

ESTUDIOS DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA

VOLUMEN XIII

**

Editoras

Magalí Civera Cerecedo
Martha Rebeca Herrera Bautista



Instituto Nacional
de Antropología
e Historia



Consejo Nacional
para la
Cultura y las Artes



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS
INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE ANTROPOLOGÍA BIOLÓGICA
MÉXICO 2007

Comité editorial

Xabier Lizarraga Cruchaga
Abigail Meza Peñaloza
Florencia Peña Saint Martin
José Antonio Pompa y Padilla
Carlos Serrano Sánchez
Luis Alberto Vargas Guadarrama

Todos los artículos fueron dictaminados

Primera edición: 2007

© 2007, Instituto de Investigaciones Antropológicas
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F.

© 2007, Instituto Nacional de Antropología e Historia
Córdoba 45, Col. Roma, 06700, México, D.F.
sub_fomento.cncpbs@inah.gob.mx

© 2007, Asociación Mexicana de Antropología Biológica

ISSN 1405-5066

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización
escrita del titular de los derechos patrimoniales

D.R. Derechos reservados conforme a la ley
Impreso y hecho en México
Printed in Mexico

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA ACTIVIDAD OCUPACIONAL DEL MACHETERO. ESTUDIO DE CASO

Gerardo Valenzuela Jiménez
Ivett Quiñones Uriostegui*
Aldo Alessi*
Gerardo Rodríguez*
Lidia Núñez*
Enrique Vergara**
Héctor Martínez**

Dirección de Antropología Física, INAH

**Laboratorio de Análisis de Movimiento Humano, INR*

***Medicina de la Actividad Física y Deportiva, INR*

RESUMEN

Se realizó un estudio biomecánico de la actividad de machetero o estibador con técnicas de análisis de movimiento humano para conocer la actividad muscular y rangos de movimiento en las diferentes articulaciones involucradas y las componentes de la fuerza de reacción que el sujeto ejerce. Con ello, justificar la formación de marcas de ocupación óseas relacionadas con esta actividad ocupacional, encontrándose una relación importante entre la actividad física y las marcas del esqueleto número 2 de la Colección Osteológica San Nicolás Tolentino. Aunado a este estudio se identificaron factores de riesgo en esta actividad que llevan a desarrollar patología de la columna lumbar.

PALABRAS CLAVE: machetero, análisis de movimiento, marcas óseas ocupacionales, Ley de Wolff.

ABSTRACT

We present in this paper a biomechanical study by means of the analysis of human movement for muscular activity, as well as the range of movements of diffe-

rent joints and forces of reaction of the components exerted by the activities of a carrier or "machetero". The results show an important relationship between the muscle-skeletal marks and the activity carried out by him. We were also able to identify risk factors that lead to a lesion on the lumbar region.

KEY WORDS: machetero or carrier, movement's analysis, skeletal markers of activity.

INTRODUCCIÓN

El estudio de marcas de ocupación visibles en el esqueleto ha sido de interés para obtener información con fines médicos y antropológicos. El estudio de marcas ocupacionales en una población osteológica de la cual se conoce la actividad a la que se dedicó en vida, entre otros datos, brinda la oportunidad de construir un patrón de huellas músculo-esqueléticas para una ocupación conocida (Valenzuela 2004).

Se cuenta con una colección osteológica con todos los datos y documentos requeridos, por lo que es posible plantearnos una investigación de este tipo. Se trata de la Colección Osteológica Mexicana: San Nicolás Tolentino, de la cual se tomó el esqueleto número 2 perteneciente a un sujeto de sexo masculino de 62 años de edad a la muerte y que en vida desempeñaba el oficio de machetero o cargador en la Central de Abasto de la Delegación Iztapalapa, México, D. F. (Valenzuela 2004). Las características de este esqueleto llevaron al análisis del patrón de las marcas de actividad ocupacional específicas. El siguiente estudio se realizó con el propósito de comparar el patrón de marcas de actividad ocupacional obtenido a partir del examen osteológico del esqueleto número 2 de la Colección San Nicolás Tolentino, con el análisis biomecánico del movimiento que realizan los macheteros actuales durante la realización de su actividad ocupacional.

