además ninguna masa a desplazar con las manos, a diferencia de muchas actividades laborales donde los sujetos ejecutan tareas variables con cargas que desplazar.

En el estudio de Granata 2008 no se apreciaron efectos en asimetría de tarea. Este estudio se diferencia de otro del mismo equipo en el que los movimientos en el plano sagital medio eran menos estables que cuando se producía el movimiento en una trayectoria combinada sagital y torsional (Kevin P Granata & England, 2006). Sin embargo en este último estudio los sujetos realizaban la tarea con los miembros inferiores inmovilizados de forma que el movimiento se limitaba a espalda y brazos. Teniendo esto en consideración, se puede decir que ambos estudios ofrecen resultados similares a estos efectos. El hecho de que haya una interacción entre piernas y espalda conlleva que el acoplamiento dinámico entre ambas contribuya al control de la estabilidad en movimientos asimétricos¹⁰.

9 Se estudiaron cambios mediante el exponente de Lyapunov, que representa la tasa a la que las alteraciones cinemáticas cambian con el tiempo.

10 Se entiende que una parte compensa a la otra.

La fatiga influye en los factores de control neuromuscular que contribuyen a la estabilidad espinal (Hagbarth, Bongiovanni, & Nordin, 1995) (Sparto & Parnianpour, 1998). Por otra parte es sabido que una pequeña alteración a nivel vertebral o un error en el reclutamiento muscular pueden causar movimientos intervertebrales discretos y sin control (Panjabi, 1992). Por ello se puede decir que el grado de tolerancia a un daño por sobrecarga en la columna puede atribuirse en cierta medida a la capacidad del sistema neuromuscular de mantener la estabilidad espinal. El hecho de que en el estudio de Granata haya cambios en otras dimensiones ajenas a la flexión puede estar detrás de la aparición con el tiempo de inestabilidades vertebrales.

2.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea postural.

Se han hallado cuatro estudios que han valorado resultados en tareas posturales tras fatiga, bien a nivel de miembro superior o inferior. Como elemento común se halla el que han llevado a los sujetos a una fatiga elevada (Tabla 2 del Anexo III). El estudio de Johnston III (Johnston, Howard, Cawley, & Losse, 1998) evaluó los efectos de la fatiga en la estabilidad postural. Vieron que la fatiga tenía efectos adversos en la postura pero no así sobre los movimientos focales. Sin embargo este estudio no evalúa la estabilidad postural durante un movimiento focal que produce perturbación como el de Strang mencionado en una posterior sección (Strang & Berg, 2007) (Tabla 5 del Anexo III)¹¹.

En actividades de miembro superior hay dos estudios que comentar. El de Tripp (Tripp, Yochem, & Uhl, 2007) evaluó el sentido posicional del hombro durante actividades poliarticulares fatigantes sin apoyo. Tras la fatiga hubo menor capacidad de producir el gesto de lanzamiento, asociado a un menor sentido posicional de hombro y codo (pero no de muñeca). La fatiga aumentó el número de posiciones erradas en la mayoría de las articulaciones exploradas en miembro superior. Mehta (Mehta & Agnew, 2010) en una tarea funcional (uso de un taladro) comprobó que las señales EMG de deltoides anterior resultaron en una actividad menor del mismo tras fatiga compensada por una actividad mayor de otra musculatura de brazo y antebrazo (en forma de coactivación). Se vieron mayores errores en la tarea, sobre todo por jóvenes. El tiempo de ejecución de la tarea se redujo tras la fatiga (quizá debido a la mayor coactivación voluntaria).

¹¹ Es importante esta diferencia pues se supone que la actividad postural facilita el control postural dinámico con escaso valor en el mantenimiento estático.

3.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea de estimación de movimiento.

La propiocepción es un elemento primordial en el uso de información periférica para ejecutar una tarea (Cordo, 1990) (Fuentes & Bastian, 2010) (Kawato, 1999) (Massion, 1992) (Proske, 2005) (Todorov & Jordan, 2002). En ocasiones ha sido dividida en dos componentes, la cinestesia (englobando los sentidos de posición y movimiento) y el sentido de fuerza. Se considera que la propiocepción incluye información detectada de los mecanorreceptores y enviada al SNC para ser integrada con visos de preparar una respuesta motora (Myers & Lephart, 2000). La mayoría de los estudios considerados como relevantes (Tabla 3, Anexo III) han estudiado la ejecución de tareas que se centraban en el hombro (Pedersen, Lönn, Hellström, Djupsjöbacka, & Johansson, 1999)¹² (Taimela, Kankaanpää, & Luoto, 1999)¹³ (Björklund, Crenshaw, Djupsjöbacka, & Johansson, 2000)¹⁴ (Emery, De Serres, McMillan, & Côté, 2010) (Carpenter, Blasler, & Pellizzon, 1998)¹⁵.

12 Los sujetos discriminaban peor las diferentes velocidades impuestas tras fatiga alta que tras fatiga baja, afectando el resultado a la exactitud del movimiento monoarticular.

13 Se evaluó la capacidad de detectar movimiento en sanos tras fatiga y con un grupo de pacientes con dolor lumbar. Ambos grupos mostraron una menor capacidad de reconocer los cambios en posición lumbar tras fatiga.

14 Se evaluó el sentido posicional del hombro durante actividades poliarticulares fatigantes sin apoyo. Los sujetos mostraban un sentido posicional de hombro con mayores errores para adducción que para abducción.

15 Evaluaron el sentido de posición articular en hombro usando tareas monoarticulares y movimientos de hombro unidireccionales. Tras fatiga los sujetos mostraron un umbral de detección de cambios en recorrido angular mayor en un 73% al previo, esto es requerían más recorrido angular para detectar cambios.

Cambios en la estimación de movimiento.

Pocos estudios han estudiado el sentido posicional del hombro durante actividades poliarticulares fatigantes sin apoyo. Angyan valoró la exactitud del gesto en atletas de lanzamientos y comprobó que tras fatiga sobreestiman las distancias (Angyán, Antall, & Angyán, 2007).

También se ha comprobado que la fatiga afecta a la exactitud del movimiento cuando es monoarticular (Pedersen et al., 1999), la capacidad de detectar el movimiento (Taimela et al., 1999) y el sentido posicional (Walsh, Allen, Gandevia, & Proske, 2006).

No sólo fatigando musculatura de hombro, sino de antebrazo se ha visto bajo fatiga un mayor sentido de esfuerzo percibido a nivel de codo (Allen & Proske, 2006) yendo en relación con que el sujeto ejecute más esfuerzo¹⁶. Un ejemplo de esto se ha visto en el estudio de Emery en el que los sujetos terminaban por mover la extremidad (el hombro) más allá de lo exigido (Emery et al., 2010).

En este estudio y de forma secundaria se comprobó que tras fatiga hubo mayores errores de movimiento y que los sujetos terminaban por mover la extremidad (el hombro) más allá de lo exigido. En la tarea monoarticular de hombro los sujetos hacían más errores tras fatiga, elevando el hombro más de lo esperado. En la tarea poliarticular tras fatiga la ejecución fue correcta estimándose que se hacen compensaciones en el sistema. Hay autores que consideran que la fatiga lo que hace es provocar compensaciones a nivel del SNC llevando a una mayor actividad EMG y con ello a un mayor esfuerzo percibido, lo que explicaría en el caso de estudios como el de Emery el mover más allá de lo esperado.

¹⁶ La evaluación fue doble: la fatiga sí redujo la capacidad posicional pero no redujo la capacidad de exactitud del gesto. Los sujetos terminaban por mover la extremidad (el hombro) más allá de lo exigido.

4.

Fatiga en musculatura ejecutora. Valoración de reflejos.

