

# Ergonomía Física

El Centro para Ergonomía Física (por sus siglas en inglés CPE) investiga las causas y mecanismos de las lesiones y enfermedades en lugar de trabajo, con énfasis en los trastornos musculoesqueléticos. Los investigadores del CPE investigan las demandas físicas y las capacidades humanas asociadas con diferentes tareas de trabajo. Los hallazgos de las investigaciones biomecánicas—así como los estudios de los sistemas hombre-máquina, trabajo repetitivo, tribología y la fisiología del trabajo—son utilizados para informar las intervenciones y las mejoras de la seguridad en el trabajo.

En el año 2011, los investigadores del CPE lanzaron dos nuevos estudios: uno que examina la fatiga del músculo de la espalda como un camino hacia el trauma acumulativo y otros que investigan los efectos de la fuerza, la postura y la frecuencia de la tarea en la presión del túnel carpiano. Con investigadores de la Escuela de Medicina Pública de Harvard y la Universidad VU (Ámsterdam), continuamos validando el uso de métodos basados en video para observar las tareas de levantamiento. Y conjuntamente con colegas del Centro de las Ciencias Conductuales, investigamos los efectos de la motivación y aclimatación sobre el alcance de distancias y estabilidad durante el uso de escaleras. En otros estudios, examinamos cómo diferentes maquinas tienen impacto en la fuerza requerida para tareas con carretillas manuales; y cómo el torque, ritmo y la relación trabajo-descanso afecta el uso de herramientas manuales asociadas.

Más allá del Instituto, los investigadores del CPE coorganizaron dos conferencias internacionales: la Conferencia Internacional sobre resbalones, tropezones y caídas y la Conferencia Internacional sobre Uso y Seguridad de las Escaleras.

## Ergonomía:

*Sustantivo*

*1: la disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los humanos y otros elementos de un sistema con el fin de optimizar el bienestar humano y el desempeño general del sistema*



## Impacto de la Fatiga del Músculo de la Espalda en el Trauma Acumulativo y el Riesgo de Lesión

Las lesiones de la espalda baja ocurren cuando las cargas externas y las fuerzas impuestas en la espalda exceden la tolerancia de la falla o tensión del tejido. Sin embargo, un solo evento de un escenario de lesión (por ejemplo, cuando la lesión se origina luego de levantar mucho peso) es relativamente raro. En la mayoría de los casos, el curso de un trauma acumulativo establecido previamente ha creado las condiciones previas para la lesión. Un componente central de la ruta del trauma acumulativo es una disminución de la tolerancia del tejido con el tiempo inducida por la fatiga. Se planteó la hipótesis de que la fatiga disminuye la calidad y precisión de los reflejos de estiramiento muscular de la espalda, lo que conduce a una disminución de la estabilidad de la columna, y un aumento en el riesgo subsiguiente de lesión de la columna. Nosotros lanzamos un estudio para examinar con mayor profundidad esta teoría y para explorar como los cambios relacionados con la fatiga en la tolerancia del tejido afecta el riesgo de lesión. Nuestros hallazgos serán utilizados para desarrollar herramientas de evaluación del riesgo de lesión y guías prácticas que toman estos cambios físicos en cuenta.



Reclutamos 20 hombres saludables (con una edad media de 25 años) para que participaran en el estudio. En una visita inicial al laboratorio, los investigadores aplicaron un procedimiento de prueba estándar para medir contracción voluntaria máxima (por sus siglas en inglés MVC) de los músculos extensores de la espalda de cada participante. En las dos sesiones siguientes, los participantes realizaron una prueba de resistencia de los extensores de la espalda sub-máxima (20 por ciento de MVC), ya sea como una tarea de la posición (sostener una pila de pesos, mientras mantenían el tronco en posición vertical) o una tarea de fuerza (ejercer la misma cantidad de fuerza contra un dinamómetro). Estas tareas permitieron a los investigadores manipular los reflejos de estiramiento muscular y la retroalimentación propioceptiva y observar sus efectos sobre la fatiga relacionada con la tarea. Para las tareas de posición,

