

ESTUDIO DE REDISEÑO ERGONÓMICO DE UNA PALA CONVENCIONAL

ERGONOMIC REDESIGN STUDY OF A CONVENTIONAL SHOVEL

Gabriel Araya-Fuenzalida*
Mauricio Venegas De la Paz**

Resumen: Existen variados estudios respecto de prototipos de pala con modificaciones en sus ejes y mangos. No obstante, ninguno ha podido formular un diseño ergonómicamente confortable, que permita a la persona una utilización cómoda y mecánicamente eficiente, para generar mínimas cargas en el cuerpo del trabajador. El objetivo fue determinar los cambios en los parámetros fisiológicos, cinemáticos y de diseño durante el uso de pala convencional y pala ergonómica en hombres de 18 a 25 años de edad. El procedimiento fue un estudio experimental, transversal, comparativo, de muestra intencionada. Se realizaron 20 repeticiones en laboratorio del gesto motor de “palear” sacos de 1,5 kilogramos en una plataforma delimitada en áreas definidas, midiendo así % de carga cardiovascular (%CCV), frecuencia cardíaca máxima alcanzada (FCmax), posición angular en los 3 ejes de movimiento del centro de masa del cuerpo (CM) y percepción de confort, nivel de esfuerzo y percepción de molestias músculo esqueléticas. El estudio evidenció cambios significativos a favor de la pala ergonómica a nivel de FCmax = $108,2 \pm 9,34$ ($p = 0,0026$), cambios en posición angular en el eje de inclinación lateral del CM = $5,8 \pm 7,04$ ($p = 0,0244$) y cambios a nivel de percepción de molestias músculo esqueléticas, disminuyendo en un 40% en el segmento lumbar ($p = 0,042$). En conclusión, existen cambios en los parámetros de carga física y diseño en el uso de pala convencional y pala ergonómica en hombres de 18 a 25 años de edad. Sin embargo, se debe ampliar la muestra de estudio para mejorar potencia estadística y validez externa de los resultados.

Palabras clave: Ergonomía, factores humanos, carga de trabajo, pala y diseño.

Abstract: There are various studies regarding shovel prototypes with modifications to their shafts and handles. However, none has been able to formulate an ergonomically comfortable design that allows the person a comfortable and mechanically efficient use, to generate minimal loads on the worker's body. The objective was to determine the changes in the physiological, kinematic and design parameters during the use of a conventional shovel and an ergonomic shovel in men between 18 and 25 years of age. The procedure was an experimental, cross-sectional, comparative, intentional sample study. It was carried out 20 repetitions in the laboratory of the motor gesture of "shoveling" 1.5-kilogram bags on a platform delimited in defined areas, thus measuring % cardiovascular load (%CCV), maximum heart rate reached (HRmax), angular position in the 3 axes of movement of the body's center of mass (CM) and perception of comfort, level of effort and perception of musculoskeletal discomfort. The study showed significant changes in favor of the ergonomic blade at

*Escuela de Kinesiología, Universidad San Sebastián. Santiago, Chile. Correo electrónico: g.araya.f@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3156-6712>. Autor de correspondencia.

**Departamento de Kinesiología, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. Santiago, Chile. Correo electrónico: mauricio.venegas@umce.cl. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1944-4686>

the level of HRmax = 108.2 ± 9.34 ($p = 0.0026$), changes in angular position in the CM lateral tilt axis = 5.8 ± 7.04 ($p = 0.0244$) and changes in the level of perception of musculoskeletal discomfort, decreasing by 40% in the lumbar segment ($p = 0.042$). In conclusion, there are changes in the parameters of physical load and design in the use of conventional shovel and ergonomic shovel in men from 18 to 25 years of age. However, the study sample should be expanded to improve statistical power and external validity of the results.

Keywords: Ergonomics, human factors, work load, shovel and design.

Recepción: 02.12.2021 / Revisión: 23.03.2022 / Aceptación: 12.04.2022

Introducción

La utilización de la pala se define como un movimiento complejo, tridimensional que puede describirse en 3 etapas: recoger en semiflexión de rodillas la carga, levantar esta y arrojar la carga. En algunos casos se incluye el transporte de esta (Huang & Paquet, 2002).

Los segmentos que más cargas reciben en la acción de “palear” son el tronco y la extremidad superior (principalmente el hombro). En algunos casos, como en los plantadores de árboles, la muñeca también puede recibir cargas al momento de impactar la pala en el piso (Kotowski et al., 2009).