La actividad refleja es un hecho fisiológico ajeno a la actividad voluntaria del sujeto. Sin embargo tiene interés el comprobar si la existencia de fatiga provoca modulaciones involuntarias ya que da una idea del estado a nivel espinal, centro regulador de las aferencias propioceptivas y de las órdenes voluntarias. Está comprobado que la fatiga muscular localizada afecta a los reflejos de diversos grupos musculares entre los que se incluyen los extensores y flexores tanto de rodilla como de codo (Häkkinen & Komi, 1983) (Hortobágyi, Lambert, & Kroll, 1991) (Zhang & Rymer, 2001) (Kirsch & Rymer, 1987). Se ha comprobado que la rigidez muscular intrínseca a nivel del codo se reduce con la fatiga mientras que las contribuciones reflejas a la rigidez articular aumentan (Zhang & Rymer, 2001). Sin embargo también se ha descrito la ausencia de cambios con fatiga a nivel de reclutamiento dinámico en tobillo (Hunter & Kearney, 1983).

En relación con este epígrafe se ha encontrado un estudio de relevancia (Herrmann, Madigan, Davidson, & Granata, 2006) (Tabla 4, Anexo III). El estudio de Herrmann ha ofrecido un 36% de aumento en la amplitud refleja, de forma similar a los aumentos hallados en estudios previos hechos en extensores de rodilla (Häkkinen & Komi, 1983) (Hortobágyi et al., 1991) y flexores de codo (Kirsch & Rymer, 1987). Sin embargo otros autores han descrito la presencia de reducciones en la actividad refleja en flexores plantares, flexores de dedos y en el primer interóseo dorsal (Balestra, Duchateau, & Hainaut, 1992) (Garland & McComas, 1990) (Hagbarth et al., 1995). El hecho de que haya diferencias en protocolos así como en los músculos objeto de estudio podría estar detrás de estas discrepancias.

5.

Fatiga en musculatura postural previa. Tarea postural previa.

Existen diferentes mecanismos utilizados por el SNC para mantener el equilibrio corporal, estando entre ellos los cambios en la actividad de la musculatura del tronco y de las extremidades (principalmente de las raíces de éstas y en el miembro inferior). Estos cambios posturales se comprueban previos a una perturbación y suelen considerarse como una parte inherente del programa motor que gobierna un movimiento focal, más que un producto de un programa motor separado que le acompañe (Aruin & Latash, 1995) (Zattara & Bouisset, 1988). Se han comprobado incluso en tareas básicas (Assaiante, Woollacott, & Amblard, 2000). Se sabe que estos cambios posturales pueden estar codificados por variaciones en movimientos focales tales como cambios en velocidad, aceleración, dirección y carga.

Activación precoz postural e independencia de la tarea mantenida

Existen estudios recientes que han descrito la influencia de la fatiga sobre musculatura postural en tareas que los incluyen (Morris & Allison, 2006) (Allison & Henry, 2002) (Vuillerme, Nougier, & Teasdale, 2002) (Strang & Berg, 2007). (Tabla 5, Anexo III).

Allison y Henry, así como Vuillerme se han centrado en la temporalidad de la musculatura postural, comprobando sus cambios tras fatiga expresados en el hecho de que la actividad postural comenzaba en ocasiones más precozmente que en situaciones sin fatiga. En concreto el comienzo precoz de la musculatura postural se observó por Vuillerme en uno de cuatro músculos evaluados (semitendinoso ipsilateral) y en uno de cinco en el estudio de Allison y Henry (oblicuo externo). En el caso de Strang comprobó que la fatiga provocaba actividad postural de comienzo precoz durante la maniobra de levantamiento de brazo unilateral en varios músculos evaluados (paraespinales) siendo dinámica la actividad (levantamiento de peso) para así asemejarse a los trabajos de levantar cargas; así este estudio se diferencia de los otros referidos en los que la fatiga se provocó también mediante uso de musculatura de tronco o extremidad inferior.

Vuillerme, así como Allison y Henry especulan que el comienzo precoz de actividad postural inducido por fatiga puede ser un intento funcional del SNC en limitar cualquier alteración postural debida a un movimiento focal a pesar de la presencia de fatiga muscular.

Estabilidad en la intensidad de acción postural

Tanto el estudio de Vuillerme como el de Strang tienen similitudes en lo relativo a la cuantificación resultante de la integral del EMG de la actividad postural. En ambos casos la fatiga ha mostrado resultar en unos valores similares entre la situación previa de control y la post-fatiga en lo relativo a la cantidad de señal obtenida. Estos resultados (no variabilidad de actividad postural) sugieren que el SNC controla un fenómeno global en la actividad muscular (impulso) más que algo específico (fuerza o tiempo) al levantar brazos.

El estudio de Vuillerme es bastante completo en caracterizar los efectos de la fatiga local en términos de actividad electromiográfica. Sin embargo este estudio tiene ciertas limitaciones. La muestra empleada ha sido pequeña y no ha habido un grupo control, y por tanto los cambios hallados no se puede saber con certeza si son debidos a la fatiga o a una adaptación debida a la práctica. Vuillerme no estudió la estabilidad durante el movimiento focal. Por estas razones, este estudio no puede evaluar con nitidez que la fatiga esté detrás de la anticipación postural como adaptación funcional. Sin embargo el estudio de Strang mejora el de Vuillerme al establecer un grupo control y evaluar la estabilidad postural durante el movimiento focal con un número mayor de casos.

El presente estudio de Strang comprobó que la fatiga local originaba actividad postural precoz, se mantenía la estabilidad postural pero no aumentaba la actividad muscular (medida como la integral del EMG). En otro estudio de Morris y Allison (Morris & Allison, 2006) se comprobó una reducción de actividad postural tras fatiga de recto abdominal durante movimientos hacia atrás de hombro unilaterales, así como tras fatiga de erector espinal durante movimientos hacia delante de hombro. Hallaron que la fatiga provocaba una mayor actividad de reposo en el oblicuo interno pudiendo reflejar el rol de este músculo en aumentar la rigidez de tronco. Esto es, que una reducción de actividad postural en músculos más dinámicos (como erector espinal y recto del abdomen) pueda acompañarse por un aumento de actividad en músculos más estabilizadores (como oblicuo interno o transversal abdominal). Incluso se ha sugerido que el SNC reduciría la actividad postural para limitar sus efectos desestabilizantes en actividades posturales o intersegmentarias (Aruin, Forrest, & Latash, 1998).

6.

Fatiga postural previa. Tarea en postura previa y musculatura ejecutora.

En el caso de la fatiga como causa, el nivel al que ocurren las alteraciones debidas a la misma depende de la forma en que la fatiga es inducida (R M Enoka & Stuart, 1992). En diversos estudios (Nardone, Tarantola, Giordano, & Schieppati, 1997) (Corbeil, Blouin, Bégin, Nougier, & Teasdale, 2003) (Ledin, Fransson, & Magnusson, 2004) (Strang & Berg, 2007) (Vuillerme et al., 2002) centrados en control postural o bajo situaciones de fatiga o bien en cambios posturales tras fatiga, ésta se realizó en musculatura postural. Sin embargo es sabido que el tipo de tarea final (focal) puede afectar a la actividad postural (Horak, Esselman, Anderson, & Lynch, 1984) (Lee, Buchanan, & Rogers, 1987) (Mochizuki, Ivanova, & Garland, 2004) (Corcos, Jiang, Wilding, & Gottlieb, 2002) por lo que se requiere explorar estudios en los que se haya producido fatiga en ejecutores de tarea y comprobar cómo influyen en la modulación postural¹⁷.