se pidió a los sujetos mantener la postura del torso constante tanto como fuera posible, y verbalmente se les animó a hacerlo. Se les dio retroalimentación visual en las desviaciones de la postura. Para las tareas de fuerza, los sujetos fueron instruidos para que coincidieran la fuerza objetivo que se muestra en un monitor, y se les animó verbalmente aplicar la

fuerza por el mayor tiempo posible. Cuando el sujeto ya no podía mantener la postura o fuerza requerida, la tarea se consideró completa y el tiempo se registró como el tiempo de resistencia.

Durante los experimentos, los investigadores midieron continuamente la presión sanguínea, la oxigenación de los tejidos, y la electromiografía del músculo de la espalda (por sus siglas en inglés EMG). Para evaluar los cambios inducidos por la fatiga, los investigadores midieron las respuestas de reflejos de los sujetos mediante un sistema electromecánico de pulsación. Los investigadores aplicaron 25 pulsaciones (duración = 3.4 ms, Profundidad = 5 mm) al músculo erector derecho de la columna del sujeto antes e inmediatamente después de terminar las tareas, y se registró la respuesta EMG asociada (reflejo de latencia).

Los investigadores han comenzado a analizar los datos para evaluar el efecto de las características de la tarea en el tiempo de resistencia y control neuromuscular en los músculos de la espalda y a explorar las similitudes y diferencias en las respuestas del músculo de la espalda y de las extremidades a las tareas de fuerza y posición.

Para evaluar los cambios inducidos por la fatiga, los investigadores midieron las respuestas de reflejo de los sujetos mediante un sistema de pulsación electromecánico. Los investigadores aplicaron 25 pulsaciones al músculo erector de la columna antes e inmediatamente después de la terminación de tareas, y registraron la respuesta EMG asociada (latencia del reflejo).

## Métodos Avanzados de Codificación en Video para la Evaluación de los Riesgos de la Tarea de Elevación

Hemos progresado en un proyecto a largo plazo destinado a mejorar los métodos de codificación de vídeo utilizados para evaluar los riesgos involucrados en las tareas comunes de elevación en el lugar de trabajo. Ampliando los resultados de investigaciones anteriores que habían validado el uso de métodos basados en vídeo para la observación de las tareas de elevación simétricos, se examinó si tales métodos podrían aplicarse también para observar las tareas de elevación asimétricas. Conjuntamente con socios de investigación de la Escuela de Salud Pública de Harvard y de la Universidad VU (Ámsterdam), se evaluó la validez y fiabilidad de este método de observación. El objetivo a largo plazo de este proyecto es desarrollar un método basado en vídeo para la observación continua de la postura durante tareas de levantamiento. En última instancia, los métodos mejorados ayudarán a los investigadores y profesionales a comprender y gestionar mejor los riesgos asociados a las tareas de manipulación de materiales en el lugar de trabajo.

Para esta fase del estudio, se reclutaron 12 hombres sanos con una edad media de 47 años para realizar diversas tareas de elevación en un entorno de laboratorio. Las tareas simuladas implicaron levantar una caja de plástico (que mide 39 x 31 x 22 cm y pesa 10 kg) en las nueve condiciones de elevación correspondientes a tres rangos de elevación verticales y tres ángulos simétricos al final del levantamiento. Los tres rangos de elevación eran del piso a la altura de los nudillos, del piso a la altura del hombro, y de la altura de los nudillos a la altura de los hombros.

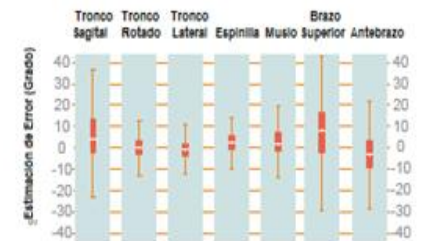


Diagrama de barras que muestra la distribución del error de estimación de los principales segmentos. El corte medio es la media, la caja representa el percentil 25 y 75, y las barras de error representan el máximo y mínimo.

