

Procedimiento de reducción del impacto biomecánico en columna vertebral provocado por manejo manual de materiales

VAZQUEZ, Lamberto†, LABORIN, Daniel, LEDEZMA, Nubia, SOQUI, Francisco

Recibido 8 de Enero, 2016; Aceptado 26 de Mayo, 2016

Resumen

El manejo manual de materiales, establece un impacto biomecánico negativo en la columna vertebral del trabajador manteniendo una alta posibilidad de presentar un Desorden Músculo Esquelético, debido principalmente a la postura, fuerza y frecuencia que llevan consigo este tipo de tareas. La afectación principal que se presenta es una desalineación axial del tronco, lo que provoca una compresión asimétrica del cojín intervertebral, generando una presión del núcleo pulposo sobre el anillo fibroso con una mayor intensidad en un área en particular, dando como resultado un desgaste prematuro en su elasticidad y funcionalidad. El objetivo es establecer un procedimiento de alineación no invasiva que reduzca el impacto biomecánico del manejo manual de materiales, desarrollando y accionando una máquina ergonómica para la descompresión y la medición de las desviaciones de columna vertebral. El análisis estadístico de las mediciones contempla dos etapas, antes y después de la acción de la máquina, comparando a través de procedimientos estadísticos sus discrepancias. Logrando con ello contemplar el efecto de la máquina.

Manejo manual, columna vertebral.

Abstract

The manual handling material, sets a negative biomechanical impact at worker's spine and present a high possibility to observe a musculoskeletal disorder, caused mainly for body posture, stress and frequency demanded by this kind of tasks. The main affectation observed is an axial trunk misalignment which causes an asymmetric compression of the intervertebral cushion, pressing nucleus pulposus over fibrous annulus with a high intensity in a specific area, causing a premature wear in its elasticity and functionality. The objective is establishing a noninvasive alignment procedure which is able to reduce biomechanical impact due to manual handling materials, by developing and operating an ergonomic machine for decompression and measuring deviations of spine. The measurement of statistics analysis contemplates two stages, before and after action of the machine, comparing through statistic procedures of their discrepancies between the first and second measurements. Thereby achieves contemplating the effect of the machine.

Manual handling, spine

Citación: VAZQUEZ, Lamberto, LABORIN, Daniel, LEDEZMA, Nubia, SOQUI, Francisco. Procedimiento de reducción del impacto biomecánico en columna vertebral provocado por manejo manual de materiales. Revista de Simulación y Laboratorio 2016, 3-7: 1-9

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

La interactividad continua entre el desarrollo científico – tecnológico y los requerimientos altamente competitivos del mercado, generan un efecto fuertemente demandante de productividad y eficiencia en los procesos productivos actuales, lo que en el último eslabón de la cadena productiva impacta a la relación sinérgica del sistema hombre – máquina y se incrementa la probabilidad de que se generen complicaciones en el sistema músculo – esquelético del operario y con ello se presenten lo denominado Desórdenes Músculo Esqueléticos (Vazquez, 2012).

En México los Desórdenes Músculo Esqueléticos (DME's) de origen laboral constituyen la enfermedad ocupacional de mayor impacto económico – social de la actualidad, sin embargo, los esfuerzos realizados por las instituciones de seguridad social, los centros investigativos dedicados a la temática; no reflejan una respuesta convincente y apropiada a las necesidades actuales de los modernos procesos productivos, siendo los requerimientos y necesidad de los procesos de producción con flujos en línea, los mayormente causales de los DME's.

Los datos registrados en el Instituto Mexicano de Seguridad Social (IMSS), en su estadística nacional 2015 (IMSS, 2015), enmarcan una relación del 3.1% de riesgos laborales con respecto a los trabajadores afiliados y para el caso de Sonora esta relación aumenta a 3.6%. De esta relación los DME's representan el 35.86% del total de riesgos de trabajo y el 65% de estos riesgos, se presentan debido a las insuficiencias ergonómicas de las estaciones de trabajo, donde los operadores realizan sus actividades.