La idea surgió a partir del conocimiento de las nuevas tecnologías para la medición de los movimientos que realiza el cuerpo humano, como son los sistemas de análisis cinético y cinemático, los cuales nos permiten estudiar de manera objetiva la posición, la estructura, la función y la biomecánica de los organismos vivos, principalmente del hombre.

Aunque el sistema esquelético haya alcanzado su madurez, el hueso continúa remodelándose a lo largo de la vida y adapta sus pro-

pedades a las demandas mecánicas ejercidas sobre él. A los procesos moleculares y celulares con los cuales responde el hueso al estrés mecánico se les conoce como Ley de Wolff (Bostrom *et al.* 2000, Chapman 2000, Haberland 2001, Hawkey y Merbs 1995).

Las marcas de ocupación son una serie de alteraciones en los sitios de inserción muscular y de articulaciones entre los huesos, y son el resultado de la sobreutilización diaria de grupos musculares durante la constante realización de una actividad ocupacional y la permanencia por tiempo prolongado en una postura que provoca tensión en las articulaciones (Kennedy 1989). Los marcadores óseos utilizados fueron: la robustez en los sitios de inserción muscular, entesopatías y sindesmopatías, lesiones degenerativas en el tejido articular, lesiones en la columna vertebral, facetas supernumerarias, traumatismos y fracturas. Éstos pueden o no expresarse en los huesos del esqueleto mediante rugosidades, depresiones y crestas en los sitios de inserción de tendones y ligamentos; la inserción tendinosa es la más afectada, ya que los músculos necesitan un área de inserción mayor para evitar rupturas (Hawkey y Merbs 1995). El grado de alteración en estos sitios puede indicar la cantidad y la duración de la actividad ejercida por los músculos o ligamentos involucrados en el movimiento realizado (Kennedy 1989). La técnica con la que se realice alguna actividad física influye también sobre el sistema esquelético, al distribuir las cargas de acuerdo con el movimiento realizado. Se ha encontrado asociación entre el desarrollo de patología lumbar y cargas mecánicas, así como de actividades que requieren esfuerzos físicos máximos realizados de forma súbita que causen hiperflexión o hiperextensión de la columna lumbar. Cuando se realiza un esfuerzo súbito contra una carga el sistema neuromuscular responde en forma excesiva, ocasionando un incremento en la fuerza compresiva que coincide con el punto máximo de deformación, lo cual puede ocasionar daño o prolapso de los discos intervertebrales (Mannion *et al.* 2000).

METODOLOGÍA

El experimento consistió en llevar a cabo un análisis biomecánico de los principales movimientos realizados por un machetero durante su actividad ocupacional. Como herramientas de medición se utilizaron

los equipos del laboratorio de análisis de movimiento del Instituto Nacional de Rehabilitación: la electromiografía de superficie (Myopack EMG) de 18 canales y electrodos de superficie, la plataforma de fuerza (AMTI OR6-5) con sensores *strain-gauges* con una fuerza horizontal de 5000N y vertical de 2000N y el sistema cinemático de posición magnética en 3D (*Skill Technologies*). Con la subsiguiente metodología:

1) Identificar los movimientos más repetitivos del machetero: para ello, acudimos a una central de abasto para conocer las funciones que los cargadores realizan y así identificar, con ayuda de la video-grabación y fotografía, sus principales movimientos. Se determinaron los más representativos y se observaron los diferentes estilos para cargar y descargar bultos. Una vez obtenida esa información se procedió a señalar los principales paquetes musculares que permiten tales movimientos.

2) Se definió el movimiento pertinente de estudio: una vez analizadas las secuencias en video, se procedió a definir cuál era el movimiento característico que la mayoría de los cargadores ejecutaban. Se concluyó que el movimiento que debía ser estudiado era el de tomar un bulto (de azúcar) desde el suelo, en sentido antero posterior, que colocaban momentáneamente sobre los muslos y finalmente depositaban sobre el hombro del compañero.

También se tomaron en cuenta las limitaciones que presentaban los equipos con los cuales serían medidos dichos movimientos, como son: la disposición de los electrodos, y sensores y la del cableado a lo largo del cuerpo.

3) Se dividió el movimiento en tres etapas: una vez que se escogió el adecuado, fue dividido dependiendo del sitio donde se encontraba la carga y la posición del cargador con respecto al compañero receptor:

Primera etapa: tomando la carga desde el suelo hacia los muslos.