Los tres ángulos asimétricos al final del levantamiento eran 0 °, 30 ° a la derecha, y 60 ° a la derecha, con el inicio del levantamiento sin asimetría. Para cada condición de levantamiento, los participantes realizaron dos repeticiones, con un total de 18 levantamientos (3 × 3 × 2). El orden de los rangos verticales y ángulos asimétricos fueron aleatorios para cada participante que realizaba la tarea de levantamiento. Los investigadores registraron las tareas de levantamiento utilizando una cámara de vista lateral y un sistema de seguimiento de movimiento sincronizado que mide directamente el movimiento del cuerpo.

Se registró un total de 214 clips de vídeo, luego fueron observados y evaluados por 10 personas con experiencia en ergonomía o kinesiología. Los "calificadores" realizaron estimaciones de la postura del cuerpo con un programa informático desarrollado a la medida que implicaba subir el clip de vídeo a una elevación dada, seleccionar cuatro marcos principales del clip que introducen los ángulos observados en el programa, revisar la animación de los ángulos introducidos, y perfeccionar la estimación sobre la base de la fidelidad de la animación.

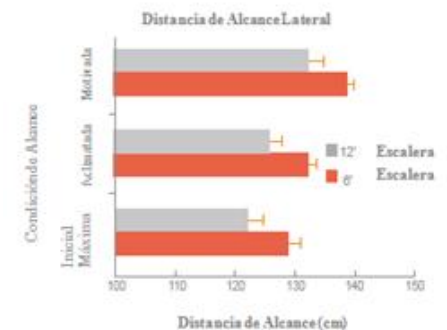
Los investigadores evaluaron la validez y la confiabilidad inter-evaluador de un método basado en video para observar los grandes ángulos de segmentos corporales durante las tareas de elevación asimétricas.

Los resultados de estos análisis indicaron que el método de observación de basado en vídeo propuesto proporciona una estimación robusta de los principales ángulos de segmentos para tareas simuladas de elevación asimétricas, y que los ángulos estimados para cada segmento del cuerpo fueron consistentes entre los diferentes evaluadores (véase el gráfico). Con un mayor desarrollo, este método podría ser utilizado en el desarrollo de herramientas de evaluación de la postura y de carga conjunta basada en vídeo

## Efectos de la Motivación y Aclimatación en las Distancias de Alcance Lateral desde Escaleras

La investigación ha mostrado que la mayoría de las caídas de escaleras ocurren cuando un individuo está trabajando desde la escalera y no cuando está subiendo o bajando. Para minimizar estos tipos de caídas, actualmente se recomienda que los usuarios de escaleras mantengan el centro de la masa del cuerpo entre los rieles de la escalera y eviten estiramiento excesivo. A pesar de que esta información se ha dado a conocer ampliamente, (comúnmente conocida como la regla del ombligo”) las personas siguen lesionándose con caídas de escaleras debido al estiramiento excesivo. Como parte de nuestros continuos esfuerzos para comprender mejor y prevenir las caídas relacionados con las escaleras, los investigadores del CPE dieron una mirada más cercana a los factores que pueden conducir al estiramiento excesivo. Conjuntamente con nuestros colegas del centro para las ciencias conductuales, llevamos a cabo un estudio de laboratorio para explorar los efectos de la motivación (completación de la tarea) y de la aclimatación (práctica) en las distancias de alcance lateral y estabilidad. La información obtenida será utilizada para actualizar las recomendaciones existentes en un esfuerzo para reducir el riesgo de caídas de escaleras.