Aunado a lo anterior, la estadística de mayor incidencia y de mayor impacto en gravedad es la que se refiere a dolencias en la columna vertebral en específico las partes cervicales y lumbares del trabajador, situación que no se ha visto mejorada con la aplicación de medidas preventivas, correctivas, procedimientos ergonómicos para el manejo manual de materiales, el uso de soportes lumbares y los cálculos del máximo peso permisible. Por lo que se hace necesario complementar estas estrategias con un procedimiento enfocado a la terapia ocupacional no invasiva, que en su conjunto presente una sustancial mejora de la postura del trabajador, a partir de la descompresión del disco intervertebral.

La columna vertebral humana es una estructura rígida, que permite soportar presiones, y elástica, lo que le da un gran rango de movilidad (Mihăilă & Șlicaru, 2014). Estos dos conceptos son contrapuestos, pero a lo largo de la evolución se han convolucionado y el resultado es un equilibrio conveniente a las necesidades de soporte y movilidad. Este equilibrio, casi perfecto, se logra mediante los sistemas de protección musculares, aponeuróticos y mixtos. Cuando la columna deja de ser estable y aparece el dolor se deben revisar estos sistemas y normalmente se observa que alguno o varios están fallando, en la figura 1 se muestra de forma esquemática la alineación y desalineación de la columna vertebral.

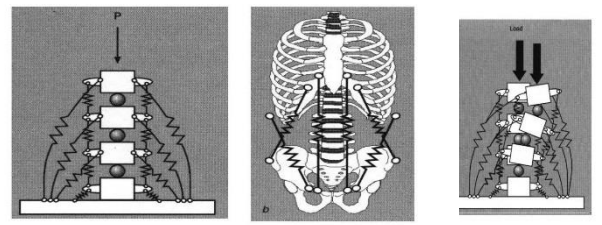


Figura 1 Esquema de la columna vertebral alineada y cuando se presenta desalineación (Mihăilă & Șlicaru, 2014).

La carga postural que mantiene la columna vertebral está conformada por un conjunto multifactorial que contempla el peso de la persona, la carga que levante o transporte, la forma y estructura de la carga, la postura en que desarrolle la tarea el operador y entre otras la repetitividad de movimientos que realice. Esto produce una compresión de los discos intervertebrales de forma irregular. Lo que provoca que, lo denominado como cojín intervertebral, pierda hidratación y fortaleza, estando con ello en posibilidad de generar una hernia discal y producir una presión sobre el sistema nervioso.

El presente proyecto de investigación aplicada valora la hipótesis: La aplicación del procedimiento de descompresión del disco intervertebral no invasivo, reduce el impacto biomecánico del manejo manual de materiales. Para lograr la comprobación o no, de la hipótesis planteada, se presenta el siguiente objetivo: Establecer un procedimiento de alineación no invasiva que reduzca el impacto biomecánico del manejo manual de materiales, desarrollando y accionando una máquina ergonómica para la descompresión y la medición de las desviaciones de la columna vertebral. Con lo anteriormente planteado, se logra medir las desviaciones de la columna vertebral del trabajador sobre su eje central de rotación. Estas mediciones cobran sentido a partir de la aplicación de la antropometría dimensional estática, al establecer la ortogonalidad de la primera cervical y su alineación con el coxis.

Para ello se hace necesario aplicar una cuadrícula de medición, que en este caso se utiliza la presentada en Vazquez (2016), esto permite medir las desviaciones de la columna vertebral.

Aunado a lo anterior, se lleva a cabo la acción pragmática de la máquina, y se contempla de nuevo la medición de la desviación de la columna sobre su eje central de rotación, comparando a través de procedimientos estadísticos las discrepancias entre la primera y segunda medición. Logrando con ello contemplar el efecto de la acción pragmática de la máquina.

La estructura del artículo se define en 4 aspectos sustanciales: en un primer punto se presenta la introducción, que estipula y presenta la temática desarrollada, su importancia, el planteamiento de la hipótesis y los objetivos y procedimientos por medio de los cuales se comprueba la hipótesis planteada.

El desarrollo es el segundo punto que se presenta estableciendo de forma esquemática la estructura de la investigación y el trabajo de medición, así como el accionamiento de la máquina ergonómica, llevado a cabo en la empresa Industrias APSON.

Punto siguiente, es el planteamiento de la metodología investigativa que se siguió durante el desarrollo propio de la investigación.

Es importante señalar que al ser una investigación aplicada el punto de mayor énfasis que se da en el artículo, es la presentación de los resultados obtenidos, donde se plantea cada paso desarrollado en la investigación y sus análisis estadísticos correspondientes. Como último punto se plantean las conclusiones a las que se llegó producto del trabajo investigativo desarrollado y el sustento científico metodológico a través de las referencias.

