

# Apertura de la herramienta manual y fuerza de aprehensión durante el corte de flores

María Fernanda Maradei García<sup>a</sup>, Francisco Espinel Correal<sup>a</sup>,  
Zuli Tatiana Galindo Estupiñán<sup>a</sup>

Recibido: 1 de abril de 2014  
Aceptado: 1 de septiembre de 2014  
doi: 10.12961/apr.2014.17.4.03

---

## RESUMEN

**Objetivo:** Analizar la relación entre la apertura de la herramienta manual de corte de flores y la fuerza ejercida por cada dedo de la mano operante durante el gesto de aprehensión.

**Métodos:** Se desarrolló un experimento con 11 mujeres que realizaron el corte del tallo de una flor. Las operarias no sufrían del síndrome del túnel carpiano. Se calculó el diámetro de apertura de la herramienta cuando la fuerza de aprehensión en cada dedo era máxima al realizar el corte.

**Resultados:** El principal hallazgo del estudio revela que los dedos ejercen el pico máximo de su fuerza de aprehensión cuando el valor del diámetro de apertura de la herramienta es igual para todos los dedos. Sin embargo, debido a las características formales de la herramienta comúnmente usada en el sector floricultor colombiano (palanca de primer orden), cada dedo realiza el pico máximo de la fuerza de aprehensión en diferentes instantes en el tiempo, desaprovechando la capacidad total de la fuerza de aprehensión.

**Conclusiones:** Este hallazgo podría ser utilizado para mejorar la ventaja mecánica de las herramientas manuales de corte y reducir los factores de riesgo del síndrome del túnel carpiano debidos al sobreesfuerzo.

**PALABRAS CLAVE:** Síndrome del Túnel Carpiano; herramienta manual; floricultura; presión táctil.

---

## MANUAL TOOL GRIP SPAN AND GRIP FORCE DURING FLOWER CUTTING

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the association between grip span of a manual flower cutting tool and maximum peak force exerted by each finger in the operating hand during apprehension.

---

<sup>a</sup> Grupo de Investigación GEPS, Escuela de Diseño Industrial,  
Universidad Industrial de Santander, Colombia.

**Correspondencia:**  
María Fernanda Maradei García  
Condominio Hacienda San Miguel casa 30  
Piedecuesta, Santander Colombia.  
Teléfono: 57 7 6542830  
mafermar@uis.edu.co

---

**Financiación:** Los autores agradecen el apoyo recibido por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión y la Dirección de Investigaciones y Extensión de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas de la Universidad Industrial de Santander al proyecto "Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales" (ref 5544).

**Methods:** An experiment was conducted in which 11 women performed the stem cut of a flower. These women did not suffer from carpal tunnel syndrome. Grip span was calculated when they exerted the maximum peak force with each finger.

**Results:** The main finding of the study reveals that fingers exert the maximum peak force when the grip span values are the same for everyone. However, due to the shape of the tool commonly used in the Colombian flower industry (first order level), each finger reaches its maximum peak force at different times, bypassing the full capacity of each finger's grip force.

**Conclusion:** These findings could be used to improve the mechanical advantage of manual cutting tools to reduce risk factors for carpal tunnel syndrome due to overexertion.

**KEYWORDS:** Carpal tunnel syndrome; hand tool; floriculture; tactile pressure.

## INTRODUCCIÓN

Estudios realizados por el Ministerio de Protección Social de Colombia evidencian que los trastornos musculoesqueléticos (TME) son las enfermedades profesionales declaradas con mayor frecuencia en el país<sup>1,2</sup>. De la misma forma, los desórdenes músculo esqueléticos le habrían costado al país en el año 2005 alrededor de 171,1 millones de dólares<sup>3</sup>.