La hipótesis del estudio es que los usuarios de escaleras novatos tienden a realizar un mayor alcance cuando se les motiva hacerlo, y/o después que se acostumbran a trabajar en escaleras manuales. Para probar esta teoría, reclutamos 24 hombres novatos en el uso de escaleras para realizar alcances laterales mínimos en el tercer peldaño desde el tope en escaleras de 6 y 12 pies. Los investigadores colocaron un objeto a una altura vertical a mitad del camino y entre las alturas del hombro y el codo para motivar a los participantes a alcanzar una distancia máxima. Los datos de la distancia de alcance máxima no motivada (ejemplo, sin objeto) ser recolectaron antes y después de los ensayos motivados. Las distancias de alcance fueron determinadas utilizando un sistema de captación de movimiento y las fuerzas laterales fueron medidas y registrada por platos de fuerza ubicados debajo de las patas de las escaleras.



Las distancias de alcance lateral media para las 288 condiciones de alcance dividido por las alturas de las escaleras de 6 y 12 pies.  
Nota: las barras de error representan los errores estándar

Una análisis de los datos indicó que la distancia de alcance lateral mínima promedio fue 66 mm más corta en la escalera de 12 pies que en la escalera de 6pies. Una aclimatación condujo a un aumento de 35 mm en las distancias de alcance no motivado. La motivación que utilizaba el objeto provocó un mayor aumento de 66 mm. La interacción entre las alturas de la escalera y la condición de alcance no fue significativa En todas las condiciones, la suma de las fuerzas bajo las dos patas de la escalera más alejadas del objetivo disminuyó de aproximadamente 50 por ciento a 12-18 por ciento del total de las fuerzas verticales creadas por el individuo y la escalera. Sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en las fuerzas entre las dos tareas de alcance no motivadas.

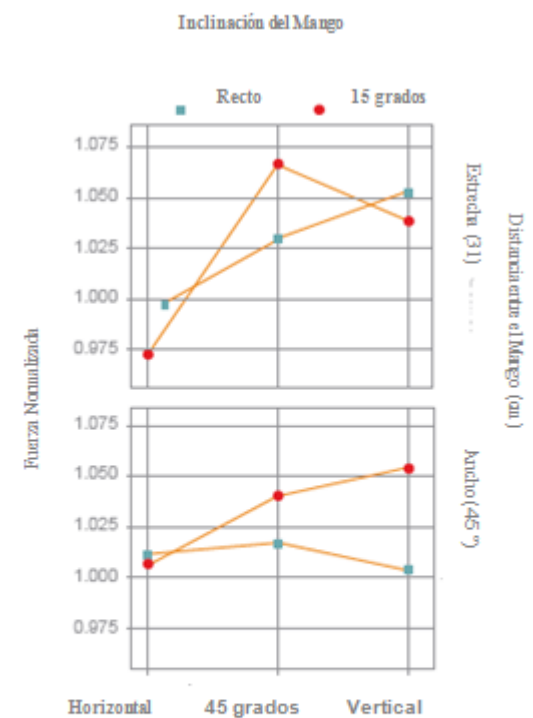
Los investigadores llegaron a la conclusión de que los usuarios de escaleras novatos extenderán su alcance si se les proporciona una tarea concreta a realizar. Además, después de un corto período de aclimatación, los usuarios fueron capaces de llegar más lejos sin afectar significativamente las fuerzas de debajo de la escalera. En otros análisis se tratará de identificar las modificaciones en la técnica que dieron como resultado un aumento de las distancias de alcance sin la correspondiente disminución de la estabilidad.



## Influencia de Orientación y Distancia del Mango en la Eficiencia de la Tarea de Empujar

Hemos completado un estudio de laboratorio de la influencia de la orientación y distancia del mango en la eficiencia de la tarea de empujar. El estudio examinó cómo los diferentes intercambios mango a mango afectan la fuerza necesaria requerida para las tareas de manipulación manual de materiales que implican el uso de carretillas, carretillas de mano, u otros vehículos manuales. Además de recoger las medidas biomecánicas de la fuerza, los investigadores recolectaron y analizaron mediciones subjetivas de las distintas configuraciones de mango presentadas. La información obtenida se puede utilizar para hacer recomendaciones para el ángulo óptimo del mango, posición de las manos, y orientación para las carretillas industriales y carretillas de mano.