Desarrollo

La aplicación del procedimiento en campo se desarrolló como se presenta la figura 2.

Se aplicaron 49 procedimientos en estaciones de trabajo donde se mantiene alta repetitividad en las tareas necesarias para la realización de la producción. En la tabla 1 se muestran los resultados de las aplicaciones.

Es importante señalar que el procedimiento de medición se realizó por una sola persona, quien se capacitó en la forma requerida por la medición y realizó varias mediciones como parte de su capacitación.

EVALUACION DEL NIVEL DE ALINEACION DE COLUMNA												
NO.	NOMBRE	SEXO	EDAD	PRACTICA (EVANTAMIENTO)/ (PANTAMENTO)	PFC DE (EVANTAMIENTO)	MEDICION ANTES DEL PROCEDIMIENTO			MEDICION DESPUES DEL PROCEDIMIENTO			ACCOMION / ACCOMION
						ACCOMION (DERECHO)	ACCOMION (IZQUIERDO)	DEHUMBIA	ACCOMION (DERECHO)	ACCOMION (IZQUIERDO)	DEHUMBIA	
1	Octaviano Torres	H	41	S	20	2	1	1	2.7	2.5	0.2	20
2	Francisco Brucif	M	37	NO		2	2.3	0.7	2.2	2	0.2	37
3	Brenda María Casero	M	31	NO		1.7	0.6	0.6	1	0.4	0.1	31
4	Marta del Socorro Reyna Ruiz	M	38	NO		3.3	3.4	0.2	3.6	0.6	0	33.5
5	Juan Montijo	H	37	NO		2.3	2.5	0.2	1.8	1.8	0	40
6	Isaac Méndez	H	39	NO		2.7	1.5	0.7	0.5	0.4	0.1	43.5
7	Yoselin Villanueva	M	37	NO		0.9	2.4	3.3	0.4	0.8	1.2	43.5
8	Angélica Lacort	M	28	NO		1.6	3.2	1.6	1	2.3	1.3	35
9	Isaac Manuel Cortes	H	49	S	39	0	1	1	2.2	2	0.2	48.5
10	Fernando Melina Ruiz	H	30	S	40	0	0.8	0.8	1.1	0	0.1	38.5
11	Yalila Angulo *	M	39	S	5	2	2.8	0.8	1.6	1.2	1.0	36.1
12	José Barral	H	28	NO		0.5	-1.5	2	2.3	2.4	0.5	42
13	Isaac Lucas Saldivar	M	38	NO		2.1	1	1.1	0.8	0.7	0.1	38
14	María Ezequiel Blandón	M	39	NO		0.8	1	0.2	1.2	1.6	0.4	40.5
15	Martha Dolores Chaves	M	56	NO		0.7	0.3	0.4	0	0	0	37.5
16	Leticia Salazar	H	48	S	30	2.9	3.2	3.5	2.2	2.2	0	40.5
17	Isidro Aguilar	H	49	S	30	0.9	1	0.1	0.8	0.8	0	45.7
18	María Elena Rodríguez	M	38	NO		1.4	2.3	0.9	1.9	1.5	0.4	37.3
19	Blanca Gabriela León	M	41	NO		1.8	3.2	0.8	2.7	2.8	0.1	38.5
20	Marcela Sierra	H	40	S	30	3	1.4	1.8	0.8	1.1	0.2	43.5

Tabla 1 Resultados de las aplicaciones del procedimiento en estaciones de trabajo con alta repetitividad.

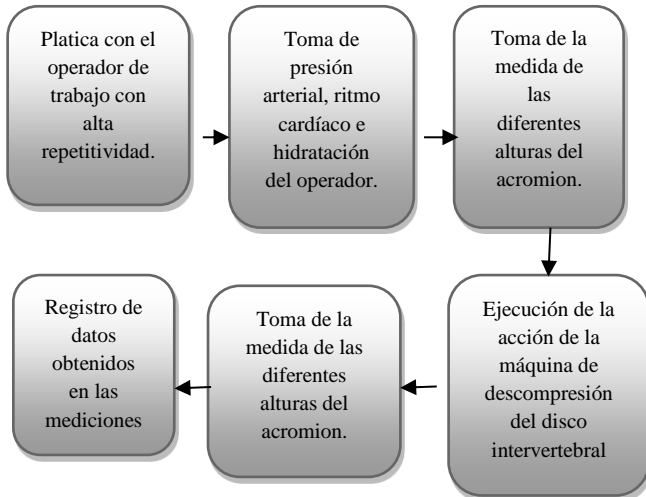


Figura 2 Flujo de acción de la aplicación del procedimiento para la descompresión.