En cuanto a su prevalencia en los trabajadores se ha encontrado que oscila entre 20% a 30% en países como EEUU, Canadá, Finlandia, Suecia e Inglaterra<sup>4</sup>. El *Bureau of Labor Statistics* en el 2001, mostró que los TME corresponden a cerca del 55% del total de enfermedades laborales en los Estados Unidos y de éstos el 5% corresponden al síndrome del túnel carpiano (STC)<sup>5</sup>.

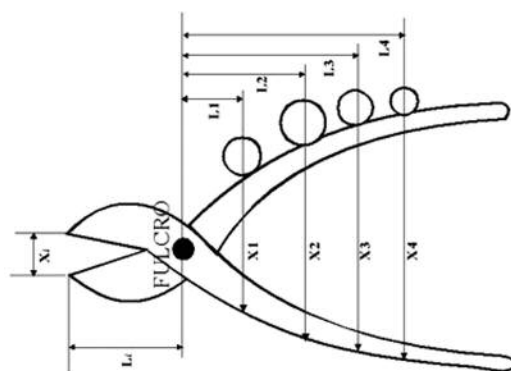
La evidencia sugiere que los factores de riesgo del STC están relacionados con actividades que requieren movimientos repetitivos, ejecutar gran fuerza y adoptar posiciones y movimientos forzados con la mano<sup>8-11</sup>. De la misma forma, se ha estudiado los factores que influyen en la relación mano-herramienta, con el propósito de proporcionar instrumentos manuales más eficientes pero menos perjudiciales para el sistema musculoesquelético humano<sup>12-15</sup>.

El síndrome del túnel carpiano constituye la principal causa de morbilidad profesional en Colombia, con un 43%

de todos los diagnósticos en 2005. Los trabajadores del sector de la floricultura muestran las incidencias más elevadas de este problema<sup>1</sup>.

Una revisión de la bibliografía al respecto<sup>12,15,16</sup> y el estudio observacional desarrollado por el Grupo de Investigación en Ergonomía, Producto y Significado (GEPS) de la Universidad Industrial de Santander en Colombia con tres operarias del sector floricultor<sup>17</sup>, permitió advertir que existe una relación entre la apertura de la herramienta y la fuerza de aprehensión que ejerce el operario durante la ejecución de la tarea con herramientas manuales de corte. Adicionalmente, a partir del análisis biomecánico de la mano al ejecutar el gesto de aprehensión sobre una herramienta con palanca de primer grado (Figura 1), se logró determinar que la fuerza depende de la distancia de cada dedo al fulcro y del diámetro de apertura sobre el cual los dedos ejecutan la fuerza.

Otros trabajos encuentran resultados discrepantes en relación con la fuerza ejercida por cada dedo en el agarre<sup>12,16</sup>, y, en algunos casos, se ha registrado que la capacidad total de fuerza de asimiento en cada dedo está inversamente relacionada con el diámetro del asa<sup>15</sup>. No se han encontrado estudios publicados en los que se estudie la fuerza de cada dedo en función de la apertura del diámetro de la herramienta de corte en trabajadores del sector floricultor.



**Figura 1.** Esquema biomecánico del gesto de aprehensión. Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

Por todo ello, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar la relación entre la apertura de la herramienta y la fuerza ejercida por cada dedo durante el gesto de aprehensión (en su valor máximo ejercido al realizar el corte de una flor), así como también la relación entre la distancia a la cual se encuentra cada dedo respecto al fulcro en el desarrollo de esta misma fuerza. Estos planteamientos permitirán obtener una pauta que ayude a comprender la dinámica del corte, con el ánimo de establecer criterios de diseño que ayuden a reducir la incidencia del síndrome del túnel carpiano en operarios que realicen tareas repetitivas de corte manual.

## MÉTODOS

La hipótesis de la investigación es que “todos los dedos ejercen el pico máximo de fuerza de aprehensión en distintas aperturas del asa”. De acuerdo con lo anterior, se diseñó un experimento que permitió medir la fuerza de aprehensión de cada dedo en función de la ubicación, durante la realización del corte de flores.