Desde una perspectiva dirigida a las aplicaciones clínicas de los principios de la cinesiología, hay que destacar la importancia en la evaluación y seguimiento en diferentes protocolos clínicos a diferentes niveles. La evaluación de lesiones y discapacidades según actividad o tarea final implica el conocimiento de fuerzas y patrones motores para determinar el tipo y extensión del problema. De forma añadida y en relación con la tarea final los datos aportados por estos estudios dirigidos pueden contribuir a dar explicaciones a posibles problemas originados no a nivel motor sino en diferentes sistemas sensoriales, incluyendo el propioceptivo, el vestibular y el visual. En resumen, las medidas según tarea, de postura (en bipedestación, sentados, usando herramientas) y movimiento ayudan a determinar posibles disfunciones y aportar sugerencias para el tratamiento e intervención.

Un reciente estudio (Kanekar et al., 2008) ha evaluado de forma comparativa cómo una fatiga muscular focal o no focal afecta a la actividad postural en términos de tiempo de comienzo y magnitud, valorando hasta qué punto las respuestas específicas musculares siguen un plan común y mantienen la eficiencia del control postural (Tabla 6, Anexo III). En su estudio provocaron fatiga bien a isquiotibiales o a deltoides anterior, considerándolos respectivamente postural o músculo ejecutor de tarea. La tarea de miembro superior, levantar brazo, se realizaba sujetando una barra con las manos. En este estudio comprobaron que tras fatiga deltoidea o de isquiotibiales hubo actividad postural

¹⁷ Sería el correlato de cómo en un trabajo en el que se fatiga una musculatura de acción, puede haber afectación postural en estabilizadores (que deberían de seguir estables por la seguridad y eficacia de la tarea).

precoz en erector de la columna, semitendinoso, bíceps, gastrocnemio y sóleo. Este efecto ya se vio en estudios previos (Allison & Henry, 2002) (Vuillerme et al., 2002) (Strang & Berg, 2007) pudiendo deberse a una adaptación del SNC para mantener la estabilidad postural¹⁸. Si bien es sabido que las alteraciones provocadas por el propio sujeto provocan actividad postural en un orden disto-proximal (Friedli, Hallett, & Simon, 1984) en el presente estudio (Kanekar et al., 2008) el comienzo fue próximo-distal tanto en situación control como bajo fatiga, pudiendo deberse al hecho de requerir la generación de un momento estabilizador para mover la barra sujeta en las manos. Estos mismos autores comprobaron que tras la fatiga el RMS del semitendinoso resultó menor tanto para fatiga general como local.

Un enfoque de análisis aplicado para la prevención de lesiones en el lugar de trabajo es el planteado por la ergonomía, una disciplina que se ocupa del diseño de soportes, herramientas, equipamientos y tareas adaptadas a las características anatómicas, fisiológicas, perceptivas, evolutivas y biomecánicas de las personas. En este sentido, el análisis de movimiento y postura durante el trabajo permite reconocer los patrones seguros e inseguros en la actividad que se desempeña. En esta línea destacamos el estudio de Cote (Côté, Mathieu, Levin, & Feldman, 2002) en el que los sujetos tenían que aserrar de forma continua y natural un trozo de madera. El protocolo de fatiga incluía dos partes, una en la que los sujetos hacían la tarea de aserrado alternando con otra de contracciones isométricas de extensión de codo (a 70% de MVC). Es de interés recalcar que se usó una combinación de ejercicio isométrico y dinámico. Esto fue así para acelerar tanto la fatiga local como la general, pues al usar sólo aserramiento se observa una gran variabilidad de duración en la actividad entre sujetos (Côté et al., 2002). Los sujetos realizaban la tarea hasta llegar a un nivel percibido de fatiga elevado y valorar su estado de fatiga general y local mediante dos escalas. En este estudio la fatiga se asoció con una reducción de fuerza sin afectarse la amplitud de movimiento tanto longitudinal como vertical ni cambios en la duración de cada ciclo. Sin embargo la amplitud de movimiento del codo se redujo y la de hombro, muñeca, tronco y cadera aumentaron. En este tipo de tarea, la fatiga (que se esperaba mayor en extensores de codo) se mostró como mayor a nivel de musculatura del hombro más que del codo.

Tanto en esta tarea de aserrar como en martilleo (Cote, Feldman, Mathieu, & Levin, 2008) (Côté et al., 2005) la fatiga ha dado lugar a un patrón con menor movimiento de amplitud de codo compensada con un aumento en el movimiento de tronco. El martilleo en situaciones de fatiga también muestra una mayor actividad de trapecio así como de musculatura distante como el oblicuo externo (Cote et al., 2008) (Côté et al., 2005).

¹⁸ Otra explicación viene dada en el caso de erector espinal en cambios relativos en posición de partida tras la fatiga, esto es que los sujetos partan de una posición con tronco más extendido para poder así solventar la elevación del hombro con mayor facilidad.

7.

Fatiga en musculatura postural. Tarea en musculatura postural.

Aun siendo de menor relevancia que las tareas dinámicas, las actividades estáticas tienen cierta relevancia ocupacional. El análisis cuantitativo de patrones posturales también va a ser de gran importancia para el establecimiento de los límites considerados normales y la determinación de los cambios de estado. A estos efectos se han hallado dos estudios de interés (Tabla 7, Anexo III). Se considera que el control de la posición vertical es de gran interés a estos efectos.

En Fuller (Fuller et al., 2009) se estudió una tarea de alcance repetitivo a la altura del hombro¹⁹, encontrando que los sujetos mostraban mayor actividad de miembro superior, una más alta posición de acción sobre el hombro y éste menos abducido; junto a esto se observaba una desviación del centro de masa hacia el otro brazo, asumiendo que son compensaciones a la aparición de fatiga.

El estudio de Sparto (Sparto et al., 1997) considera una adaptación a la fatiga en musculatura de otras articulaciones a la principalmente afectada, algo ya valorado en cierta medida por Bonnard (Bonnard et al., 1994)²⁰. En el estudio de Sparto los sujetos reducían la actividad de rodilla y cadera aumentando la de tronco. Es de interés por tanto destacar que la fatiga no sólo provoca adaptaciones de musculatura de la extremidad que actúa sino también a nivel de tronco.

19 Tarea con similitudes a ciertos trabajos de movimiento de cargas.

20 Comprobaron que había mayor movilidad de rodilla que de tobillo tras la fatiga.



8.

Comentario general, recursos metodológicos y recomendaciones.

La mayor frecuencia de estudios relevantes lo ha sido evaluando musculatura ejecutora en tareas de movimiento. Estos estudios detallan en su conjunto que en situaciones de fatiga existe una redistribución de participaciones musculares, con una mayor variabilidad en parámetros medidos. También se ha visto cuando la tarea es postural. Esto conlleva el considerar de posible interés que cuando se haga una evaluación de personas con fatiga (comprobada o previsible) en una zona corporal determinada, se evalúen otros elementos que participen en la tarea ya que pueden ser focos compensatorios. Esto podría traducirse en usar en un sistema de salud como recursos metodológicos de evaluación útiles aquellas técnicas y procedimientos habituales que detecten estos cambios (ya descrito) así como otros que puedan ser novedosos como son la valoración de modos-M o la mecanomiografía.

La información concerniente a valoración de estos cambios en clínica que ofrece actualmente la literatura incluye el uso de métodos cualitativos (escalas e índices principalmente para valorar la fatiga aunque también se usan para valorar los resultados en actividad funcional) y los cuantitativos (evaluación EMG, cinética y cinemática). En general la decisión de utilizar cada una de estas medidas en un seguimiento particular o en un ensayo clínico se basa en diversas consideraciones incluidas: la naturaleza de las preguntas que se realiza el clínico; las características de la persona en estudio; la experiencia del equipo evaluador en una línea de trabajo, o las mejoras que se hayan introducido sobre un determinado sistema de evaluación en estudios previos.