Estudios ergonómicos que se han enfocado en la cinemática del tronco han planteado la modificación en el eje de la pala, generando angulaciones que fluctúan entre los 25 y 35 grados, facilitando así el proceso de levantamiento de carga y evitando la excesiva flexión de tronco en el plano sagital (Huang & Paquet, 2002).

La investigación de Bridget que se centró en aspectos fisiológicos del rendimiento de uso de pala, creó un diseño con un mango extra (añadiendo un segundo eje a la pala) para mejorar la palanca mecánica que genera la acción de “palear”. Este diseño no mejoró ni rendimiento, ni tampoco se encontraron diferencias significativas en el gasto energético. Por otro lado la percepción de comodidad no fue estadísticamente significativa. Adicionar un segundo mango puede influir en el peso de la pala, por lo tanto afecta al rendimiento mecánico de la herramienta (Bridger et al., 1997).

Por otro lado, varios estudios han comparado el uso de distintos mangos que puedan evitar la excesiva flexión de tronco. Un trabajo realizado en granjeros determinó que el mango en forma triangular podría ser más cómodo, generando menos percepción de esfuerzo físico y evitando así una excesiva flexión de tronco en el plano sagital (Kotowski et al., 2009; Lewinson et al., 2014).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se sugiere rediseñar una pala convencional y que este cumpla criterios ergonómicos descritos en la literatura. Por ejemplo: que sea de aluminio (liviana), con una angulación en su eje y con la implementación de un mango en forma triangular (Bridger et al., 1997; Huang & Paquet, 2002; Kotowski et al., 2009; Lewinson et al., 2014).

Una vez realizado el prototipado de este rediseño (ver anexo 1), se procederá a determinar los cambios en los parámetros fisiológicos, cinemáticos y de diseño durante el uso de pala convencional y pala ergonómica en hombres de 18 a 25 años de edad. Finalizado esto, se compararán estos resultados entre ambos grupos.

Materiales y métodos

Esta investigación corresponde a un tipo de estudio experimental, transversal y comparativo (Hernández-Sampieri et al., 2010). Ver tabla 1.

Tabla 1. Descripción de datos del estudio, según número muestral, edad, peso y estatura.

Descripción de Datos	
Número de sujetos	10
Edad (años)	22,4 ± 2,34
Peso (kilogramos)	73,47 ± 11,93
Estatura (centímetros)	171,13 ± 7,89

Las variables de estudios a determinar se agruparon en 3 grupos:

- Fisiológicas: como la carga cardiovascular (expresada en porcentaje) y la frecuencia cardíaca máxima alcanzada (expresada en latidos por minuto).
- Biomecánicas: como la posición angular del centro masa del cuerpo (expresadas en grados).
- De diseño: como la percepción de confort, la percepción de esfuerzo y la percepción de molestias músculo esqueléticas (estas últimas obtenidas mediante un cuestionario de validación para evaluar herramientas manuales, medidas en una escala de Likert, en una escala de Borg y en mapa corporal, respectivamente).

Los criterios de inclusión fueron: personas jóvenes sanos entre 18 y 25 años, sexo masculino, de estatura promedio 171±6,5 centímetros, sin experiencia previa en el uso de pala. Normopeso con IMC entre 18,50 y 24,99.

Los criterios de exclusión fueron: personas con diagnóstico actual de patologías del aparato locomotor que involucren compromiso de la función o deformaciones de las extremidades y/o tronco. Que hayan cursado algún cuadro agudo de dolor lumbar o de extremidad superior en los últimos 3 meses. Diagnóstico de patologías crónicas no transmisibles.

Hay que especificar que este estudio corresponde a un “estudio piloto”, ya que al intentar establecer el número de sujetos que se necesitaba para la muestra, se observó que no existían parámetros estadísticos (media, desviación estándar, magnitudes de cambio muestral, etc.) que ayudaran a determinar el número de sujetos a experimentar. Por esto mismo que se considera un “estudio piloto” en donde se tomó una muestra intencionada de

sujetos.

Las personas reclutadas fueron citadas en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad Autónoma de Chile, Santiago - Providencia. Antes de iniciar las mediciones, firmaron el consentimiento informado aprobado por el Comité de Ética del Servicio Metropolitano Oriente de Santiago de Chile y se tomaron sus datos personales, tales como: nombre, peso (kg), edad (años) y estatura (cm).