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Grupo de Investigación Ergonomía, Producto y Significado con la participación de 11 trabajadoras, todas ellas mujeres debido a que en el sector floricultor la mayor proporción de la población laboral es femenino y porque la fuerza de aprehensión es diferente según el sexo<sup>12,16</sup>. Las colaboradoras escogidas no poseían problemas de salud relevantes ni antecedentes de síndrome del túnel carpiano. Además, se verificó que no hubieran estado sometidas a esfuerzos continuos ni prolongados de la mano antes de la realización de las pruebas. Se consideró un rango 20 a 50 años de edad y brazo derecho dominante.

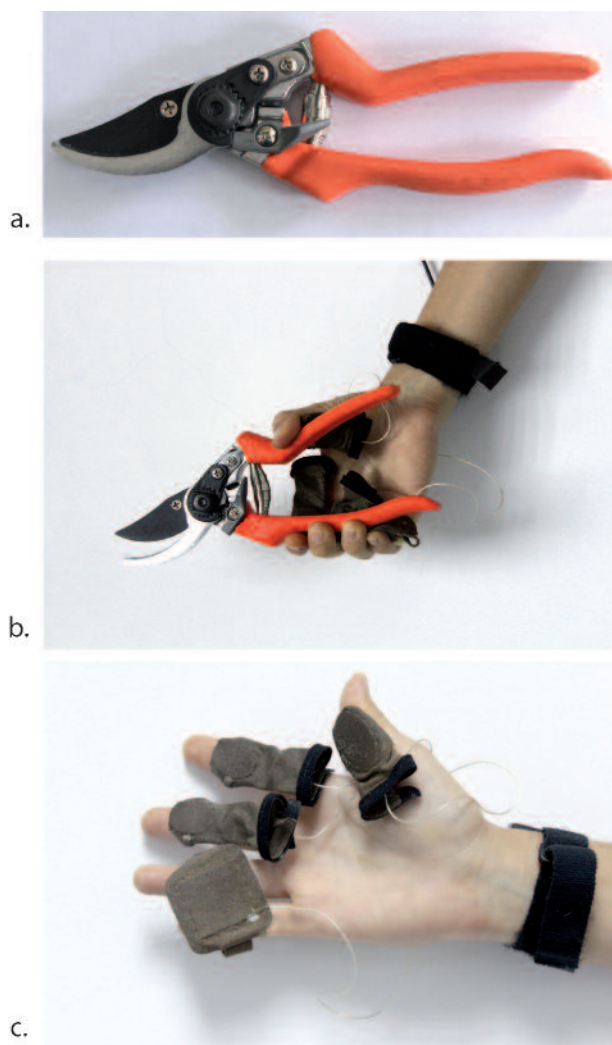
De acuerdo con lo establecido en la Declaración de Helsinki y el Decreto 08430 de 1993 del Ministerio de Salud colombiano, fueron adoptadas las consideraciones éticas estipuladas para las investigaciones donde se contempla la participación de seres humanos. En tal sentido, y en atención a que el estudio se clasificó como de riesgo mínimo, a cada una de las personas escogidas se le explicó el objetivo y procedimiento de la prueba.

Partiendo del esquema representado en la Figura 1, que plantea que cada dedo se ubica en un diámetro de apertura diferente al iniciar el gesto de aprehensión y que éste está ligado por las características formales de la herramienta (palanca de primer grado), se estableció trabajar con un factor denominado “dedo” con tres niveles, condicionados por la apertura herramienta en el dedo índice, corazón y los dedos anular y meñique, estos últimos estudiados como una sola unidad debido a que son considerados dedos de control y no de fuerza.