Los métodos cuantitativos de evaluación (evaluación EMG, cinética y cinemática) al querer obtener medidas de objetividad, exactitud, reproducibilidad, fiabilidad y precisión, recurren al uso de técnicas de recogida de datos mensurables tales como la acelerometría (midiendo la aceleración de los cuerpos o segmentos), goniómetros (evaluación del nivel de desplazamiento articular), sistemas dinamométricos (para evaluar las fuerzas ejercidas por los cuerpos), sistemas de registro de imagen como vídeo, fotografía, cinematografía, etc. que aportan unos datos que permiten tener una perspectiva acerca de las características funcionales que no pueden ser aportadas por los sistemas cualitativos. A la vista de los estudios evaluados, parece de interés recomendar la realización de estudios en los que el grado de fatiga muscular llegue a provocar la incorrecta ejecución del gesto solicitado para así poder evaluar los componentes que más se alteran en situación de fallo.

En situaciones de fatiga en musculatura ejecutora la capacidad de estimar posiciones o movimientos en la misma zona fatigada se reduce. Esto conlleva a pensar que la capacidad de utilizar el sentido posicional para adecuar la exactitud y precisión del gesto se puede ver comprometida en ocupaciones que lo requieran en un alto grado. A efectos de evaluación en un sistema de salud podrían considerarse aquellos recursos de evaluación que incluyan técnicas de análisis de gestos de precisión y exactitud así como la síntesis ulterior de la información obtenida.

Respecto a los estudios de alteraciones comprobadas a nivel de reflejos actualmente parecen más un campo explicativo de fenómenos analíticos sin existir aún una traslación directa para considerarlos como de aplicación en salud.

Los estudios relevantes en los que se ha evaluado la fatiga en la actividad postural han sido escasos en su conjunto, bien evaluando musculatura postural o ambas musculatura postural y ejecutora. De estos estudios se comprueba la coincidencia de autores en que en ejecuciones correctas de tarea la actividad postural aparece antes tras la fatiga muscular, pudiendo prolongarse en el tiempo manteniendo una intensidad total parecida o menor (según estudios) a la situación control. Estos estudios llevan a sugerir el recomendar incluir tanto en prevención como en evaluación ante la existencia de daño un análisis funcional de grupos musculares estabilizadores posturales, máxime si cabe cuando ellos dan seguridad al actuante en la tarea que realiza (en evitación de riesgos).

Hoy día hay sistemas portátiles y de telemetría que permiten obtener información incluso de periodos de tiempo prolongado para así asemejarse a la actividad diaria, siendo necesaria la correcta valoración de resultados (Dimitrova & Dimitrov, 2003). La correcta identificación de los parámetros que definen un movimiento es esencial en la evaluación de los patrones alterados en pacientes. Este tipo de información puede ser recogida de forma precisa y objetiva mediante análisis cuantitativos de patrones de movimiento, posibilitando el establecimiento de los límites normales y determinando los cambios de estado (como podría ser la sustitución funcional en situaciones de fatiga extrema). La actividad sanitaria, en lo relativo a la actividad funcional del aparato locomotor, se orienta a la restitución funcional en los diversos planos de desventaja que se establecen (deficiencia, discapacidad y minusvalía). En el caso de los patrones posturales, al participar en actividades funcionales, llevan a pensar en la posible necesidad de que los componentes de esta actividad se evalúen siguiendo procedimientos de análisis de resultados últimos (en relación con la tarea más que con la postura en sí). A nivel práctico, este tipo de enfoque podría ser interesante para la optimización de servicios sanitarios a diferentes niveles, dado que permite comprobar qué terapia aplicar y valorar la evolución tras la misma (medicación, dispositivos implantados, terapia física, etc...) siempre en relación con la actividad que se ejecuta bien sea una ocupación laboral o se refiera al cumplimiento de las denominadas actividades de la vida diaria.

Son escasos los estudios relevantes en los que se ha evaluado la fatiga en musculatura postural cuando también se ha fatigado la ejecutora de tarea. Básicamente se comprueba una alteración del patrón tras fatiga con cambios en la actividad muscular.

El acceso a la utilización de los sistemas de evaluación funcional no es siempre posible, ya que estas tecnologías suelen estar ubicadas principalmente en instituciones de tipo académico, centros de investigación o centros de atención clínica especializados, no siendo frecuente su presencia en asistencia primaria, aunque se observa como esta situación tiende a cambiar en los últimos años. Aun así, la extensión de su uso en clínica aún está lejos de ser rutinario. Han existido multitud de intentos para promocionar y fomentar el uso de este tipo de recursos en clínica pero la limitación de la disponibilidad de dichos recursos materiales y humanos, a la hora de distribuir de forma racional el uso de estas técnicas se relaciona con el respetar los criterios de efectividad y utilidad de según las características de los pacientes o procesos a valorar.

Es frecuente la extensión del uso de sistemas de evaluación cualitativa en valoración funcional, siendo los instrumentos más empleados los índices y escalas, junto con cuestionarios y entrevistas personales. Las mediciones de resultados en salud, tales como estado funcional y bienestar, reflejarían dimensiones de salud de una forma general, aunque durante los últimos años se observa como existe una tendencia a que las evaluaciones aumenten su grado de especificidad con relación a una enfermedad, problema o intervención concreta.

Para terminar, indicar que con una correcta disponibilidad temporal y planificación sería lo idóneo y oportuno realizar comprobaciones (o replicación de hallazgos encontrados) en tareas mediante estudios piloto de laboratorio en centros expertos, cotejando, comparando in situ la información ya obtenida, adicionando y aumentando lo que resultara oportuno a la vista de los resultados presentes.





Bibliografía

- Alaranta, H., Luoto, S., Heliövaara, M., & Hurri, H. (1995). Static back endurance and the risk of low-back pain. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 10(6), 323–324.
- Allen, T. J., & Proske, U. (2006). Effect of muscle fatigue on the sense of limb position and movement. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 170(1), 30–38. doi:10.1007/s00221-005-0174-z
- Allison, G. T., & Henry, S. M. (2002). The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements, a pilot study. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 17(5), 414–417.
- Angyán, L., Antall, C., & Angyán, Z. (2007). Reproduction of reaching movements to memorized targets in the lack of visual control. *Acta physiologica Hungarica*, 94(3), 179–182. doi:10.1556/APhysiol.94.2007.3.2
- Aruin, A. S., Forrest, W. R., & Latash, M. L. (1998). Anticipatory postural adjustments in conditions of postural instability. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 109(4), 350–359.
- Aruin, A. S., & Latash, M. L. (1995). Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 103(2), 323–332.
- Assaiante, C., Woollacott, M., & Amblard, B. (2000). Development of postural adjustment during gait initiation: kinematic and EMG analysis. *Journal of motor behavior*, 32(3), 211–226. doi:10.1080/00222890009601373
- Aymard, C., Katz, R., Lafitte, C., Le Bozec, S., & Pénicaud, A. (1995). Changes in reciprocal and transjoint inhibition induced by muscle fatigue in man. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 106(3), 418–424.
- Balestra, C., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1992). Effects of fatigue on the stretch reflex in a human muscle. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 85(1), 46–52.
- Barr, D., Gregson, W., & Reilly, T. (2010). The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Applied ergonomics*, 41(1), 161–172. doi:10.1016/j.apergo.2009.07.001
- Beelen, A., & Sargeant, A. J. (1991). Effect of fatigue on maximal power output at different contraction velocities in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 71(6), 2332–2337.