Una vez identificados estos parámetros se procedió a medir la posición del centro de masa (CM) de la persona. Para esto fue localizada la proyección de este punto, de la intersección que dan los planos sagital, frontal y horizontal, que se encuentran aproximadamente delante del promontorio (vertebral L₅ - S₁) y la segunda vértebra sacra (Winter, 1995; Brumagne et al., 1999; Wallman et al., 2002; Howell et al., 2015; Calahorra-Cañada et al., 2015).

La medición se dividió en 2 etapas, en donde en cada una de estas se realizó una medición cinemática, fisiológica y de diseño ergonómico de pala convencional (medición 1) y luego con pala ergonómica (medición 2). Entre cada medición se tomó un tiempo promedio de 15 minutos, necesario para que los sujetos llegaran a su frecuencia cardíaca de reposo obtenida en la medición 1.

Medición cinemática: Fue obtenida por un sensor inercial (IMU) de marca Xsens modelo MTi ubicado en el CM de la persona. Este sensor tiene incorporado acelerómetros, magnetómetros y giroscopios en sus 3 ejes de movimiento (x, y, z). Es triaxial, por tanto puede dar un valor de posición en el espacio en 3 dimensiones, pudiendo así identificar la aceleración lineal y los giros del sensor. Los valores que se obtuvieron fueron los de posición angular.

La medición fue sobre una plataforma construida especialmente para el estudio (ver figura 1). Esta fue demarcada para controlar la ejecución de paleadas, en donde los sujetos debían tomar la carga y posicionarla en el lugar seleccionado por los investigadores. Estos movimientos fueron a un ritmo predeterminado, mediante un metrónomo a un ritmo de 65 sonidos por minuto, extraído de plataforma Google, realizando así, 20 movimientos estereotipados y repetidos mediante sacos de 1,5 kilogramos. Había una posición inicial y una posición final en donde debía dejar esta carga.

Figura 1. Laboratorio de biomecánica de la Universidad Autónoma de Chile sede Providencia.



Nota. Plataforma delimitada por 3 cuadrados para la ejecución del gesto motor de “palear”.

Medición fisiológica: Esta medición se realizó en conjunto a la medición cinemática. En este caso se utilizó un sensor de medición de frecuencia cardíaca, marca Polar®, Modelo H7 que fue sincronizado a un smartphone marca Apple®, modelo 6s mediante la App Polar Beat®.

Con el sensor se obtuvieron los valores de: frecuencia cardíaca de reposo, frecuencia cardíaca promedio de la tarea de palear 20 sacos de 1,5 kilogramos y frecuencia cardíaca máxima alcanzada en la tarea.

Para obtener la frecuencia cardíaca de reposo, se le solicitó al sujeto posicionarse en supino en una camilla por 15 minutos. Luego de esto se instaló el sensor IMU y el sensor Polar®, se sincronizaron los dispositivos y se le solicitó realizar la prueba de 20 paleadas sobre plataforma. Antes de ejecutar la prueba se le dieron las indicaciones de cómo realizar el movimiento (López-Chicharro et al., 2013).

La obtención de este parámetro fue mediante el % de carga cardiovascular, derivado de la ecuación de Karvonen (Superintendencia de Pensiones de Chile, 2010).

Medición de percepción del diseño ergonómico: Terminada la ejecución de 20 paleadas, se le aplicó a cada sujeto un cuestionario para evaluar el diseño ergonómico de cada pala. Para esto se utilizó el cuestionario de evaluación de herramientas manuales (validado por expertos) en donde se obtuvieron datos relacionados con diseño: percepción de esfuerzo, percepción de confort y sintomatología músculo esquelética asociada.

Procesamiento de datos

Cinemática: Los datos cinemáticos fueron extraídos del software MT Manager (versión 1.2.4) obtenidos mediante un archivo .txt y procesados en Matlab versión 2019a mediante un script diseñado para la obtención de posición angular. La señal fue filtrada mediante un filtro pasabajo de 4 Hz con el objetivo de suavizar esta y luego se identificaron los peak máximos y mínimos de cada repetición de los 20 movimientos de paleadas. Esto ayudó a identificar el rango de movimiento de posición angular del CM del cuerpo, representativo del movimiento de columna lumbar.