Para evaluar la efectividad en la medición realizada se aplicó el coeficiente de correlación intra – clase, donde se comparó la medida proporcionada por la cuadrícula utilizada en el procedimiento de descompresión, con las medidas del acromion al piso de lado derecho e izquierdo. En la tabla 2 se muestran los resultados del cálculo del coeficiente de correlación intra – clase obtenido.

Intraclass Correlation Coefficient						
	Intraclass Correlation ^b	95% Confidence Interval		F Test with True Value 0		
		Lower Bound	Upper Bound	Value	df1	df2
Single Measures	.984 ^a	0.962	0.993	123.611	21	21
Average Measures	.992 ^c	0.981	0.997	123.611	21	21

Tabla 2 Resultados del cálculo del coeficiente de correlación intra – clase obtenido en el paquete estadístico SPSS 23.

Metodología

La acción metodológica se estructura en 3 pasos, desarrollados a continuación.

En el primer paso se establecen las características y requerimientos necesarios para el diseño ergonómico de la máquina necesaria para la descompresión del disco intervertebral. Este proceso contempla el análisis de las características antropométricas de la población objeto de estudio, la estructura biomecánica de interacción entre el operador y la máquina, los aspectos relativos a la mecánica del movimiento de la máquina y los límites permisibles del movimiento.

Es importante señalar que el diseño de la máquina contempla las directrices antropométricas sustentadas en la carta antropométrica desarrollada por la Sociedad Ergonomista Mexicana para la zona Noreste del Estado de Sonora.

Con base a estas dimensiones la máquina contempla en su diseño un conjunto de dispositivos adaptables al rango definido entre el percentil 5 y 95 de la población, lo que facilita la acción de la máquina en la descompresión del disco intervertebral.

Las condiciones que deberán hacer la caracterización de que la máquina es ergonómica contemplan cuatro aspectos importantes: La postura que deberá tener el operador para la descompresión del disco intervertebral y el tiempo máximo permitido. La amplitud de movimiento que debe tener el usuario de la máquina para lograr el objetivo de la descompresión. La repetitividad con la que se deberá hacer el movimiento para la descompresión. Los niveles de ajuste requeridos para que se minimice la distancia entre la postura del operador y la posición neutra del mismo, para lograr un efecto positivo en la descompresión. Con estas características se diseñó la máquina con el objetivo central de lograr la descompresión del disco intervertebral de la población objeto de estudio.

El segundo paso en el desarrollo metodológico se establece un mecanismo de medición de la desviación de la columna vertebral sobre su eje de giro. Este mecanismo está direccionado con los principios científicos de la evaluación posturológica (Vazquez, 2016).

Esta medición indica la importancia de la aplicación de la máquina diseñada, ya que las desviaciones que se presentan entre la cervical 1 y el coxis hacen que la columna se salga de su alineación vertical y se presente una compresión en el disco intervertebral de mayor impacto que en la normalidad, lo que conduce a la posibilidad de generar un DME's en la columna vertebral, en la figura 3 se muestra la acción de la medición.



Figura 3 Plantilla de medición y procedimiento para medir la desviación de la columna vertebral.

Los efectos negativos del trabajo repetitivo son agentes proactivos para que se presente una desalineación entre la cervical denominada atlas ortogonal y el coxis, debido a ello es que el procedimiento de medición contempla características de repetitividad y usabilidad, que logran en su acción, definir como confiable el procedimiento y se realizaron las pruebas estadísticas que permitan establecer esta premisa (Mihăilă & Şlicaru , 2014).



Figura 4 Acción de la máquina para la descompresión del disco intervertebral, patente en trámite.

El tercer paso en el desarrollo metodológico consiste en establecer el mecanismo de acción pragmática de la máquina ergonómica diseñada y la validación de los resultados que este procedimiento arroje. En la figura 4 se muestra la acción de la máquina para la descompresión del disco intervertebral.