Se utilizó una herramienta (tijera) para el corte de flores que contaba con un diámetro de apertura máximo de 14 cm, diámetro de apertura mínimo de 5 cm y longitud de los mangos medido desde el fulcro de 15 cm. La herramienta con-

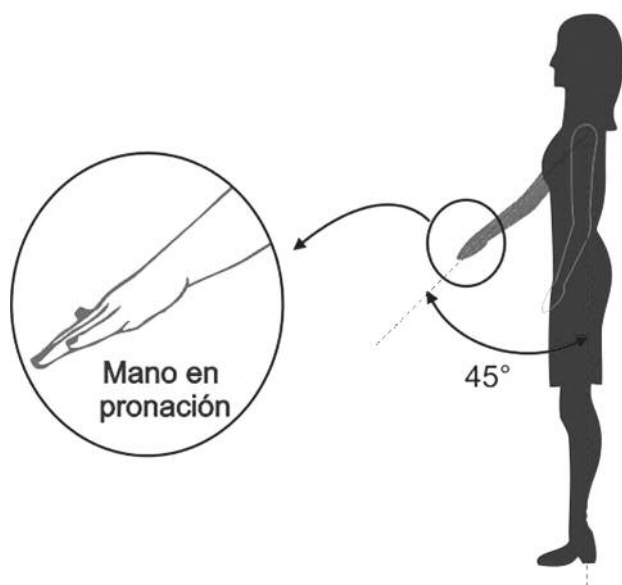
taba con un revestimiento polimérico para asegurar la sujeción mano-herramienta y no poseía ninguna desviación entre mangos y cuchilla (Figura 2a y 2b). Esta herramienta es la que comúnmente se utiliza en el sector floricultor colombiano.

Se midió la fuerza que ejercía cada dedo mientras realizaba el gesto de aprehensión y se procesaron los valores de los picos máximos de la fuerza ejercida durante este movimiento. Para tal propósito se utilizó el sistema de medición de presión táctil (dinamómetro digital), Finger TPS™ (Finger Tactile Pressure Sensing, Figura 2c). Este sistema utiliza dispositivos de presión capacitiva de alta sensibilidad para cuantificar de forma fiable la fuerza normal, producto del contacto de los dedos con las asas durante el gesto de aprehensión (Figura 2b). Los sensores fueron situados en la falange media de los dedos índice, corazón (o dedo medio) y dedos anular y meñique de la mano dominante del participante.



**Figura 2.** Herramienta de corte y dispositivos de medición de fuerza. Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

Al iniciar la prueba cada participante leyó y firmó el consentimiento informado del experimento y se tomaron sus medidas de talla y peso. Por otra parte, con el propósito de analizar la posición de los dedos se filmó la operación de corte. Para el desarrollo de la prueba las participantes permanecieron en postura de bipedestación. A continuación, se fijaron los dispositivos de presión táctil (Finger TPS™) en los dedos de la mano dominante, se ubicó el brazo con una flexión de hombro de 45° y una rotación interna de 45° en el antebrazo en extensión y la mano en pronación. El participante no realizó movimientos dentro de los rangos articulares, buscándose que mantuviera la postura durante la realización del corte de una sola flor (Figura 3). Con el propósito de evitar que la posición de la mano incidiera en la medición de la fuerza ejercida por los dedos, se adoptó una postura neutral (pronación). Así mismo, a partir de la verificación mediante imágenes de video, se corrigió la posición de la mano para evitar desviaciones radiales o cubitales al ejecutar la operación de corte. Ésta se realizó en el aire sin la ayuda de la mano no dominante y sin apoyar el miembro superior en superficie alguna, tal como se realiza en las labores habituales de trabajo. Las flores se suspendieron, sin la participación de la mano no dominante, de manera que la altura para el corte del tallo quedara a aproximadamente a 70 cm sobre el nivel del piso. Cada uno de los sujetos ejecutó dos repeticiones de la acción de corte, realizadas en una misma flor. Se consideró un tiempo de reposo de cinco minutos entre cada operación. Con el propósito de obtener datos fiables se utilizó el mismo tipo de flor (rosas), procurando conservar en todas las mismas características de frescura para la realización de las pruebas.