Fisiológica: Los datos fisiológicos de frecuencia cardíaca (FC) fueron extraídos mediante un archivo .csv de la página Polar.com® y la App Polar Beat®. Este fue procesado mediante un script en Matlab® versión 2019a que permite obtener el %CCV derivado de la ecuación de Karvonen (Superintendencia de Pensiones de Chile, 2010). Para esto es necesario tener la frecuencia cardíaca en reposo, el promedio ponderado de frecuencia cardíaca de la tarea de 20 paleadas y la frecuencia cardíaca máxima teórica del sujeto (utilizando el criterio de 220 - edad).

Diseño ergonómico: Los resultados obtenidos del cuestionario, fueron extraídos en una planilla realizada en la plataforma “Google Forms®” en donde se analizó el archivo exportado en formato .xls.

Instrumento de análisis de los resultados

Los datos estadísticos fueron analizados en el software Stata 13, determinando la distribución de las variables dependientes utilizando la prueba de Shapiro - Wilk y la pruebas de Skewness

- Kurtosis.

Los datos de frecuencia cardíaca y de posición angular que distribuyeron de manera normal se les realizó una prueba – t para ver significancia entre ambas muestras. Por otro lado, las muestras que distribuyeron de manera no – paramétrica se les aplicó la prueba de Wilcoxon.

Los datos de diseño como lo es, percepción de confort, esfuerzo y molestias músculo esqueléticas, fueron variables cualitativas ordinales que se analizaron mediante puntaje específico. Para esto se realizó una prueba exacta de Fisher y se utilizó la medida de porcentaje para presentar los datos.

Resultados y discusión

En la tabla 2 se observa los valores promedios obtenidos por sujetos del %CCV, la FCmax, y las posiciones angulares en los 3 ejes. Se aplicaron dos pruebas para verificar la normalidad de la muestra.

Tabla 2. Datos promedio de %CCV, FCmax y posición angular de los ejes de torsiones, flexiones e inclinación.

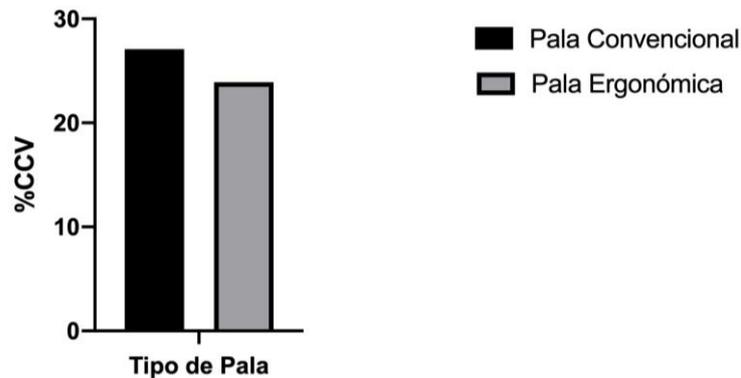
Variables	Convencional	Ergonómica	Valor p del estadígrafo
%CCV	27,01 ± 6,93	23,92 ± 5,68	p = 0,0908*
FCmax	116,5 ± 11,41	108,2 ± 9,34	p = 0,0026*
Posición angular (torsión)	4,9 ± 5,22	5,2 ± 4,39	p = 0,7590**
Posición angular (flexión)	22,7 ± 15,59	12,4 ± 12,65	p = 0,1680**
Posición angular (inclinación)	14,8 ± 9,14	5,8 ± 7,04	p = 0,0244**

Nota. *Prueba t-Student. **Prueba de Wilcoxon.

En el análisis estadístico las variables de: %CCV y Fcmax fueron comparadas mediante la prueba – t. Los datos de posición angular fueron analizados mediante la prueba de Wilcoxon.

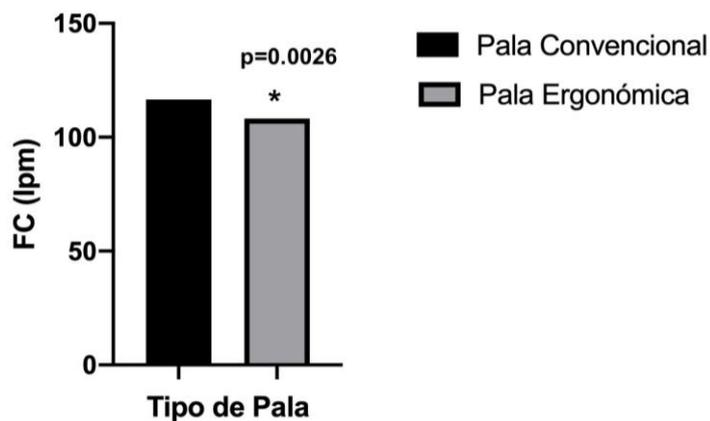
Parámetro fisiológico: El %CCV para sujetos que utilizaron pala convencional fue de 27,01%. Para los sujetos que utilizaron pala ergonómica se obtuvo un valor de 23,92%. En la figura 2 se observa una tendencia a la disminución del %CCV en el grupo de sujetos que utilizaron pala ergonómica. No obstante este valor no fue significativo (p = 0,090).