Resultados

De las 49 aplicaciones realizadas del procedimiento el 88% de éstas, presentó una disminución de la desalineación de las alturas del acromion con respecto al eje horizontal de referencia y sólo el 12% restante presentó un incremento de la desviación axial del acromion.

En la figura 5 se muestran los resultados de las 49 aplicaciones del procedimiento y las 2 mediciones realizadas como parte del procedimiento de descompresión de los discos intervertebrales, se denota en los resultados de la primera medición (línea verde) que existe una mayor diferencia entre las medidas del acromion de los trabajadores, que en la segunda medición (línea roja) realizada después de la acción pragmática de la máquina.

De forma gráfica se puede denotar que existe una diferencia significativa en las dos gráficas y se esta en posibilidad de enmarcar que esa diferencia se debe al efecto de la acción de la máquina de descompresión del disco intervertebral.

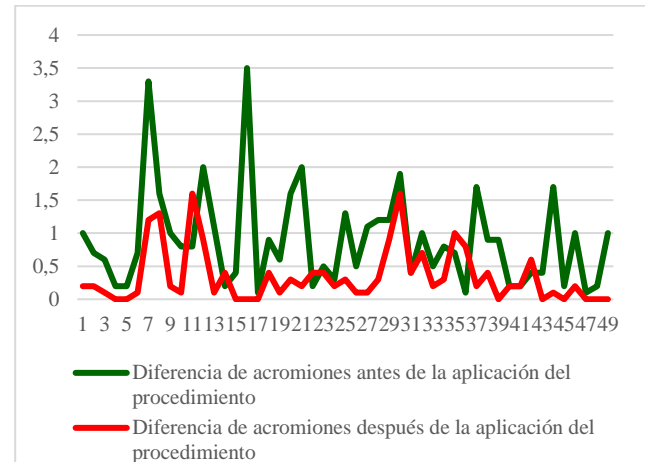


Figura 5 Resultado de las 49 aplicaciones del procedimiento a trabajadores con actividades altamente repetitivas.

Para sustentar estadísticamente esta diferencia se realizaron un conjunto de pruebas para verificar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las dos mediciones (Meaney, y otros, 2015). La primera prueba que se realizó es comparar si las medias de los dos conjuntos de datos eran iguales o si existía una diferencia entre ellas, la prueba se realizó con un nivel de confianza del 95%. Es importante mencionar que las pruebas estadísticas se realizaron considerando que las poblaciones son pareadas (paired), debido a la forma en que se procedió en la realización experimental. En la tabla 3 se muestran los resultados de la prueba, considerando la hipótesis nula y la alternativa como: las medias de las dos poblaciones son iguales y las medias de las dos poblaciones son diferentes, respectivamente.

Del mismo modo se observa la media de las dos poblaciones, la media de la diferencia entre las medias y las pruebas estadísticas para su comparación. En esta prueba se observa en el valor de P una menor cantidad a lo requerido por la prueba (.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Dando como interpretación que las medias de las dos poblaciones son diferentes.

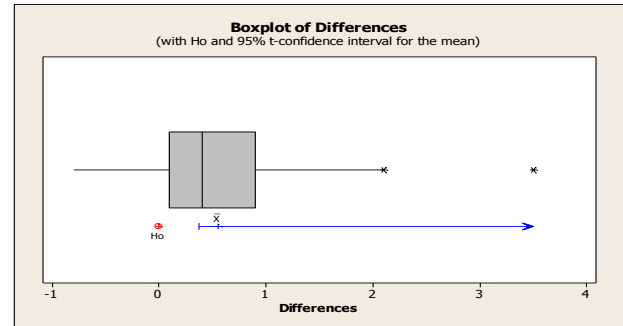
Paired T for Sin procedimiento - Con procedimiento				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Sin				
procedimiento	49	0.895918	0.745531	0.106504
Con				
procedimiento	49	0.346939	0.414881	0.059269
Difference	49	0.548980	0.724604	0.103515
95% CI for mean difference: (0.340849, 0.757110)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 5.30 P-Value = 0.000				

Tabla 3 Resultados del procedimiento estadístico de comparación de las dos mediciones, utilizando el paquete estadístico Minitab 14.