Los investigadores reclutaron 31 adultos sanos en edades entre 16 y 64 años (14 hombres, 17 mujeres) para participar en el estudio. Cada participante realizó 12 variaciones de una tarea de empujar con las dos manos simuladas mientras estaban sentados en una estación de prueba de resistencia de empuje diseñada para minimizar la contribución del torso y las piernas. Las variaciones del mango incluyen un ángulo de rotación en el plano frontal ( $0^\circ$  horizontal;  $45^\circ$  y  $90^\circ$  en vertical); ángulo de inclinación ( $0^\circ$  paralela al plano frontal;  $15^\circ$  inclinada), y distancias de separación entre los dos mangos (31 y 48,6 cm, respectivamente). Cada una de las 12 condiciones se presentó a los participantes en dos ocasiones, en orden aleatorio, para un total de 24 ensayos.



Efecto de la interacción entre la rotación del mango y los ángulos de inclinación (recto y  $15^\circ$  inclinado) sobre la fuerza de empuje normalizada en las dos distancias entre el mango (estrecha y ancha)



Dentro de la estación de prueba, se utilizaron cuatro células de carga para medir los componentes horizontales (empujando hacia adelante) y verticales de las fuerzas de empuje. Una escala analógica visual de 100 mm, con las palabras de anclaje "peor" a la izquierda y "mejor" a la derecha, se utilizó para recopilar las mediciones subjetivas de preferencia para cada condición de la prueba.

Los datos indicaron que, en comparación con la configuración de referencia del mango (horizontal, recta, y a 31 cm de distancia entre el mango), los mangos a 45 ° rotados e inclinados con 31 cm de distancia entre mango permite 6,7 por ciento de más salida de empuje, y que los mangos horizontales e inclinados con 31 cm de distancia entre el mango resultaron en un 2,8 por ciento menos de salida de empuje (ver el gráfico). La preferencia subjetiva se correlaciona con la fuerza de empuje normalizada ( $r = 0,89$ ). Entre todas las configuraciones de mango, los mangos inclinados con una rotación de 45 ° en vertical reciben la más alta medición subjetiva. Los participantes masculinos ejercieron la mayor fuerza de empuje con una distancia entre el mango de 48,6 cm , y los participantes de sexo femenino con la distancia de 31 cm.

Estos resultados demuestran que la configuración del mango, que incluye rotación, inclinación y distancia entre el mango, puede afectar la fuerza de empuje bi-manual -un hecho que debe tenerse en cuenta al evaluar o diseñar tareas de empuje.

## Impacto del Torque Conjunto, Ritmo, Trabajo: Proporción de la Pausa en las Operaciones con Herramientas Manuales Eléctricas

Las herramientas manuales eléctricas usualmente se utilizan en las operaciones de fabricación y montaje. Aunque sabemos que el uso repetitivo de las herramientas manuales eléctricas está asociado a trastornos musculoesqueléticos de las extremidades superiores relacionados con el trabajo, se sabe poco sobre los mecanismos biomecánicos subyacentes y las respuestas perceptuales que pueden contribuir con este tipo de trastornos. Para hacer frente a esta y otras situaciones relacionadas con el uso repetitivo de herramientas manuales eléctricas, hemos llevado a cabo varios estudios para analizar las respuestas físicas y subjetivas durante la simulación de tareas con herramientas manuales. Esta investigación programática tiene como objetivo aumentar la comprensión de la interrelación entre la herramienta y el operador, e identificar maneras de ayudar a reducir las lesiones que resultan del uso de herramientas manuales eléctricas.