**Figura 3.** Participante en bipedestación con flexión del hombro a 45° y mano en pronación postura para ejecutar el gesto aprehensión en cada corte. Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

Para el cálculo de las distancias se empleó un método gráfico, donde se diagramaron cotas verticales y horizontales a partir de las cuales se obtuvieron los datos del diámetro de apertura y distancia al fulcro respectivamente. El video se detenía en los momentos en que el participante ejercía el pico máximo de la fuerza en el dedo correspondiente.

## RESULTADOS

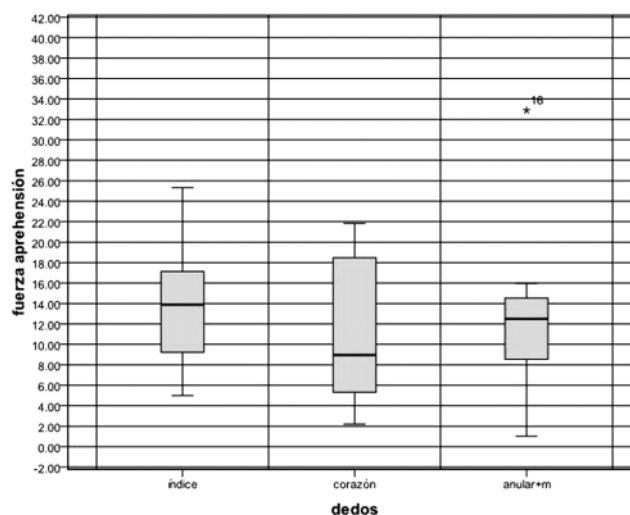
Las participantes en el estudio tenían una edad media de 22,3 años (desviación estándar DS=2,28), peso medio 59,9 Kg (DS=12,86), índice de masa corporal IMC normal (DS= 4,57) y estatura media de 1,63 m (DS= 0,04) (Tabla 1).

El diagrama de bigotes de la Figura 4 muestra que los picos máximos de la fuerza de aprehensión para realizar el corte de una flor son diferentes en cada uno de los dedos. El dedo que ejerce más fuerza es el índice con 13,9 N en promedio, seguido del corazón o dedo medio con 11,5 N

**Tabla 1.** Características de las trabajadoras (n=11). Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

	EDAD (años)	PESO (kg)	ESTATURA (m)	IMC
Media	22,27	59,88	1,63	22,52
DS	2,28	12,86	0,04	4,57
Mínimo	19,00	52,00	1,58	19,26
Máximo	26,00	97,00	1,69	35,20

DS: Desviación estándar  
IMC: Índice de masa corporal



**Figura 4.** Comparación de las medianas en función del factor “dedo” y la fuerza de aprehensión (N) realizada al cortar una sola flor. Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

y finalmente los dedos pequeños que entre los dos ejercen un pico máximo de la fuerza de aprehensión de 13,2 N. Sin embargo, el análisis de varianza (ANOVA univariante) confirma que no existen diferencias significativas entre los picos máximos de la fuerza ejercida en función de cada dedo ( $p=0,868$ ), resultado también confirmado por el estadístico de Levene ( $p=0,810$ ). Ello quiere decir que el diámetro de apertura no influye en los picos máximos de la fuerza ejercida durante el gesto de aprehensión. Estos resultados llevaron a rechazar la hipótesis del estudio.

Con base en estos datos se calculó el diámetro de apertura medio en función de cada dedo cuando realizaba el pico máximo de la fuerza en el gesto de aprehensión. La Tabla 2 muestra que dichos diámetros de apertura son casi iguales. El coeficiente de variabilidad (CV) entre dichos datos es menor al 10%, lo cual permite afirmar que la muestra es homogénea ( $CV=0,03$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio muestran que el dedo índice generó la mayor fuerza (pico máximo) durante el gesto de aprehensión en comparación de los otros dedos; sin embargo, la dicha fuerza se consigue con una apertura menor comparada con el dedo corazón, lo que probablemente sea debido a que este último dedo es más largo que el dedo índice. Sería importante considerar este aspecto en el diseño de herramientas. Así Lim y Kong (2014) también muestran que el dedo índice obtuvo una reducción del esfuerzo menor en comparación con los otros dedos, luego de una serie de repeticiones en un gesto agarre, lo que posiblemente se relacione también con el hecho de que el área transversal del índice y corazón es mayor que la de los dedos anular y meñique<sup>18</sup>.