Figura 2. Promedios de %CCV de pala convencional y pala ergonómica.



El promedio de FCmax para sujetos que utilizaron pala convencional fue de 116,5 lpm. Para los sujetos que utilizaron pala ergonómica se obtuvo un valor de 108,2 lpm. En la figura 3 se observa una tendencia a la disminución de la FCmax alcanzada en el grupo de sujetos que utilizaron pala ergonómica. Comparando ambos grupos, sí se encontraron diferencias significativas ($p = 0,0026$).

Figura 3. Promedios de FCmax de pala convencional y pala ergonómica.



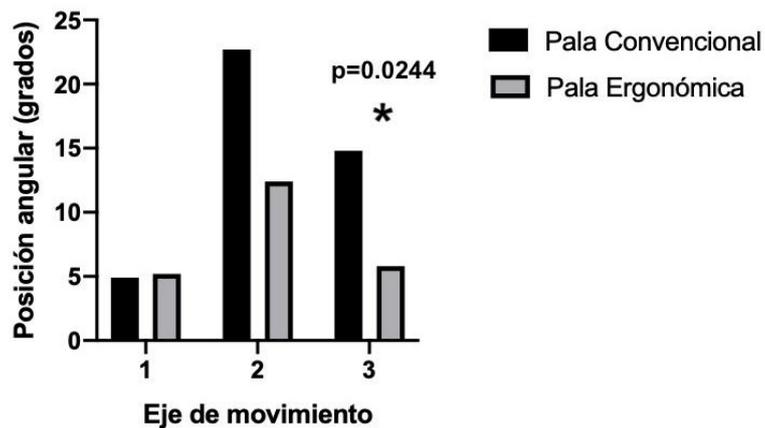
Parámetro cinemático: Para los valores extraídos del sensor IMU, se analizaron sólo las posiciones angulares del centro de masa del cuerpo en los 3 ejes de movimiento. Rangos totales de torsiones, flexiones e inclinaciones.

Los datos del promedio de posición angular para los movimientos de torsión en sujetos que utilizaron pala convencional fue de $4,9^\circ$ y para los sujetos que utilizaron pala ergonómica fue de $5,2^\circ$. Estos valores al ser comparados, no fueron estadísticamente significativos ($p = 0,7590$).

Los datos del promedio de posición angular para los movimientos de flexión en sujetos que utilizaron pala convencional fue de $22,7^\circ$ y para los sujetos que utilizaron pala ergonómica fue de $12,4^\circ$. Estos valores al ser comparados, no fueron estadísticamente significativos, pero sí existe una tendencia a la disminución angular en la utilización de pala ergonómica ($p = 0,1680$).

Los datos del promedio de posición angular para los movimientos de inclinación en sujetos que utilizaron pala convencional fue de 14,8° y para los sujetos que utilizaron pala ergonómica fue de 5,8°, existiendo cambios en la utilización de ambas palas. Estos valores al ser comparados, se obtuvo diferencias estadísticamente significativas entre ambas herramientas ($p = 0,0244$). Ver figura 4.

Figura 4. Promedios de posición angular de pala convencional y pala ergonómica



Nota (1) representa el valor del eje de las torsiones, (2) representa el valor de la flexión y (3) representa el valor de las inclinaciones.

Parámetros de diseño: Dentro de los parámetros de percepción de confort (ver figura 5) de pala convencional, un 30% de los sujetos percibe esta herramienta cómoda. A diferencia de los sujetos que utilizaron la pala ergonómica en donde este valor aumenta al 80%. Al ser comparados entre ellos mediante prueba exacta de Fisher, los datos no evidencian cambios significativos ($p = 0,081$).

Figura 5. Gráfico de torta en donde se observan los porcentajes obtenidos de la percepción de comodidad entre pala convencional y pala ergonómica, mediante la pregunta: ¿La herramienta es cómoda?