Segunda etapa: con la carga en el aire. Máximo trabajo.

Tercera etapa: justo antes de depositar la carga en el receptor.

4) Se definieron los músculos que se analizarían y los sitios donde se colocarían los electrodos de superficie: tomando en cuenta la transferencia del peso del sujeto más el del bulto y los rangos de movimiento observados. En la colocación de los electrodos de superficie se utilizó la técnica propuesta por Delagi *et al.* (1989), consistente en reconocer

el sitio de origen y de inserción de cada músculo y colocar los electrodos en el punto motor.

5) Procedimiento: se contrató a un machetero con características antropométricas similares al esqueleto número 2: diestro, talla aproximada 1.65 m y peso aproximado de 75 kg. El sujeto se midió (1.66 m) y pesó 66.5 kg, se le marcaron los sitios para la colocación de los electrodos de superficie para EMG (Delagi *et al.* 1989) (figura 1).

Posteriormente, se conectó al electromiógrafo Myopack, se le colocó el arnés y los electrodos del Skill Technologies y se procedió a digitalizarlo (figuras 2, 3 y 4).

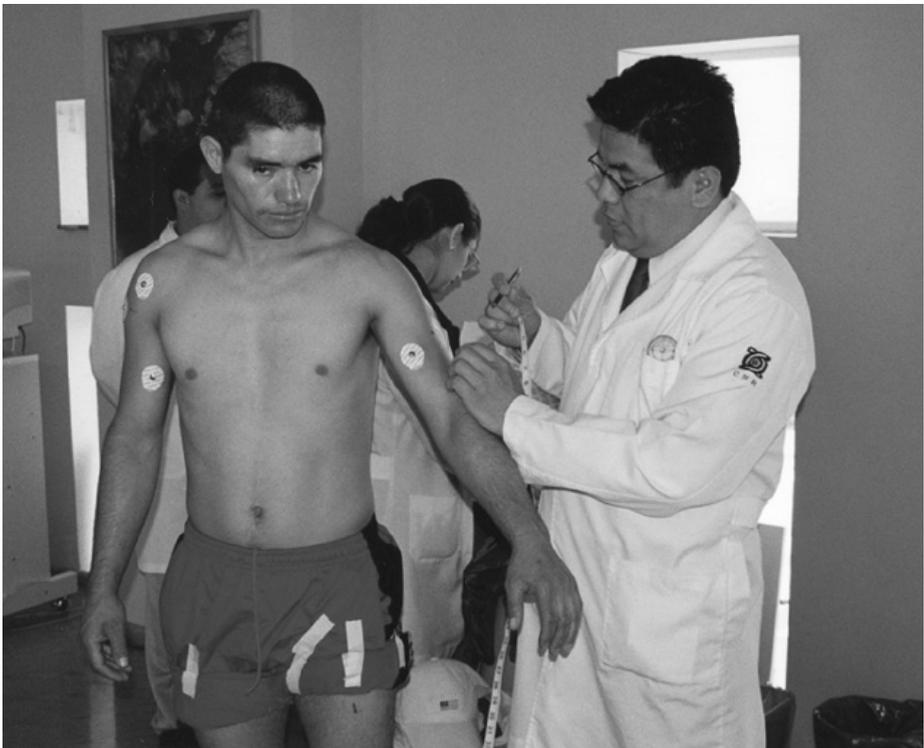


Figura 1. Colocación de electrodos de superficie de EMG; fotografía tomada por G. V. J.

El machetero se colocó sobre la plataforma de fuerza y se le indicó que ejecutara el movimiento seleccionado a través de la siguiente secuencia:

- Tomar el bulto de azúcar desde el suelo en el sentido antero posterior, colocarlo momentáneamente sobre los muslos y finalmente depositarlo en el suelo.



Figura 2. Colocación del electromiógrafo Myopack, arnés y electrodos de Skill Technologies (fotografía de G. V. J.)



Figura 3. Digitalización de puntos antropométricos en extremidades superiores (fotografía de G. V. J.)