Los datos de nuestro estudio no concuerdan con los estudios de Kong (2005)<sup>15</sup> que muestran que la capacidad total de fuerza del dedo es inversamente proporcional con la relación al diámetro del asa. Probablemente esto sea debido a que en el citado estudio se midió la fuerza de agarre en una pieza cilíndrica y no durante la operación manual de una palanca de primer grado, como en nuestro caso, en donde el diámetro de apertura es cambiante en función del tiempo. De forma similar, encontramos que los datos obtenidos de la fuerza de aprehensión (pico máximo) en cada uno de los dedos son más bajos comparados con los de Kong, lo que pueda deberse a que en nuestro estudio no se buscaba que la participante produjera su máxima fuerza voluntaria durante la acción de corte. El estudio se realizó en una sola flor que poseía excelentes condiciones de frescura. Por otra parte, el mantenimiento y el filo de la hoja de la herramienta eran óptimos.

Ahora bien, nuestros resultados muestran que el dedo índice generó más fuerza (pico máximo) que el resto; sin embargo, los análisis de varianza realizados en el experimento revelaron que no existen diferencias significativas entre las medias de cada uno de los dedos, lo que se traduce

en que cada dedo ejecutó su pico máximo de fuerza en tiempos diferentes durante el accionamiento de la herramienta, esto es, cuando el dedo alcanza la apertura entre 28,9 mm y 27,3 mm.

A partir de los resultados se puede inferir que la relación entre apertura y fuerza de aprehensión de cada dedo depende del momento en que la apertura de la herramienta alcanza el diámetro ideal. Según Sancho-Bru (2003), el diámetro de apertura ideal para mujeres en herramientas manuales como la que hemos utilizado en nuestro experimento (de primer orden) es de 32 mm<sup>16</sup>.

Los datos de la distancia a la cual se encuentra cada dedo respecto al fulcro, según los picos máximos de la fuerza ejercida, permiten evidenciar que debido al diseño formal de la herramienta la ventaja mecánica se disminuye, por cuanto la fuerza ejercida es inversamente proporcional a la palanca. Es decir, los dedos que ejercen más fuerza y se encuentran más cercanos al fulcro ejercen una palanca más pequeña que los demás.

Nuestro estudio no está exento de limitaciones. Así, la reunión de los dedos meñique y el anular como una sola unidad impidió hacer un análisis detallado de la fuerza ejercida por dichos dedos. Sin embargo, la literatura revisada llevó a considerarlos estos dedos como control. Otras variables que normalmente inciden en la actividad de corte de flores (como la postura del trabajador, o la calidad de la flor) sí pudieron ser controladas.

El correcto diseño de las herramientas manuales para evitar dolencias derivadas de su uso es algo fundamental en el ámbito laboral. Los TME son causa de incapacidades, reubicaciones y disminución de la eficiencia en el trabajo. Con nuestro trabajo esperamos aportar conocimientos que permitan mejorar los procesos de evaluación ergonómicos y el diseño de herramientas de corte para el sector floricultor. En particular, sugerimos que para el diseño de las herramientas manuales de corte que utilizan palancas de primer grado, el diámetro no debería aumentar a medida que se aleja del fulcro, sino mantenerse homogéneo para todos los dedos. Este

**Tabla 2.** Comparación entre la fuerza máxima ejercida, la apertura media del mango y la distancia al fulcro durante el gesto de aprehensión. Proyecto “Aplicación de la investigación centrada en la actividad en el diseño de herramientas manuales”, Colombia.