Dentro de los parámetros de percepción de esfuerzo (ver figura 6) de pala convencional, un 60% de los sujetos percibe esta herramienta con bajo esfuerzo. A diferencia de los sujetos que utilizaron la pala ergonómica en donde este valor aumenta al 90%. Al ser comparados entre ellos mediante prueba exacta de Fisher, los datos no evidencian cambios significativos ($p = 0,289$).

Figura 6. Gráfico de torta en donde se observan los porcentajes obtenidos de la percepción de esfuerzo entre pala convencional y pala ergonómica, mediante la pregunta: ¿Qué tanto esfuerzo sintió al realizar la tarea?



Dentro de los parámetros de percepción de sintomatología dolorosa en segmentos corporales (ver figura 7) de pala convencional, un 50% de los sujetos percibe molestias en zona lumbar y un 10% en extremidad superior (muñeca). No obstante, en los sujetos que utilizaron pala ergonómica, se encontró una disminución de molestias lumbares representadas por el 10%, no obstante, existió un aumento de molestias a nivel de extremidad superior (muñeca, hombro y codo) en donde este valor aumenta al 80%. Al ser comparados entre ellos mediante prueba exacta de Fisher, los datos sí evidencian cambios significativos ($p = 0,042$).

Figura 7. Gráfico de torta en donde se observan los porcentajes obtenidos de la percepción de molestias músculo esqueléticas entre pala convencional y pala ergonómica, mediante la pregunta: ¿Cuál de los siguientes lugares (de un mapa corporal) sintió malestar, dolor o esfuerzo al momento de realizar la tarea utilizando la herramienta manual?



A modo de discusión es posible decir que la pala ergonómica modificada en su eje, agarre y peso tiene cambios fisiológicos, cinemáticos y de diseño. Los datos muestran una tendencia favorable a generar una eficiencia del gesto motor de la “paleada”. Generando así, disminución del gasto fisiológico, una disminución de los ángulos del CM del cuerpo, que son representativos de la columna lumbar y percibiéndose más cómoda.

A nivel fisiológico, se utilizaron dos variables: el %CCV (Superintendencia de Pensiones de Chile, 2010) y la FCmax (López-Chicharro et al., 2013). No se obtuvieron datos significativos con el %CCV, esto podría deberse a que la prueba tuvo una duración tan sólo de 1 minuto. Es posible que la estimación de carga cardiovascular no sea representativa de

tareas de corta duración (Bridger et al., 1997). Por otro lado, en la FCmax sí se obtuvieron datos estadísticamente significativos. Esto podría explicar por qué esta variable puede ser representativa de cambios rápidos a nivel del sistema nervioso autónomo (López-Chicharro et al., 2013). Tareas de corta duración pueden tener expresiones autonómicas, dadas por el sistema nervioso simpático que pueden expresarse en tareas breves.

Se recomienda que para estudios posteriores puedan ser consideradas tareas más extensas y verificar qué condición se acerca más a los niveles de fatiga, o qué pala podría demorar menos tiempo en llegar al 30%CCV (parámetro de cohorte que determina si un trabajo es o no pesado) (Ministerio de Salud de Chile, 2000, 29 de abril).

A nivel cinemático, se observaron cambios en los ejes de movimientos de flexión y de inclinación lateral, similares a estudios anteriores (Huang & Paquet, 2002; Bridger et al., 1997).

En un estudio publicado el 2002 plantearon un modelo de pala de nieve con modificaciones en su eje. El estudio obtuvo cambios no significativos a nivel de columna lumbar entre pala convencional (de nieve) y pala ergonómica (modificada en su eje) de 50,82° y 42,41°, respectivamente (Huang & Paquet, 2002). Estos resultados, son mayores a los obtenidos en el presente estudio (22,7° y 12,4° respectivamente). Esta diferencia puede deberse a que la pala ergonómica tiene una mezcla de diseños, no tan sólo en su eje, sino que también en la extensión del mango y una disminución en su peso.

Otro estudio, planteó 2 modelos de pala ergonómica añadiéndoles un segundo mango, uno con forma de “D” y otro con forma de “triángulo” (Bridger et al., 1997). Nuevamente no se encontraron cambios significativos, pero sí una tendencia a favor de la pala con modificaciones en mango con forma de “D”. Este tuvo valores cercanos a los 50° con compensaciones de las torsiones. En este estudio se encontraron tendencias similares, sin embargo, con valores angulares mucho menores. Se plantea entonces que, combinar dos modelos de pala modificando eje y mango, disminuyendo a su vez el peso, puede ser más ergonómico.