- Tomar el bulto desde el suelo en el sentido antero posterior, colocarlo momentáneamente sobre los muslos y finalmente depositarlo sobre el hombro del compañero.
- Tomar el bulto desde el suelo en el sentido antero posterior, colocarlo momentáneamente sobre los muslos y finalmente depositarlo sobre su hombro.

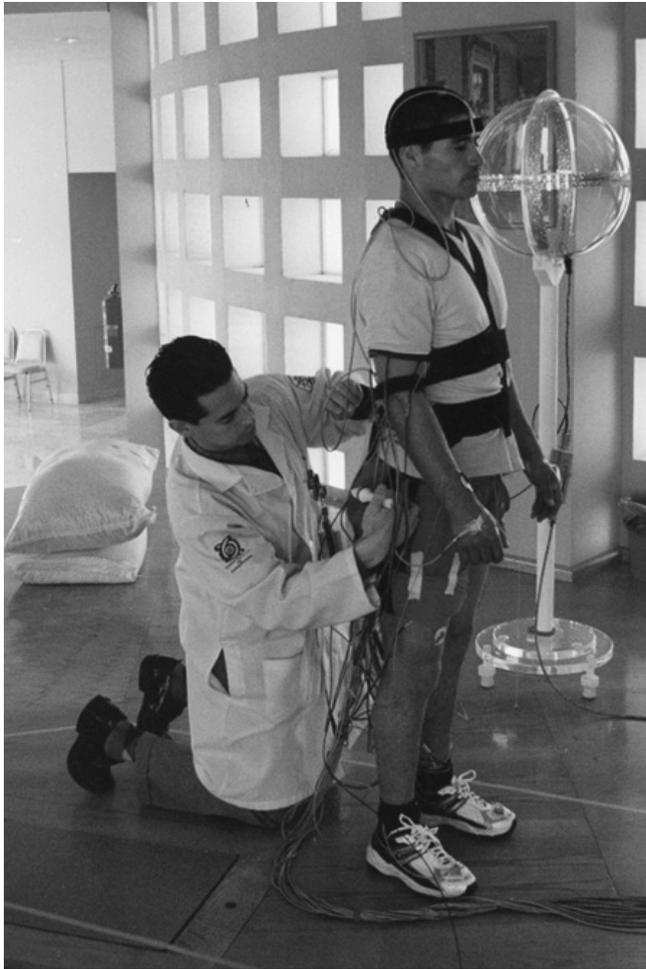


Figura 4. Digitalización de puntos antropométricos en cintura pélvica (fotografía de G. V. J.)

La secuencia fue diseñada tomando en cuenta la curva de aprendizaje que pudiera presentar el sujeto y la adaptación al equipo colocado sobre su cuerpo. Cada parte de la secuencia fue repetida tres veces con dos diferentes dimensiones de carga, una con un bulto de aserrín de 10 kg y otra con un bulto de azúcar de 50 kg.

RESULTADOS

Análisis de los videos

De acuerdo con los videos, los movimientos más repetitivos fueron: la inclinación lateral, rotación y flexión del cuello, elevación y descenso de la cintura escapulohumeral; flexión y extensión del tronco, rotación del tronco, inclinación del tronco, abducción y aducción del brazo, rotación externa e interna del brazo, flexión y extensión del antebrazo sobre el brazo, pronación y supinación del antebrazo, flexión y extensión del muslo, flexión y extensión de las piernas, flexión dorsal y plantar del pie.

Análisis biomecánico por etapas

Se obtuvieron los valores promedio de las repeticiones y en este escrito sólo se manifiestan los resultados obtenidos con el bulto de 50 kg. La figura 5 muestra un ejemplo de la representación gráfica de los resultados durante todo el movimiento. El reporte de datos consiste en cuatro etapas. Los primeros 16 cuadros corresponden a la electromiografía de superficie de cada uno de los músculos involucrados en el estudio. Los siguientes 13 gráficos se refieren a los ángulos (goniometría) o rangos de movimiento efectuado por las articulaciones. Las tres últimas gráficas hacen alusión a los datos obtenidos por la plataforma de fuerza, donde f_x , f_y y f_z son las componentes de la fuerza total ejercida sobre la plataforma de fuerza en los tres ejes en el espacio. F_x corresponde a la fuerza lateral ejercida por el individuo, f_y a la fuerza antero posterior y f_z a la fuerza vertical.