Este año, analizamos datos recolectados de 21 hombres operadores de herramientas mientras utilizaban un destornillador neumático para completar 12 sesiones de 360 tareas repetitivas de clavado. Las tareas fueron realizadas en una unión dura (simulando un contacto sólido de alta resistencia, tal como un metal), una junta blanda (simulando un material de baja resistencia, como madera o plástico), y una junta de control que no ofreció resistencia.



Para los ensayos de uniones blandas y duras, la herramienta automáticamente se apagaba una vez que el nivel de torque objetivo se alcanzaba. Para la junta de control, el participante tenía que liberar el gatillo para detener la tarea cuando lo indicaba una señal generada por un computador. Las tareas se realizaron a dos ritmos de trabajo diferentes (lento y rápido) y a dos patrones de descanso de trabajo diferentes (trabajo continuo, y trabajo de 10 minutos seguido por un descanso de 3 minutos). Los investigadores recolectaron datos sobre la fuerza de agarre y los esfuerzos.

Los resultados indicaron que la fuerza de agarre media ejercida para la junta de control fue de 39.6 por ciento de la Capacidad máxima (fuerza voluntaria máxima, por su sigla en inglés MVE). Durante las sesiones con la junta dura y blanda, la fuerza de agarre media era significativamente más alta: 48.9 por ciento de MVE y 56.9 por ciento de MVE, respectivamente.

A lo largo de cada sesión, la fuerza de agarre disminuyó más con las pruebas en la junta blanda y dura que con la junta de control, lo que sugiere un efecto de la fatiga asociada al esfuerzo considerable de los músculos de las extremidades superiores ejercida por los participantes durante el desarrollo del torque. El ritmo de trabajo rápido resultó en fuerzas de agarre promedio más altas por los participantes, y una vez más se observó una mayor disminución de la fuerza a medida que avanzaba la sesión. Los descansos redujeron los esfuerzos percibidos. Estos resultados se alinean con las observaciones fisiológicas reportadas en un estudio previo, en el que nuestros investigadores utilizaron la espectroscopia cercana al infrarrojo para monitorear el estatus de la oxigenación del músculo del antebrazo del operador de la herramienta.

En este estudio anterior, los datos mostraron que los flexores de la muñeca, que son los principales músculos que se utilizan para contrarrestar la reacción del torque y la acción de disparo, tenía respuestas oxigenación de los tejidos superior localizadas más altas que los extensores de la muñeca durante las sesiones de exposición -una diferencia que fue mucho menos pronunciada en las sesiones de control. En conjunto, los resultados de los estudios sugieren que los descansos periódicos para los usuarios de herramientas neumáticas y reducir el ritmo de tareas puede ayudar a evitar esfuerzos excesivos que puedan causar lesiones.

## Efecto de la Fuerza, la Postura y la Frecuencia de la Tarea en la Presión del Túnel Carpiano

El síndrome del túnel carpiano es una condición progresiva y a menudo dolorosa asociada con el trabajo repetitivo que involucre las manos y la muñeca. La condición se produce cuando el nervio mediano, el cual pasa desde el antebrazo hasta la palma de la mano, se comprime dentro del espacio confinado o "túnel" en la muñeca. Esta compresión del nervio puede ser causada por un traumatismo directo en la muñeca o en los tejidos subyacentes, la compresión mecánica dentro del túnel, y / o presiones hidrostáticas que se desarrollan dentro del túnel. Los efectos acumulativos de alguna combinación de estos factores se puede producir en respuesta a la actividad repetitiva de la mano.