El análisis estadístico anterior proporciona la información de que las medias son diferentes, por lo que se hace necesario desarrollar una nueva prueba que indique si estadísticamente la media de la población antes de que se aplicara el procedimiento es mayor a la media de la población a la que se le aplicó el procedimiento de descompresión.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la siguiente prueba estadística considerando a la hipótesis nula y la alternativa como: las medias de las dos poblaciones son iguales y la media de la población a la que no se le ha aplicado el procedimiento es mayor a la media de la población que se le aplicó el procedimiento, respectivamente.

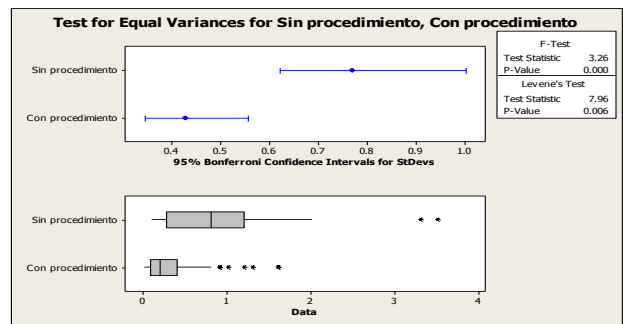
En la tabla 4 se puede observar la media de las dos poblaciones, la media de la diferencia de entre las dos medias y las pruebas estadísticas para su comparación. En esta prueba se observa en el valor de P una menor cantidad a lo requerido por la prueba (.05), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.



Paired T for Sin procedimiento - Con procedimiento				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Sin				
Procedimiento	49	0.895918	0.745531	0.106504
Con				
procedimiento	49	0.346939	0.414881	0.059269
Difference	49	0.548980	0.724604	0.103515
95% lower bound for mean difference: 0.375362				
T-Test of mean difference = 0 (vs > 0): T-Value = 5.30 P-Value = 0.000				

Tabla 4 Resultados del procedimiento estadístico de comparación de las dos mediciones, considerando a la hipótesis alternativa como: la media de la población a la que no se le aplicó el procedimiento es mayor que la media de la población a la que se le ha aplicado.

Dando como interpretación que la media de la población a la que no se le ha aplicado el procedimiento es mayor que la media de población a la que se le ha aplicado el procedimiento de descompresión.



Esta situación se puede observar de manera gráfica en la figura 6, donde se aprecia la región donde la hipótesis nula se podría considerar como verdadera y en consecuencia se denota fuera de esta región, confirmando el rechazo de esta hipótesis y considerando como aceptada la hipótesis alternativa. Con lo que se define que la media de la población a la que no se le ha aplicado el procedimiento es mayor a la media de la población a la que se le aplicó el procedimiento de descompresión de discos intervertebrales.

Para observar el comportamiento de la varianza de las dos poblaciones en estudio, se desarrolló una prueba estadística para comparar si las dos poblaciones mantienen una varianza igual o son diferentes. Con esta prueba se está en posibilidad de establecer cuál de las dos poblaciones tiene una mayor varianza y es menos consistente.

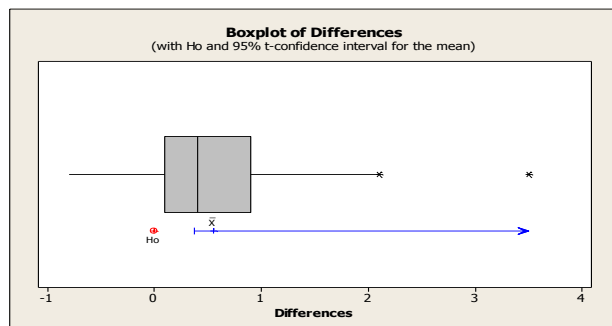


Figura 6 Gráfica de la región de rechazo de la hipótesis nula del experimento y diagrama de caja de la diferencia de las medias de las dos poblaciones en estudio.

En la figura 7 se observa la distribución de las varianzas para cada población en estudio. De manera gráfica y con los estadísticos de prueba (valor de P menor que .05) se define que estadísticamente las dos poblaciones mantienen una diferencia en sus varianzas, esto al 95% de nivel de confianza.