Finalmente, en la ventana de datos, en el extremo superior derecho, se observa una representación gráfica de la posición de los sensores en el espacio que simbolizan la postura del machetero en ese instante. Ese tiempo es marcado en cada uno de los recuadros a través de un cursor, que indica la información requerida para cada fase.

Para obtener los resultados finales se llevó a cabo un análisis cuadro por cuadro de las posturas del machetero, utilizando la representación en 3D (Sistema Cinemática de Posición Magnética) del esqueleto del individuo en estudio y las ventanas Labview, con el valor correspon-

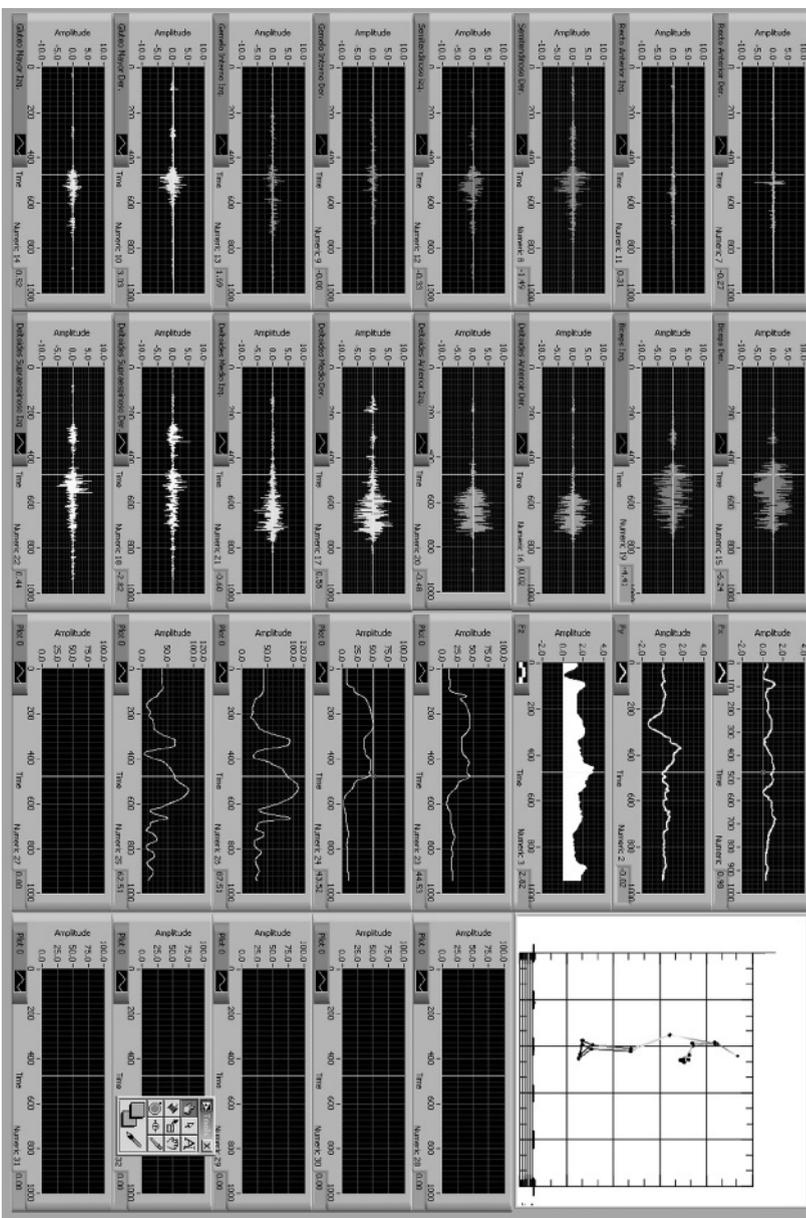


Figura 5. Ventana Labview donde se registra la actividad de los músculos, los ángulos de las articulaciones y la fuerza empleada durante el movimiento seleccionado.

diente a cada cuadro, de la goniometría, la señal bioeléctrica y la plataforma de fuerza (figura 6).