El peso es otra variable que los estudios anteriores no contemplaban y planteaban en sus discusiones como un factor importante a considerar (Huang & Paquet, 2002; Kotowski, et al., 2009; Lewinson et al., 2014). En el estudio, ambos modelos se combinaron, considerando la utilización de materiales más ligeros como el aluminio. Esto puede haber ayudado a que los sujetos percibieran la pala con menor esfuerzo (en el rango de “muy suave” y “suave”).

Un elemento importante en este estudio es que no tan sólo se analizó la percepción de molestias músculo esqueléticas, sino que también la percepción de comodidad y el nivel de esfuerzo, resultando ser más favorable hacia la pala ergonómica. Este análisis es relevante, ya que desde la teoría del sobreesfuerzo (Yazdani et al., 2015) la percepción subjetiva de la persona es una de las variables que más peso tiene en la aparición de trastornos músculo esqueléticos relacionados con el trabajo.

La teoría de sobreesfuerzo plantea que la aparición de un Trastorno Músculo Esquelético Relacionado con el Trabajo (TMERT) está dado por la combinación de variables

tales como: la posición, fuerza, cantidad de movimiento y tiempos de exposición/recuperación (Kumar, 2007). En este estudio, se planteó un tipo de pala que combinó elementos similares a esta teoría de sobreesfuerzo. Por lo tanto, la pala ergonómica podría ser eficiente para mejorar el rendimiento humano, disminuyendo posición (mejorando postura) y ejecutar el movimiento con un menor esfuerzo físico, debido a su peso y percepción en comodidad.

La pala ergonómica cumple con los estándares planteados en normas técnicas internacionales, nacionales y en lo investigado en estudios anteriores. Tiene un peso liviano (Huang & Paquet, 2002), evita posturas incómodas (Lewinson et al., 2014), tiene agarres que permiten una postura mecánicamente eficiente en el segmento mano - muñeca (Subsecretaría de Previsión Social de Chile, 2018), es fácil de utilizar (Mondelo et al., 1999) y su fabricación es accesible (Padmanathan et al., 2016).

Un elemento relevante a destacar es la importancia de la antropometría para el uso de pala. Sujetos muy altos podrían generar flexiones e inclinaciones de tronco para lograr levantar el objeto, incluso con la pala ergonómica. Esto abre el estudio al diseño de nuevas palas que tengan ejes adaptables a cada estatura en una población de personas determinadas. En la realidad actual, las herramientas manuales como la pala son de tamaños estándares, situación que podría ser investigada para futuros estudios (Lewinson et al., 2014).

El peso de la pala fue una variable que no se analizó en el estudio, pero sí fue contemplada. La pala normal tiene una masa de 2,33 kg y la pala ergonómica de 1,98 kg. Esta diferencia de masa podría haber influido en el componente fisiológico, en la percepción de comodidad y percepción de esfuerzo (Kotowski et al., 2009).

Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones sustanciales en este estudio fue el bajo número muestral con el cual se trabajó. Dicho esto, el haber tenido más sujetos de estudio, robustece la muestra y potencia la validez externa de los datos.

El haber tenido un espacio controlado, también resulta ser una limitante. Tomando en consideración la gran variabilidad que tiene el movimiento humano. Controlar el ambiente puede sesgar ciertas variables cinemáticas alejando de la realidad propia el movimiento y la ejecución técnica de “palear” (Gómez-Galán et al., 2017).

Otra de las limitantes del estudio fue haber trabajado con sujetos no expertos. Esto puede influir en la técnica de ejecución y quizás haber alterado los resultados. Trabajar con sujetos expertos, garantiza al investigador controlar más variables y evitar los efectos del aprendizaje adquirido que tuvieron los sujetos no expertos en la investigación (Kotowski et al., 2009; Lewinson et al., 2014).

Conclusiones

Se puede concluir entonces que, sí existen cambios fisiológicos, cinemáticos y de diseño entre una pala convencional y una pala ergonómica (modificada en su eje, agarre y peso). Existe

una tendencia favorable a que la pala ergonómica tiene menor %CCV, y menor rango de movimiento a nivel del CM (representativo del movimiento de columna lumbar) en los movimientos de flexión e inclinación lateral, percibiéndose el gesto motor de forma cómoda y con percepción de esfuerzo menor.