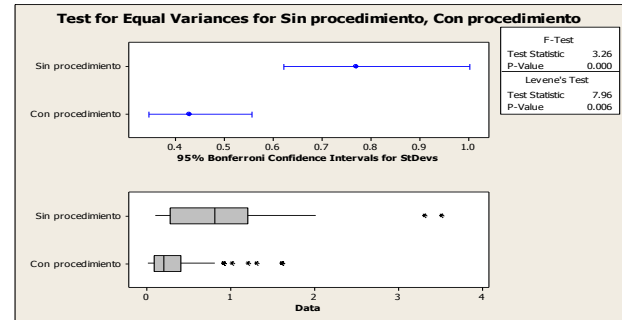


Figura 7 Resultados del análisis de varianza para las dos poblaciones en estudio.

Con el conjunto de análisis estadístico aplicado a las dos poblaciones en estudio, se puede establecer con un nivel de confianza del 95% que la media de la población a la que no se le ha aplicado el procedimiento es mayor y con mayor varianza que la media de la población a la que se le aplicó el procedimiento, por lo tanto se plantea que el procedimiento de descompresión desarrollado, ha generado una mejora sustancial en la alineación de la columna vertebral de los trabajadores involucrados en el estudio y que realizan actividades de manejo manual de materiales.

Agradecimiento

Los autores desean agradecer a la empresa Industrias APSON S.A. de C.V. el apoyo en la realización de esta investigación, demostrando su disponibilidad al desarrollo científico en el Noreste del Estado de Sonora en México.

Conclusiones

En México, el esfuerzo realizado para disminuir los DME's de origen laboral, enfocado principalmente en la aplicación de medidas ergonómicas preventivas, correctivas, procedimientos ergonómicos para el manejo manual de materiales, el uso de soportes lumbares y los cálculos del máximo peso permisible no ha surtido el efecto necesario, por el contrario, se marca una tendencia en el incremento de este tipo de complicaciones.

Por lo que se hace necesario complementar estas estrategias con un procedimiento enfocado a la terapia ocupacional no invasiva, que en su conjunto presente una sustancial mejora de la postura del trabajador, a partir de la descompresión del disco intervertebral.

El procedimiento de descompresión de disco intervertebral establecido en la presente investigación, lleva consigo tres momentos importantes, el primero donde se mide la desalineación existente entre los dos acromiones del trabajador que lleva en su tarea diaria el manejo manual de materiales; un segundo momento es la acción pragmática de la máquina denominada JVC Shaking; un tercer momento donde se realiza de nuevo la medición de las alturas de los dos acromiones con respecto a la horizontal y se lleva a cabo la comparación entre la primera y la segunda medición.

El procedimiento se ha aplicado en los procesos de producción con flujos en línea, en específico en las tareas que conllevan el manejo manual de materiales. Encontrando que este tipo de tareas genera una desalineación de la columna vertebral y una mayor compresión del núcleo pulposo sobre un área específica del anillo fibroso. Lo que mantiene una alta posibilidad de generar un DME's.

La acción del procedimiento se ha validado a través de un conjunto de pruebas estadísticas que permiten establecer, que la acción pragmática de la máquina genera una disminución considerable en la desalineación de los acromiones, generando con ello una menor e igual compresión de las vértebras sobre los discos intervertebrales. Con el sustento anterior se establece que el procedimiento de alineación no invasiva, reduce el impacto biomecánico del manejo manual de materiales sobre la columna vertebral del trabajador.

Referencias

IMSS. (2015) Memoria estadística 2015. Recuperado de: www.imss.gob.mx/conoce-al-imss/memoria-estadistica-2015. Introducción (parr 3).

Meaney, C. et al. (2015). "Text mining describes the use of statistical and epidemiological methods in published medical research". *Journal of clinical epidemiology*, 74,124-132.

DOI:10.1016/j.jclinepi.2015.10.020

Mihăilă, R. & Şlicaru, A. (2014). "Spine Functionality - General Methodological Problems and Electromyography as a Method of Investigation". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 117, 588-596. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.02.267

Vazquez, L. (2012). "Contribución a la evaluación del desempeño productivo y la salud del trabajador, en el ensamble manual de la industria maquiladora en el Noreste de Sonora, México". Director: José Manuel Pozo. Tesis de doctorado, Universidad de La Habana, Ciudad de La Habana.

Vazquez, L. et al. "Analysis and measurement of intervertebral discs deviation caused by manual handling material". En libro de memorias XVIII Congreso Internacional de Ergonomía, (18°, 2016, Tijuana, Baja California) ISBN 978-0692-66972-3. pp.389-393.