Durante la primera etapa del movimiento se detectó actividad muscular principalmente en extremidades inferiores; no se realizó el registro de los músculos dorsales y abdominales que intervienen en los movimientos de flexión-extensión de la cadera. En el estudio de la cinemática mediante la evaluación goniométrica encontramos que la flexión de las rodillas es de 54° y de la cadera de 140° , lo que evidencia una mala técnica al levantar la carga desde el piso; esto ocasiona un aumento de la presión en los discos intervertebrales, ya que en esta



Figura 6. Representación a escala real en 3D con el Sistema de Posición Magnética del machetero en estudio. Resultado de la digitalización de puntos antropométricos.

situación los músculos abdominales no ayudan a soportar la columna lumbosacra (figura 7).

El gesto motor mencionado, la actitud del machetero y la carga son factores predisponentes de lesiones en columna lumbosacra, como hernias discales, desgaste óseo, fracturas por estrés y radiculopatías (Arbit *et al.* 2001, Lavender *et al.* 2000).

En extremidades superiores observamos actividad del músculo supraespinoso que realiza el trabajo de abducción de la articulación glenohumeral para preparar el levantamiento. Las mediciones goniométricas concuerdan con la actividad registrada en la EMG. Tomando en cuenta que el individuo sólo tenía un pie sobre la plataforma de fuerza y que además presentaba basculación izquierda, se podría pensar que el peso se distribuye un 50% en cada extremidad del individuo si no tuviera esa basculación.

Al inclinarse hacia el frente para tomar el bulto se registró una fuerza vertical (F_z) de 486.38 N, y una fuerza antero posterior (F_y) de 96.95 N debido a que envió su peso hacia delante para tomar el im-

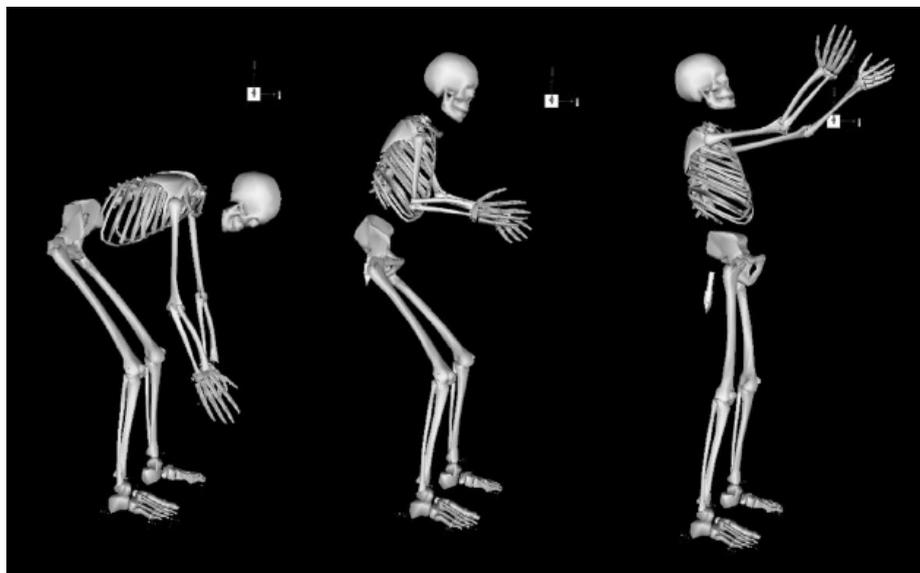


Figura 7. Fases 1, 2 y 3 del movimiento analizado.

pulso y balancearse hacia atrás con el bulto, lo que generó un peso considerable en la columna lumbar. Lateralmente no es significativa la componente de la fuerza pues apenas ejerce 26 N sobre este eje.

Durante la segunda etapa se encontró actividad muscular en la mayoría de los músculos monitorizados. El glúteo mayor involucrado en la extensión de cadera muestra un aumento notable en su actividad. Los músculos de la extremidad superior se activaron para realizar la acción de levantar la carga y sostenerla (figura 7). Las mediciones goniométricas obtenidas en esta fase comprueban lo antes mencionado, ya que se observa sincronía de la actividad electromiográfica con los rangos de movimientos articulares.