- Biering-Sørensen, F. (1984). Physical measurements as risk indicators for low-back trouble over a one-year period. *Spine*, 9(2), 106–119.
- Björklund, M., Crenshaw, A. G., Djupsjöbacka, M., & Johansson, H. (2000). Position sense acuity is diminished following repetitive low-intensity work to fatigue in a simulated occupational setting. *European journal of applied physiology*, 81(5), 361–367. doi:10.1007/s004210050055
- Bonnard, M., Sirin, A. V., Oddsson, L., & Thorstensson, A. (1994). Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in humans. *Neuroscience letters*, 166(1), 101–105.
- Brown, P. I., & McConnell, A. K. (2012). Respiratory-related limitations in physically demanding occupations. *Aviation, space, and environmental medicine*, 83(4), 424–430.
- Carlsen, A. N., Chua, R., Inglis, J. T., Sanderson, D. J., & Franks, I. M. (2004). Prepared movements are elicited early by startle. *Journal of motor behavior*, 36(3), 253–264. doi:10.3200/JMBR.36.3.253-264
- Carpenter, J. E., Blasier, R. B., & Pellizzon, G. G. (1998). The effects of muscle fatigue on shoulder joint position sense. *The American journal of sports medicine*, 26(2), 262–265.
- Castellote, J M, Valls-Solé, J., & Sanegre, M. T. (2004). Ballistic reactions under different motor sets. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 158(1), 35–42. doi:10.1007/s00221-004-1866-5
- Castellote, Juan M, Kumru, H., Queralt, A., & Valls-Solé, J. (2007). A startle speeds up the execution of externally guided saccades. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 177(1), 129–136. doi:10.1007/s00221-006-0659-4
- Castellote, Juan M, Queralt, A., & Valls-Solé, J. (2012). Preparedness for landing after a self-initiated fall. *Journal of neurophysiology*, 108(9), 2501–2508. doi:10.1152/jn.01111.2011
- Cignetti, F., Schena, F., & Rouard, A. (2009). Effects of fatigue on inter-cycle variability in cross-country skiing. *Journal of biomechanics*, 42(10), 1452–1459. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.04.012
- Corbeil, P., Blouin, J.-S., Bégin, F., Nougier, V., & Teasdale, N. (2003). Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. *Gait & posture*, 18(2), 92–100.

- Corcos, D. M., Jiang, H.-Y., Wilding, J., & Gottlieb, G. L. (2002). Fatigue induced changes in phasic muscle activation patterns for fast elbow flexion movements. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 142(1), 1–12. doi:10.1007/s00221-001-0904-9
- Cordo, P. J. (1990). Kinesthetic control of a multijoint movement sequence. *Journal of neurophysiology*, 63(1), 161–172.
- Cote, J. N., Feldman, A. G., Mathieu, P. A., & Levin, M. F. (2008). Effects of fatigue on intermuscular coordination during repetitive hammering. *Motor control*, 12(2), 79–92.
- Côté, J. N., Mathieu, P. A., Levin, M. F., & Feldman, A. G. (2002). Movement reorganization to compensate for fatigue during sawing. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 146(3), 394–398. doi:10.1007/s00221-002-1186-6
- Côté, J. N., Raymond, D., Mathieu, P. A., Feldman, A. G., & Levin, M. F. (2005). Differences in multi-joint kinematic patterns of repetitive hammering in healthy, fatigued and shoulder-injured individuals. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 20(6), 581–590. doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.02.012
- Danion, F., Latash, M. L., Li, Z. M., & Zatsiorsky, V. M. (2001). The effect of a fatiguing exercise by the index finger on single- and multi-finger force production tasks. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 138(3), 322–329.
- Danna-Dos Santos, A., Poston, B., Jesunathadas, M., Bobich, L. R., Hamm, T. M., & Santello, M. (2010). Influence of fatigue on hand muscle coordination and EMG-EMG coherence during three-digit grasping. *Journal of neurophysiology*, 104(6), 3576–3587. doi:10.1152/jn.00583.2010
- Dimitrova, N. A., & Dimitrov, G. V. (2003). Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 13(1), 13–36.
- Duke, J., Guest, M., & Boggess, M. (2010). Age-related safety in professional heavy vehicle drivers: a literature review. *Accident; analysis and prevention*, 42(2), 364–371. doi:10.1016/j.aap.2009.09.026

- Emery, K., & Côté, J. N. (2012). Repetitive arm motion-induced fatigue affects shoulder but not endpoint position sense. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 216(4), 553–564. doi:10.1007/s00221-011-2959-6
- Emery, K., De Serres, S. J., McMillan, A., & Côté, J. N. (2010). The effects of a Pilates training program on arm-trunk posture and movement. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 25(2), 124–130. doi:10.1016/j.clinbiomech.2009.10.003
- Enoka, R M, & Stuart, D. G. (1985). The contribution of neuroscience to exercise studies. *Federation proceedings*, 44(7), 2279–2285.
- Enoka, R M, & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 72(5), 1631–1648.
- Enoka, Roger M, & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *The Journal of physiology*, 586(1), 11–23. doi:10.1113/jphysiol.2007.139477
- Farina, D., Leclerc, F., Arendt-Nielsen, L., Buttelli, O., & Madeleine, P. (2008). The change in spatial distribution of upper trapezius muscle activity is correlated to contraction duration. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 18(1), 16–25. doi:10.1016/j.jelekin.2006.08.005
- Flynn, J. M., Holmes, J. D., & Andrews, D. M. (2004). The effect of localized leg muscle fatigue on tibial impact acceleration. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)*, 19(7), 726–732. doi:10.1016/j.clinbiomech.2004.04.015
- Forestier, N., & Nougier, V. (1998). The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human. *Neuroscience letters*, 252(3), 187–190.
- Friedli, W. G., Hallett, M., & Simon, S. R. (1984). Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements 1. Electromyographic data. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 47(6), 611–622.
- Fuentes, C. T., & Bastian, A. J. (2010). Where is your arm? Variations in proprioception across space and tasks. *Journal of neurophysiology*, 103(1), 164–171. doi:10.1152/jn.00494.2009
- Fuller, J. R., Fung, J., & Côté, J. N. (2011). Time-dependent adaptations to posture and movement characteristics during the development of repetitive reaching induced fatigue. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 211(1), 133–143. doi:10.1007/s00221-011-2661-8

- Fuller, J. R., Lomond, K. V., Fung, J., & Côté, J. N. (2009). Posture-movement changes following repetitive motion-induced shoulder muscle fatigue. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 19(6), 1043–1052. doi:10.1016/j.jelekin.2008.10.009
- Garland, S. J., & McComas, A. J. (1990). Reflex inhibition of human soleus muscle during fatigue. *The Journal of physiology*, 429, 17–27.
- Gates, D. H., & Dingwell, J. B. (2008). The effects of neuromuscular fatigue on task performance during repetitive goal-directed movements. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 187(4), 573–585. doi:10.1007/s00221-008-1326-8
- Gates, D. H., & Dingwell, J. B. (2010). Muscle fatigue does not lead to increased instability of upper extremity repetitive movements. *Journal of biomechanics*, 43(5), 913–919. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.11.001
- Gazeau, F., Koralsztein, J. P., & Billat, V. (1997). Biomechanical events in the time to exhaustion at maximum aerobic speed. *Archives of physiology and biochemistry*, 105(6), 583–590. doi:10.1076/apab.105.6.583.3272
- Gollhofer, A., Komi, P. V., Miyashita, M., & Aura, O. (1987). Fatigue during stretch-shortening cycle exercises: changes in mechanical performance of human skeletal muscle. *International journal of sports medicine*, 8(2), 71–78. doi:10.1055/s-2008-1025644
- Granata, K P, & Gottipati, P. (2008). Fatigue influences the dynamic stability of the torso. *Ergonomics*, 51(8), 1258–1271. doi:10.1080/00140130802030722
- Granata, Kevin P, & England, S. A. (2006). Stability of dynamic trunk movement. *Spine*, 31(10), E271–276. doi:10.1097/01.brs.0000216445.28943.d1
- Granata, Kevin P, Slota, G. P., & Wilson, S. E. (2004). Influence of fatigue in neuromuscular control of spinal stability. *Human factors*, 46(1), 81–91.
- Gribble, P. L., & Ostry, D. J. (1999). Compensation for interaction torques during single- and multijoint limb movement. *Journal of neurophysiology*, 82(5), 2310–2326.