En estudios con animales, las presiones del túnel carpiano (por sus siglas en inglés CTP) superior a 30 mm Hg han demostrado causar daño a los nervios. Los estudios clínicos que involucran la medición de CTP en las personas han mostrado que las posturas forzadas de la muñeca pueden producir presiones en exceso a estos niveles. Sin embargo, no ha habido pruebas sistemáticas para examinar los efectos en el torque de la muñeca y agarre en las CTP, o sus interacciones con la postura de la muñeca. Tampoco se ha evaluado adecuadamente el efecto de los ciclos de trabajo / descansos. Para hacer frente a estas lagunas en la investigación, iniciamos un estudio de los efectos de la fuerza, la postura, y la frecuencia de la tarea en las CTP. Los hallazgos ayudarán en el desarrollo de modelos de riesgo y protocolos de rehabilitación física para el síndrome del túnel carpiano, e informará el diseño de los trabajos, herramientas y tareas asociadas.

Aparato Experimental y Resultado de la Muestra



- a. Punto de inserción de catéter
- b. sensor fuerza de agarre
- c. Ajuste de pronación / supinación
- d. Freno de partículas
- e. Transductor de torque reactivo
- f. Potenciometro



Resultado de la muestra en la que se observa el desplazamiento angular de la muñeca, la presión del túnel carpiano \*, el torque reactivo de la muñeca y la fuerza de agarre recolectados durante un ciclo de flexión-extensión de la muñeca.

\* La presión del túnel Carpiano simulada en esta muestra

Este año, los investigadores reclutaron para el estudio un total de 14 participantes (hombres y mujeres, en edades comprendidas entre 20 a 45 años), el cual fue conducido en el Hospital Herning (Dinamarca). Después de los exámenes médicos y entrenamiento previo al protocolo, los participantes firmaron documentos de consentimientos. Luego, un cirujano de la mano experimentado insertó un catéter epidural de nylon relleno de solución salina en la derecha del túnel carpiano de cada participante. Utilizando un aparato experimental de diseño personalizado (ver foto), los participantes realizaron dos repeticiones cada una consistía de la flexión / extensión total de la muñeca (F / E), desviación radial / cubital (R / UD), y ángulos compuestos de F / E y R / UD en varios niveles de torque y tres condiciones de agarre (agarre con fuerza, agarre de pellizco, sin agarre).

El aparato permitió a los investigadores recolectar simultáneamente en tiempo real datos sobre los CTP, el desplazamiento angular de la muñeca, torque reactivo y fuerza de agarre. Luego, un cirujano de la mano experimentado insertó un catéter epidural de nylon relleno de solución salina en la derecha del túnel carpiano de cada participante. Utilizando un aparato experimental de diseño personalizado (ver foto), los participantes realizaron dos repeticiones cada una consistía de la flexión / extensión total de la muñeca (F / E), desviación radial / cubital (R / UD), y ángulos compuestos de F / E y R / UD en varios niveles de torque y tres condiciones de agarre (agarre con fuerza, agarre de pellizco, sin agarre). El aparato permitió a los investigadores recolectar simultáneamente en tiempo real datos sobre los CTP, el desplazamiento angular de la muñeca, torque reactivo y fuerza de agarre.

Para simular los efectos de los diferentes ciclos de trabajo / descanso, los participantes realizaron agarres de fuerza cíclica con una postura neutral estática de la muñeca durante tres sesiones. Cada una de las tres sesiones implicó un período de exposición acumulativa de agarre constante de 60 segundos a 15 por ciento del agarre de fuerza máxima de los participantes, así como diferentes ciclos de tareas y ciclos de trabajo / descanso (trabajo de 5 seg. : 1 seg de descanso; 5 seg trabajo: 2 segundos de descanso, y la contracción continua). Los investigadores monitorearon CTP durante los ensayos y los períodos de descanso posterior al ensayo. Estos datos, una vez evaluados, deben proporcionar información sobre el tiempo de recuperación de la línea base CTP, lo que podría ayudar a mejorar el rediseño del trabajo para tareas repetitivas.

**Fuente:** Reporte Anual de Actividades Científicas 2011 del Instituto de Investigación para la Seguridad.

<http://www.libertymutualgroup.com>

Todos los Derechos Reservados de Liberty Mutual Insurance