Sin embargo, las mediciones de las articulaciones inferiores son indicativas de una inadecuada postura para la realización de esta actividad, lo que conlleva riesgos para la aparición de las patologías antes mencionadas, ya que el esfuerzo ejecutado se transmite hacia la columna lumbar. En la plataforma de fuerza se registró una máximo de la fuerza vertical (F_z) de 680.76 N, lo cual es lógico ya que es el punto en el que lleva la carga completa en el aire. La fuerza antero posterior (F_y) 7.29 N disminuyó 89.66 N, lo que significa que enderezó su cuerpo conservándolo en una línea recta durante la trayectoria del bulto en el aire. Sin embargo, la carga lateral aumentó (F_x) 68.68 N hacia al lado izquierdo.

En la etapa tres, la EMG y goniometría muestran actividad predominante de extremidades superiores que realizan la función de sostener y transferir la carga hacia otro individuo, además de estabilizar la articulación del hombro. La cadera hace un movimiento de extensión para ayudar a trasladar el peso hacia el frente (figura 7). Se activan el gemelo interno, el bíceps, las porciones anterior y media del deltoides y del supraespinoso. Durante esta postura la rodilla se mantuvo en extensión (14°), mientras el hombro llegó a su máxima flexión para este movimiento (102°). Finalmente, la plataforma de fuerza registró un valor de la fuerza vertical (F_z) de 433.37 N, aproximándose en esta etapa a la fuerza ejercida al inicio del movimiento. Debido a que la electromiografía registra patrones semejantes en ambos lados, y los ángulos de los tobillos son uniformes durante el movimiento, es posible pensar que no despegó el pie de la plataforma o que transfirió mayor peso al lado izquierdo; por lo mismo, la fuerza antero posterior (F_y) se reduce

a 2.13 N, es decir, tenía todo su cuerpo alineado verticalmente. La carga lateral (F_x) de 53.44 N también disminuye, lo cual corrobora que no cargó el peso lateralmente, al contrario, conservó la postura vertical, alineándose con el eje X. Al final del movimiento se observa un aumento considerable en F_x , debido a que lateraliza la carga para encontrar el hombro del compañero y depositar el bulto.

DISCUSIÓN

El estudio cinemático muestra una mala técnica del individuo para cargar objetos desde el suelo, ya que realiza una mínima flexión de las rodillas y una hiperflexión de la columna vertebral, lo que provoca un aumento de la presión en los discos intervertebrales, lo que a su vez se ve reflejado en lesiones de la columna lumbosacra, como son las hernias discales y el desgaste óseo. Lo interesante de este estudio es que los resultados de la evaluación biomecánica del movimiento del machetero coinciden en este punto con el análisis óseo hecho al esqueleto número 2, que muestra aplastamiento lateral en la 1ª, 2ª, 4ª y 5ª vértebras lumbares (Valenzuela 2004). Las cargas excesivas, oblicuas o asimétricas, aunadas a movimientos rápidos y rotacionales son la causa desencadenante de la patología lumbar. Se sabe que los discos intervertebrales son una de las estructuras implicadas en amortiguar las cargas, tanto del propio cuerpo como las que se le añaden (Lavender *et al.* 2000). Los discos serán sometidos a diferentes fuerzas, mediante estructuras contiguas, que actuarán en forma conjunta para no sufrir un daño a su integridad. Dentro de estas fuerzas podemos mencionar: la acción de la musculatura pélvica y la de los miembros inferiores, los ligamentos que actúan a lo largo de toda la columna vertebral y la unión de las carillas articulares. Debido al número de canales disponibles para ser utilizados en EMG, y a la interferencia que provocaban los electrodos con el gesto motor en la parte abdominal, no se colocaron electrodos en esta zona. No obstante que en el protocolo de análisis faltaron músculos importantes por valorar, la EMG de superficie señala una mayor actividad muscular en las extremidades superiores en las etapas 2ª y 3ª, en donde el sujeto realiza el mayor desgaste físico, ya que es aquí donde sostiene la carga a la altura de su cintura, para luego conducirla hacia el hombro

de algún otro sujeto, teniendo una mayor actividad en el bíceps y en el deltoides anterior de ambos lados. En cambio, en la primera etapa del movimiento se registra actividad de la musculatura de las extremidades inferiores; es aquí donde el sujeto realiza los movimientos de flexión y extensión tanto de la cadera como del tronco, activando los paquetes musculares de las extremidades inferiores. Cuando levanta una carga pesada genera una presión tan alta en el núcleo pulposo de los discos intervertebrales que desplaza y presiona estructuras ligamentarias posteriores originando dolor, incluso el anillo fibroso puede llegar a romperse (Bostrom *et al.* 2000, Mannion *et al.* 2000). Al mismo tiempo, si la técnica no es la adecuada y el levantamiento se realiza estirando el tronco, entonces la zona posterior del disco sufre una presión adicional y sin protección ligamentaria (Lavender *et al.* 2000).