Hagbarth, K. E., Bongiovanni, L. G., & Nordin, M. (1995). Reduced servo-control of fatigued human finger extensor and flexor muscles. *The Journal of physiology*, 485 (Pt 3), 865–872.

Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1983). Electromyographic and mechanical characteristics of human skeletal muscle during fatigue under voluntary and reflex conditions. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 55(4), 436–444.

Hammarskjöld, E., & Harms-Ringdahl, K. (1992). Effect of arm-shoulder fatigue on carpenters at work. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 64(5), 402–409.

Herrmann, C. M., Madigan, M. L., Davidson, B. S., & Granata, K. P. (2006). Effect of lumbar extensor fatigue on paraspinal muscle reflexes. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 16(6), 637–641. doi:10.1016/j.jelekin.2005.11.004

Hodges, P. W., Moseley, G. L., Gabrielsson, A., & Gandevia, S. C. (2003). Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 151(2), 262–271. doi:10.1007/s00221-003-1457-x

Holtermann, A., Grönlund, C., Stefan Karlsson, J., & Roeleveld, K. (2008). Spatial distribution of active muscle fibre characteristics in the upper trapezius muscle and its dependency on contraction level and duration. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 18(3), 372–381. doi:10.1016/j.jelekin.2006.12.003

Holtermann, A., Roeleveld, K., & Karlsson, J. S. (2005). Inhomogeneities in muscle activation reveal motor unit recruitment. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*, 15(2), 131–137. doi:10.1016/j.jelekin.2004.09.003

Horak, F. B., Esselman, P., Anderson, M. E., & Lynch, M. K. (1984). The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 47(9), 1020–1028.

Hortobágyi, T., Lambert, N. J., & Kroll, W. P. (1991). Voluntary and reflex responses to fatigue with stretch-shortening exercise. *Canadian journal of sport sciences = Journal canadien des sciences du sport*, 16(2), 142–150.

- Hunter, I. W., & Kearney, R. E. (1983). Invariance of ankle dynamic stiffness during fatiguing muscle contractions. *Journal of biomechanics*, 16(12), 985–991.
- Johnston, R. B., 3rd, Howard, M. E., Cawley, P. W., & Losse, G. M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(12), 1703–1707.
- Kanekar, N., Santos, M. J., & Aruin, A. S. (2008). Anticipatory postural control following fatigue of postural and focal muscles. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2304–2313. doi:10.1016/j.clinph.2008.06.015
- Kawato, M. (1999). Internal models for motor control and trajectory planning. *Current opinion in neurobiology*, 9(6), 718–727.
- Keyserling, W. M., Herrin, G. D., & Chaffin, D. B. (1980). Isometric strength testing as a means of controlling medical incidents on strenuous jobs. *Journal of occupational medicine.: official publication of the Industrial Medical Association*, 22(5), 332–336.
- Kirsch, R. F., & Rymer, W. Z. (1987). Neural compensation for muscular fatigue: evidence for significant force regulation in man. *Journal of neurophysiology*, 57(6), 1893–1910.
- Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2002). Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(1), 26–31.
- Ledin, T., Fransson, P. A., & Magnusson, M. (2004). Effects of postural disturbances with fatigued triceps surae muscles or with 20% additional body weight. *Gait & posture*, 19(2), 184–193. doi:10.1016/S0966-6362(03)00061-4
- Lee, W. A., Buchanan, T. S., & Rogers, M. W. (1987). Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 66(2), 257–270.
- Madeleine, P., & Farina, D. (2008). Time to task failure in shoulder elevation is associated to increase in amplitude and to spatial heterogeneity of upper trapezius mechanomyographic signals. *European journal of applied physiology*, 102(3), 325–333. doi:10.1007/s00421-007-0589-2

Madeleine, P., Mathiassen, S. E., & Arendt-Nielsen, L. (2008). Changes in the degree of motor variability associated with experimental and chronic neck-shoulder pain during a standardised repetitive arm movement. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 185(4), 689–698. doi:10.1007/s00221-007-1199-2

Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Progress in neurobiology*, 38(1), 35–56.

Mehta, R. K., & Agnew, M. J. (2010). Analysis of individual and occupational risk factors on task performance and biomechanical demands for a simulated drilling task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(5), 584–591. doi:10.1016/j.ergon.2010.06.003

Mochizuki, G., Ivanova, T. D., & Garland, S. J. (2004). Postural muscle activity during bilateral and unilateral arm movements at different speeds. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 155(3), 352–361. doi:10.1007/s00221-003-1732-x

Morris, S. L., & Allison, G. T. (2006). Effects of abdominal muscle fatigue on anticipatory postural adjustments associated with arm raising. *Gait & posture*, 24(3), 342–348. doi:10.1016/j.gaitpost.2005.10.011

Moseley, G. L., Nicholas, M. K., & Hodges, P. W. (2004). Pain differs from non-painful attention-demanding or stressful tasks in its effect on postural control patterns of trunk muscles. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 156(1), 64–71. doi:10.1007/s00221-003-1766-0

Myers, J. B., & Lephart, S. M. (2000). The role of the sensorimotor system in the athletic shoulder. *Journal of athletic training*, 35(3), 351–363.

Nardone, A., Tarantola, J., Giordano, A., & Schieppati, M. (1997). Fatigue effects on body balance. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 105(4), 309–320.

Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *Journal of spinal disorders*, 5(4), 390–396; discussion 397.

Pedersen, J., Lönn, J., Hellström, F., Djupsjöbacka, M., & Johansson, H. (1999). Localized muscle fatigue decreases the acuity of the movement sense in the human shoulder. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(7), 1047–1052.

- Potvin, J. R., & O'Brien, P. R. (1998). Trunk muscle co-contraction increases during fatiguing, isometric, lateral bend exertions. Possible implications for spine stability. *Spine*, 23(7), 774–780; discussion 781.
- Proske, U. (2005). What is the role of muscle receptors in proprioception? *Muscle & nerve*, 31(6), 780–787. doi:10.1002/mus.20330
- Queralt, A., Valls-Solé, J., & Castellote, J. M. (2008). The effects of a startle on the sit-to-stand manoeuvre. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 185(4), 603–609. doi:10.1007/s00221-007-1185-8
- Sanegre, M. T., Castellote, J. M., Haggard, P., & Valls-Solé, J. (2004). The effects of a startle on awareness of action. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 155(4), 527–531. doi:10.1007/s00221-004-1849-6
- Singh, T., & Latash, M. L. (2011). Effects of muscle fatigue on multi-muscle synergies. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 214(3), 335–350. doi:10.1007/s00221-011-2831-8
- Singh, T., Varadhan, S. K. M., Zatsiorsky, V. M., & Latash, M. L. (2010). Fatigue and motor redundancy: adaptive increase in finger force variance in multi-finger tasks. *Journal of neurophysiology*, 103(6), 2990–3000. doi:10.1152/jn.00077.2010
- Sparto, P. J., & Parnianpour, M. (1998). Estimation of trunk muscle forces and spinal loads during fatiguing repetitive trunk exertions. *Spine*, 23(23), 2563–2573.
- Sparto, P. J., Parnianpour, M., Reinsel, T. E., & Simon, S. (1997). The effect of fatigue on multijoint kinematics, coordination, and postural stability during a repetitive lifting test. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 25(1), 3–12.
- Strang, A. J., & Berg, W. P. (2007). Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 178(1), 49–61. doi:10.1007/s00221-006-0710-5

Strang, A. J., Berg, W. P., & Hieronymus, M. (2009). Fatigue-induced early onset of anticipatory postural adjustments in non-fatigued muscles: support for a centrally mediated adaptation. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 197(3), 245–254. doi:10.1007/s00221-009-1908-0

Taimela, S., Kankaanpää, M., & Luoto, S. (1999). The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine*, 24(13), 1322–1327.