Existen cambios significativos a favor de la pala ergonómica en las variables de FCmax y en la percepción relacionada con molestias músculo esqueléticas de columna lumbar y extremidades superiores.

Referencias

- Bridger, R. S., Cabion, N., Goedecke, J., Rickard, S., Schabort, E., Westgarth-Taylor, C., & Lambert, M. I. (1997). Physiological and subjective measures of workload when shovelling with a conventional and two-handled ('levered') shovel. *Ergonomics*, 40(11), 1212-1219. <http://doi.org/10.1080/001401397187450>
- Brumagne, S., Lysens, R., & Spaepen, A. (1999). Lumbosacral position sense during pelvic tilting in men and women without low back pain: Test development and reliability assessment. *Journal of Orthopaedic & Sport Physical Therapy*, 29(6), 345-351. <https://doi.org/10.2519/jospt.1999.29.6.345>
- Calahorra-Cañada, F., Torres-Luque, G., López-Fernández, I., Santos-Lozano, A., Garatachea, N., & Álvarez-Carnero, E. (2015). Actividad física y acelerometría: Orientaciones metodológicas, recomendaciones y patrones. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 115-128. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7450>
- Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, A. J., & López-Martínez, J. (2017). Musculoskeletal disorders: OWAS review. *Industrial health*, 55(4), 314-337. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2016-0191>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. L. (2010). *Metodología de la investigación*. Editorial McGraw Hill.
- Howell, D., Osternig, L., & Chou, L. S. (2015). Monitoring recovery of gait balance control following concussion using an accelerometer. *Journal of biomechanics*, 48(12), 3364-3368. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.06.014>
- Huang, C. T., & Paquet, V. (2002). Kinematic evaluation of two snow-shovel designs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(6), 319-330. [http://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00072-5](http://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00072-5)
- Kotowski, S. E., Davis, K. G., & Waters, T. R. (2009). Investigation of select ergonomic interventions to farm youth. Part 1: Shovels. *Journal of Agromedicine*, 14(1), 33-43. <http://doi.org/10.1080/10599240802612604>
- Kumar, S. (2007). Selected theories of musculoskeletal injury causation. En *Biomechanics in Ergonomics* (pp. 3-24). Taylor & Francis.
- Lewinson, R. T., Rouhi, G., & Robertson, D. G. E. (2014). Influence of snow shovel shaft configuration on lumbosacral biomechanics during a load-lifting task. *Applied Ergonomics*, 45(2 PB), 234-238. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.04.004>
- López-Chicharro, J., Vicente-Campos, D., & Cancino, J. (2013). Transición aeróbica - anaeróbica. En *Fisiología del entrenamiento aeróbico: Una visión integrada* (pp. 37-47). Editorial Médica Panamericana.
- Ministerio de Salud de Chile. (2000, 29 de abril). Decreto 594. *Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo*. Diario Oficial de la República de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=167766>
- Mondelo, P. R., Gregori, E., & Barrau, P. (1999). Carga física de trabajo. En *Ergonomía 1 Fundamentos*. Editorial Universidad Politécnica de Cataluña.
- Padmanathan, V., Joseph, L., Omar, B., & Nawawi, R. (2016). Prevalence of musculoskeletal disorders and related occupational causative factors among electricity linemen: a narrative review. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 29(5), 725. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.00659>
- Subsecretaría de Previsión Social de Chile. (2018). *Guía técnica para la evaluación y control de los riesgos asociados al manejo o manipulación manual de carga*.

<https://www.previsionsocial.gob.cl/sps/guia-tecnica-la-evaluacion-control-riesgos-asociados-al-manejo-manipulacion-manual-carga/>

Superintendencia de Pensiones de Chile. (2010). *Guía técnica de evaluación de trabajo pesado*.

<https://www.spensiones.cl/portal/institucional/594/w3-article-7600.html>

Wallman, H., et al. (2002). *Orthopaedic physical therapy clinics of North America*. Editorial Saunders.

Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & posture*, 3(4), 193-214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)

Yazdani, A., Neumann, W. P., Imbeau, D., Bigelow, P., Pagell, M., & Wells, R. (2015). Prevention of musculoskeletal disorders within management systems: A scoping review of practices, approaches, and techniques. *Applied ergonomics*, 51, 255-262.

<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.05.006>

Anexos

Anexo 1. Proyecto de pala ergonómica.

Proyecto: Pala Ergonómica