	Promedio de la fuerza máxima ejercida (N)	Apertura media del mango (mm)	Distancia media del dedo al fulcro (mm)
<b>Índice</b>	13,89 DS=7,21	27,34 DS=4,66	57,37 DS=6,82
<b>Corazón</b>	11,5 DS=7,94	28,9 DS=4,18	74,67 DS=6,74
<b>Anular y meñique</b>	13,21 DS=10,03	27,57 DS=5,51	104,69 DS=6,54

DS: Desviación estándar

diseño podría contribuir a mejorar la eficiencia del corte, ya que todos los dedos ejercen su pico máximo de la fuerza en el mismo momento de tiempo, disminuyendo por tanto el esfuerzo que el sujeto realiza en el gesto de aprehensión. En la futura investigación en este campo será importante considerar la distancia de cada dedo al fulcro para mejorar la ventaja mecánica final de la herramienta de corte.

## REFERENCIAS

1. Tafur F. Informe de enfermedades profesionales en Colombia 2003-2005. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2007.
2. Tafur F. Informe de enfermedades profesionales en Colombia 2001-2002. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2004.
3. Piedrahita H. Cost of work related musculoskeletal disorders in developing countries: Colombia case. *Int J Occup Saf Ergon.* 2006;12:379-86.
4. Punnett L, Wegman D. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14:13-23.
5. Burnett C, Lalich N, MacDonald L, Arteman T. Worker health by industry and occupation. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health Publications Dissemination; 2001. p. 28-68.
6. Silverstein BA, Fine LJ, Armstrong TJ. Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *Am J Ind Med.* 1987;11:343-58.
7. Roquelaure Y, Dano C, Dusolier G, Fanello S, Penneau-Fontbonne D. Biomechanical strains on the hand-wrist system during grapevine pruning. *Int Arch Occup Environ Health.* 2002;75:591-5.
8. Kattel BP, Fredericks TK, Fernandez JE, Lee DC. The effect of upper-extremity posture on maximum grip strength. *Int J Ind Ergon.* 1996;18:423-9.
9. Roquelaure Y, D'Espagnac F, Delamerre Y, Penneau-Fontbonne D. Biomechanical assessment of new hand-powered pruning shears. *Appl Ergon.* 2004;35:179-82.
10. Chaffin DB, Andersson GB, Martin BJ. Occupational biomechanics. New York:: Wiley&Sons; 2006.
11. Polo B, Nieto O, Camacho A. Guía de atención integral basada en la evidencia para desórdenes músculo esqueléticos (DME) relacionados con movimientos repetitivos de miembros superiores (síndrome de túnel carpiano, epicondilitis y enfermedad de Quervain). Bogotá: Ministerio de Protección Social; 2006.
12. Pylatiuk C, Kargov A, Schulz S, Dödelein L. Distribution of grip force in three different functional prehension patterns. *J Med Eng Technol.* 2006;30:176-82.
13. McGorry R, Dempsey P, O'Brien N. The effect of workstation and task variables on forces applied during simulated meat cutting. *Ergonomics.* 2004;47:1640-56.
14. Brookham RL, Wong JM, Dickerson CR. Upper limb posture and submaximal hand tasks influence shoulder muscle activity. *Int J Ind Ergon.* 2010;40:337-44.
15. Kong Y, Lowe BD. Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. *Int J Ind Ergon.* 2005; 35:495-507.
16. Sancho-Bru J, Giurintano DJ, Perez-Gonzalez A, Vergara M. Optimum tool handle diameter for a cylinder grip. *J Hand Ther.* 2003;16:337-42.
17. Maradei F, Delgado A, Castellanos M. Florist industry analysis for cutting hand tool design. En: 11<sup>o</sup> Congreso Internacional de Ergonomía y Usabilidad de Interface humano-tecnología; 2011. Manaus, Brasil.
18. Lim CM, Kong YK. Effects of the resting time associated with the number of trials on the total and individual finger forces in a maximum grasping task. *Appl Ergon.* 2014;45:443-9.