Todorov, E., & Jordan, M. I. (2002). Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature neuroscience*, 5(11), 1226–1235. doi:10.1038/nn963

Tripp, B. L., Yochem, E. M., & Uhl, T. L. (2007). Functional fatigue and upper extremity sensorimotor system acuity in baseball athletes. *Journal of athletic training*, 42(1), 90–98.

VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. (2012). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Vuillerme, N., Nougier, V., & Teasdale, N. (2002). Effects of lower limbs muscular fatigue on anticipatory postural adjustments during arm motions in humans. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 42(3), 289–294.

Walsh, L. D., Allen, T. J., Gandevia, S. C., & Proske, U. (2006). Effect of eccentric exercise on position sense at the human forearm in different postures. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 100(4), 1109–1116. doi:10.1152/jappphysiol.01303.2005

Zattara, M., & Bouisset, S. (1988). Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1. Normal subjects. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 51(7), 956–965.

Zhang, L. Q., & Rymer, W. Z. (2001). Reflex and intrinsic changes induced by fatigue of human elbow extensor muscles. *Journal of neurophysiology*, 86(3), 1086–1094.



Acrónimos

PubMed	<i>Public/Publisher MEDLINE</i>
ISI	<i>Institute for Scientific Information</i>
CISDOC	<i>Base de datos con información en “occupational safety and health”</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
ILO	<i>International Labor Organization</i>

OSH (Occupational Safety and Health) Update incluye las siguientes bases de Datos:

BSI	<i>Standards British Standards Institution</i>
CCOHS	<i>Canadian Centre for Occupational Health and Safety</i>
CISDOC	<i>The Health and Safety Information Centre of The International Labour Office</i>
EU Legislation	<i>Office of the Official Publications of the European Communities</i>
European Agency Publications	<i>European Agency for Safety and Health at Work Publications</i>
HSELINE	<i>UK Health and Safety Executive Information Services</i>
ILO Conventions, Protocols and Recommendations	<i>International Labour Office</i>
International Bibliographic	<i>Producido por Sheila Pantry Associates Ltd</i>
International Full Text Collection	<i>Documentos a texto completo de diversas fuentes a nivel mundial</i>
Irish Full Text Collection	<i>Documentos a texto completo de HSA, y otros centros de Irlanda</i>
Irish Legislation Full Text	<i>Documentos a texto completo de Irish Acts y SIs relevantes</i>
IRSST	<i>Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail</i>
Major Hazards Accidents and Incidents Database (MHAID)	<i>Producido por Sheila Pantry Associates Ltd</i>
NSAI Bibliographic	<i>Referencias a todos los “Irish Standards published by the NSAI”</i>
NSAI Full Text	<i>Documentos a texto completo de Irish Standards on Health and Safety</i>
NIOSHTIC	<i>US National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NIOSHTIC-2	<i>US National Institute for Occupational Safety and Health</i>
RILOSH	<i>Ryerson International Labour Occupational Safety and Health</i>
RoSPA	<i>UK Royal Society for the Prevention of Accidents Information Services</i>
UK Legislation Full Text	<i>Documentos a texto completo de UK Acts and SIs relevant to safety, health and welfare.</i>

SNC	<i>Sistema nervioso central</i>
EMG	<i>Electromiograma</i>
RMS	<i>Root-mean-square</i>



anexo II

Búsqueda bibliográfica

Base de datos	CISDOC (OSHA)	OSH UPDATE	Pubmed	WoK
	entradas	entradas	entradas	entradas
Muscle fatigue	79	315	6888	11211
Muscular Fatigue	96	121	577	1126
Physical Exertion	59	308	52317	53402
Physical Exertion and postural muscle	0	0	2	2
Physical Exertion and motor pattern	0	0	4	4
Postural muscle	13	10	262	303
Motor pattern	7	2	1006	2243
Anticipatory postural adjustment	0	0	57	92
Muscle Fatigue and postural muscle	1	1	6	7
Muscle Fatigue and motor pattern	0	0	1	2
Muscle Fatigue and Anticipatory postural adjustment	0	0	1	2
Muscular Fatigue and postural muscle	0	0	0	2
Muscular Fatigue and motor pattern	0	0	0	0
Muscular Fatigue and Anticipatory postural adjustment	0	0	0	1

Los artículos recuperados han sido clasificados conforme a los tres grados de evidencia definidos por la *Canadian Task Force on the Periodic Health Examination*. Siguiendo estos criterios los artículos se han clasificado en:

- Grado I: ensayos controlados aleatorizados.
- Grado II: ensayos controlados no aleatorizados; estudios de cohortes o de casos-contróles; comparaciones en tiempo o lugar de estados alcanzados con o sin intervención.
- Grado III: opiniones de expertos, estudios descriptivos.

El total de estudios han estado en el Grado II





ANEXO III

Artículos relevantes

1.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea de movimiento.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin de esfuerzo fatigante	Tarea
Gates 2008	9 músculos de brazo y espalda (1)	Desplazar horizontalmente un peso en una dirección (ambos sentidos) siguiendo a un metrónomo.	RPE con escala de Borg modificada (0-10) de 9 o superior al final.	Movimiento. La misma tarea de fatiga y a que se midió al inicio y parte final de la actividad.
Singh 2011	Tibial anterior	Fatiga de extensores de tobillo derecho	Caída al final de la MPF (frecuencia) del EMG de un mínimo del 25%	Movimiento. Oscilaciones en eje AP a tres frecuencias (0.25, 0.5 y 0.75 Hz) evitando oscilaciones en otros ejes. (2)
Fuller 2011	Musculatura de extremidad superior	Tarea de alcance repetitivo con brazo dominante entre dos dianas.	8 sobre 10 de Borg.	Movimiento. Alcance repetitivo entre dos dianas con miembro superior a la altura del hombro.
Huffenus 2006	A nivel distal (extensor digitorum communis) o proximal(triceps brachii)	Actividad isométrica mantenida máxima voluntaria (MVIF)	Fuerza bajó un 28% para fatiga de extensores de muñeca (EDC) y 38% para extensores de codo (triceps brachii)	Movimiento. Lanzamientos de un disco moviendo el brazo en un plano horizontal.
Huysmans 2008	Extensores de muñeca	Contracción isométrica mantenida de extensores	Respuesta a Escala de Borg de 10 puntos	Movimiento. Tarea de seguimiento de un punto que aparece en pantalla de PC (velocidad de 20mm/s) mediante un cursor de PC sostenido por la mano.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin de esfuerzo fatigante	Tarea
Madeleine 2008	Musculatura de hombro	Elevación isométrica de hombro	Hasta estado exhausto (menor de 15%MVC).	Movimiento. Elevación de hombro a diferentes porcentajes de MVC.
Apriantono 2006	Flexoextensores de rodilla	Actuar con ambas extremidades contra-resistencia en una máquina de fuerza hasta situación de exhausto.	Hasta estado exhausto	Movimiento. Golpear un balón
Bonnard 1994	Musculatura del tobillo	Saltos repetitivos.	Hasta estado exhausto	Movimiento. Salto repetido. (3)
Granata 2008	Musculatura extensora de tronco	Extensiones repetidas de tronco (30/minuto)	Reducción de la fuerza de MVE al 60%	Movimiento. Serie de movimientos repetitivos de flexión y extensión de tronco en el plano sagital medio con la finalidad de tocar repetidamente un objeto enfrente del sujeto
Cignetti 2009	Actividad corporal global	Esquí de fondo	Hasta estado exhausto	Movimiento. Esquí de fondo

(1): (trapezius - pars transversa- , pectoralis major, deltoideus - pars clavicularis, pars acromialis, pars spinalis-, triceps brachii (Caput laterale), biceps, flexor carpi radialis, and extensor carpi radialis longus).