Sabemos, además, que si una persona levanta un objeto, ésta debe colocarse de tal manera que el brazo de palanca, en relación con el centro de masa, esté lo más cercano posible. En el caso de nuestro sujeto de estudio, la técnica de levantamiento hace que se aleje el centro de masa; por lo tanto el brazo de palanca es más largo, lo que supone una mayor carga en la región lumbar (Bostrom *et al.* 2000, Lavender *et al.* 2000).

Como ya mencionamos, la musculatura adyacente es muy importante para equilibrar las fuerzas ejercidas en los discos intervertebrales, en especial en la columna lumbar. Por tal motivo, la musculatura abdominal, dorsal y de los miembros inferiores debe estar lo suficientemente preparada para soportar las cargas durante el levantamiento.

CONCLUSIÓN

La información obtenida del análisis biomecánico en un machetero actual concuerda con los resultados del estudio osteológico realizado al esqueleto número 2 de la Colección Osteológica San Nicolás Tolentino, quien en vida desarrolló la actividad ocupacional de machetero. En general, el esqueleto presenta fuertes inserciones musculares, sobre todo en extremidades superiores, así como aplastamientos y hernias discales en vértebras lumbares; además, el sacro e ilíaco izquierdos estaban fusionados, debido al desgaste de la articulación sacro-ilíaca (Valenzuela 2004). Esto está relacionado con el levantamiento de objetos pesados

desde edades tempranas. Se puede decir que los hallazgos hechos en los restos óseos se corresponden con los movimientos realizados por el sujeto en su actividad ocupacional de machetero. Sin embargo, se requerirá de un estudio electromiográfico específico de los músculos abdominales y aumentar la muestra para validar la información obtenida.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del doctor Raúl Pérez Medina, por su asesoría en la colocación de los electrodos de EMG de superficie.

REFERENCIAS

ARBIT, E. Y S. PANULLO

- 2001 Lumbar Stenosis a clinical Review, *Clinical orthopaedics and related research*, 384: 137-143.

CHAPMAN, M. W.

- 2000 *Operative orthopaedics*, Lippicott Company, Philadelphia, EUA.

BOSTROM, M. P., A. BOSQUEY, J. K. KAUFMAN Y A. EINHORN

- 2000 Form and function of bone, *Orthopaedic basic science, biology and biomechanics of the musculoskeletal system*, 2a. edición, Ed. American Academy of Orthopaedic Surgeons, 13: 331-332.

DELAGI, F. E., A. PEROTTO Y J. IAZATTI

- 1989 *Anatomic guide for the electromyographer the limbs*, Charles C. Thomas Publisher, Springfield il. EUA.

HABERLAND, M.

- 2001 Brain and Bone: central regulation of bone mass: a new paradigm in skeletal biology, *Bone and joint surg Am.*, 83-A (12): 1871-1876.

HAWKEY, E. DIANE Y CH. MERBS

1995 Activity-induced musculo skeletal markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient hudson bay eskimos, *International journal of osteoarchaeology*, 5: 324-338.

KENNEDY, A. R.

1989 Skeletal markers of occupational stress, *Reconstruction of life from the skeleton*, Alan R. Liss, Inc.: 129-160.

LAVENDER, S. A., K. SHAKEEL, J. ANDERSON Y S. THOMAS

2000 Effects of a lifting belt of spine moments and muscle recruitments after unexpected sudden loading, *Spine*, 25(12): 1569-1578.

MANNION, A. F., M. A. ADAMS Y P. DOLAN

2000 Sudden and unexpected loading generates high forces on the lumbar spine, *Spine*, 25(7): 842-852.

VALENZUELA, J. GERARDO

2004 *El oficio de machetero visto desde los huesos. Análisis de patrones de actividad en un esqueleto del panteón San Nicolás Tolentino*, tesis de licenciatura en antropología física, Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