(2): Modificaciones en diversos músculos del patrón además del músculo diana

(3): Cambios temporales musculares en músculos poliarticulares

2.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea postural.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Tripp 2007	Miembro superior	Lanzamientos de béisbol a máxima velocidad y exactitud.	Respuesta a Escala de Borg de 6 a 20 puntos con un Borg de 14; o haber hecho 160 lanzamientos	Postura. Lanzamiento de béisbol. Se miden dos posiciones de interacción de mano y bola.
Mehta 2010	Musculatura anterior de hombro	Flexión isométrica de hombro para simular la ejecución de uso repetido de una taladradora	Hasta estado exhausto (caída comprobada de 32% de MVC)	Postura. Ejecución de uso repetido de una taladradora debiendo fijar 14 tornillos rápidamente y sin errores.
Johnston 1998	Musculatura de extremidad inferior	Ejecución de fuerza contra un dinamómetro isocinético mediante tarea que incluye a tobillo, rodilla y cadera para asemejarse a subir escaleras	Igual o superior al 50% de MVC.	Postura. Test de balance en bipedestación.
Singh 2010	Extensores de rodilla	Flexiones de rodillas en bipedestación (cuclillas)	Percepción subjetiva de no poder seguir el ejercicio fatigante. Reducción de más de 15% de MVIC	Postura. Capacidad de extensores de rodilla en reproducir de forma mantenida y exacta un nivel de fuerza en movimiento determinado (establecido al 15% y 20% del valor de la contracción isométrica voluntaria máxima -MVIC-)

3.

Fatiga en musculatura ejecutora. Tarea de estimación de movimiento.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Carpenter 1998	Rotadores internos y externos de hombro	Ejecución de máximas rotaciones internas y externas de hombro en una máquina de isocinéticos	Hasta estado exhausto.	Estimación de movimiento. Capacidad de detección umbral de rotación interna y externa de hombro.
Pedersen 1999	Flexo-extensiones con rotación de hombro.	Ejecución de fuerza contra un dinamómetro isocinético mediante tarea que incluye flexo-extensiones con rotación de hombro.	Hasta: a) estado exhausto -30% de MVC- ; b) no exhausto - que nunca superen el 10% de MVC-.	Estimación de movimiento. Discriminar velocidad de movimiento impuesta al hombro derecho tras la fatiga.
Taimela 1999	Extensores de espalda	Extensiones contrarresistencia de espalda	Hasta estado exhausto.	Estimación de movimiento. Capacidad para detectar un cambio en la posición lumbar mientras se está sentado en una silla con capacidad de rotación.
Emery 2010	Miembro superior	Tarea de alcance repetitivo con brazo dominante entre dos dianas a una frecuencia de 1 Hz.	8 sobre 10 de Borg, incapacidad de seguir la tarea a la frecuencia establecida de 1Hz o mantener la altura de hombro o llevar 30 minutos de tarea.	Estimación de posición. Tareas de comprobación de sentido posicional (sin visión): una mediante el hombro y otra con todo el miembro superior. Implicaba colocar el hombro o un dedo en una localización espacial concreta.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Björklund 2000	Trabajo de hombro.	Empujar un pistón seguido de presión en un botón con la mano derecha a 30 ciclos/minuto siguiendo un metrónomo	(Mínimo de 10 minutos) o hasta llegar al límite establecido de fatiga -7 de 10 en Escala de Borg-	Estimación de posición. Reproducir un aposición en adducción y otra en abducción de hombro.
Allen 2006	Flexores de codo	Levantar peso mediante flexión de codo hasta que no se puede seguir la tarea.	Hasta estado exhausto.	Estimación de posición. 2 tareas. 1.- Sin visión colocar un brazo en la misma posición percibida a la que se ha colocado el otro. 2.- Sin visión seguir con un brazo la misma trayectoria impuesta al otro (se hizo una tercera tarea de interés secundario de colocación de brazo -como en 1- pero tras vibración de uno de ellos).

4.

Fatiga en musculatura ejecutora. Valoración de reflejos.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Herrmann 2006	Musculatura extensora de tronco	Extensiones repetidas de tronco con isométricos de extensores (30/minuto)	Reducción de la fuerza de MVC al 60%	Reflejos. Los reflejos se registraron en la musculatura paravertebral a nivel de L4

5.

Fatiga postural previa. Tarea postural previa.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Allison 2002	Extensores de tronco	Una extensión contra-resistencia mantenida de tronco	Cuando baja al 35% de MVC	Movimiento. Elevación rápida de miembro superior.
Vuillerme 2002	Musculatura dorsal de muslos y de zona lumbar	Tumbado en prono realizar un mantenimiento repetido de rodillas a 130 grados con 7kg en tobillos (ciclos de 1 minuto).	Cuando no se puede mantener más la posición.	Movimiento. La tarea de miembro superior de flexión anterior, levantar brazo, se realizaba sujetando una barra de 500 g con las manos yendo a más de 90 grados. Hecho a velocidad libre.
Strang 2007	Musculatura de extremidades inferiores y tronco	Activación dinámica (levantamiento de peso) para asemejarse a levantar cargas	Hasta estado exhausto.	Movimiento. valoración de estabilidad postural durante un movimiento focal que produce perturbación (levantamiento rápido unilateral de un brazo)
Morris 2006	Musculatura abdominal	Fatiga musculatura abdominal (isométrico mantenido tumbado y elevando tórax hacia rodillas)	Cuando no se puede mantener más la posición.	Movimiento. Elevación rápida de miembro superior tanto anterior como posterior.

6.

Fatiga postural previa. Tarea postural previa y en musculatura ejecutora.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Kanekar 2008	Isquiotibiales y a deltoides anterior (postural y músculo ejecutor de tarea)	Fatiga muscular focal o no focal	Hasta estado exhausto	Movimiento. La tarea de miembro superior, levantar brazo rápida, se realizaba sujetando una barra con las manos
Cote 2002	Musculatura de codo, hombro, muñeca, tronco y cadera	Aserrar de forma continua y natural (alternaban con contracciones isométricas de extensión de codo -a 70% de MVC-)	Borg mínimo de 17 y de 8 en escalas general (tarea) y local (hombro).	Movimiento. Aserrar de forma continua y natural
Cote 2005	Flexores de hombro	Martillar de forma continua y natural primando en la tarea los flexores de hombro (alternaban con contracciones isométricas de extensión de codo (a 70% de MVC)	Borg mínimo de 17 y de 8 en escalas general (tarea) y local (hombro).	Movimiento. Martilleo

7.

Fatiga en musculatura postural. Tarea en musculatura postural.

REF Año	F Músculo	F gesto	Criterio de fin esfuerzo fatigante	Tarea
Sparto 1997	Musculatura de extremidades (flexión de codo, extensión de rodilla) y de tronco (extensión)	Gesto repetido de levantar y bajar controladamente (excéntrico) pesos submáximos.	Hasta estado exhausto (reducción de 30% aprox. de capacidad de levantamiento; o una frecuencia cardiaca de 180/min.).	Postura. Levantar pesos de forma repetida
Fuller 2009	Musculatura de extremidad superior	Tarea de alcance repetitivo con brazo dominante entre dos dianas.	8 sobre 10 de Borg o incapacidad de seguir la tarea a la frecuencia establecida de 1Hz.	Postura. Estabilidad postural



Con la Financiación de:



FUNDACIÓN
PARA LA
PREVENCIÓN
DE RIESGOS
LABORALES

