

# Metodología para el registro de marcadores de estrés músculo-esquelético

Francis Paola Niño

Profesora

Universidad de Caldas

Dirección electrónica: francis021@yahoo.com

**Resumen.** La antropología física y la arqueología se han interesado en el estudio de los restos óseos humanos con el propósito de entender mejor las poblaciones antiguas. Junto con ciencias como la biomecánica se tiene la oportunidad de analizar los restos óseos desde un punto de vista más amplio, permitiendo conocer las condiciones, estilos de vida y actividades cotidianas de los individuos en una población específica. El hueso, como tejido vivo, responde a estímulos externos como enfermedades, traumas o fuerzas relacionadas con la actividad física, modificando la estructura ósea para redistribuir la fuerza sin consecuencias perjudiciales para las funciones del cuerpo, y esas modificaciones son conocidas como marcadores de estrés músculo-esquelético. Así, con el aporte de la biomecánica y la antropología física se puede llegar a reconstruir movimientos realizados durante la vida de un individuo, y conjuntamente con el registro arqueológico reconstruir patrones de comportamiento de una población. Este artículo pretende dar una revisión al estado del arte de la metodología utilizada para registrar estas huellas óseas.

**Palabras clave:** biomecánica, sitios de inserción muscular, ley de Wolff, marcadores de estrés, estrés músculo-esquelético.

**Abstract.** Human skeletal remains have been studied through physical anthropology and archaeology to understand ancient population lifestyles. Along with sciences like biomechanics, human remains can be studied from a different point of view, linking lifestyle and daily activities of a specific population. Bone, as living a tissue responds to external loads, diseases, traumas or activity-related forces by remodelling its gross morphology distributing the loads without harmful consequences to the body's functions, these modifications are known as musculoskeletal stress markers. Thus biomechanics, working along with the physical anthropology data, may reconstruct movements experienced by an individual throughout his life, and combined with archaeological data it contributes to the awareness of ancient populations. This article pretends to be a review of the state of the art of the methodology used to record this bone marks.

**Keywords:** Biomechanics, muscle attachment sites, Wolff's law, stress markers.

Niño, Francis Paola. 2005. "Metodología para el registro de marcadores de estrés músculo-esquelético". En: *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia*, Medellín, volumen 19 No. 36, pp. 255-268.  
Texto recibido: 16/07/2004; aprobación final: 24/11/2004.

### **Propósito de este artículo**

Arqueológicamente los restos óseos representan una invaluable fuente de información que permite ampliar el conocimiento de las poblaciones antiguas, corroborando datos producidos por materiales líticos y cerámicos. Los estudios bioantropológicos proporcionan datos demográficos como sexo, edad y filiación racial, al igual que información sobre el estado de nutrición, salud-enfermedad y las actividades realizadas en vida de los individuos que conforman la población estudiada, logrando así reconstruir los modos y estilos de vida del pasado con análisis diferenciales para edad y sexo.

A lo largo de la vida, un individuo está expuesto a diversos entornos ambientales y culturales que afectan la vida diaria. La dieta, el estado de salud y enfermedad, las actividades realizadas (tanto laborales como recreativas) y el estilo de vida en general modifican los cuerpos temporal o permanentemente, entendiéndose por permanentes todas aquellas marcas visibles en el esqueleto. El hueso, como tejido vivo, responde a los diversos estímulos externos como son enfermedades, traumas y fuerzas relacionadas con la actividad física, modificando su morfología a partir de la creación y destrucción de hueso, dos procesos que permiten un reajuste en la estructura que redistribuye la fuerza para que el esqueleto sea capaz de resistirla sin consecuencias perjudiciales para las funciones del cuerpo.

Las modificaciones óseas están frecuentemente asociadas a condiciones patológicas, pero también pueden estar relacionadas con el estilo de vida de los individuos. Las actividades habituales producen estrés y tensión como respuestas a las fuerzas musculares generadas durante el movimiento. Crestas, acanaladuras y arrugas en el hueso son algunas de las reacciones a estos estímulos relacionados con la actividad, y estos marcadores esqueléticos son conocidos como marcadores de estrés músculo-esquelético o marcadores de estrés ocupacional. El primer término se refiere a las huellas distintivas que ocurren en los sitios de inserción muscular, mientras que el segundo se refiere a todos los cambios producidos por el estrés de una actividad en el esqueleto humano. Este artículo pretende revisar el tema de los marcadores óseos señalando su importancia en los estudios antropológicos, especialmente en el área de la arqueología y antropología física, e igualmente intenta motivar el estudio de restos óseos humanos dentro de la comunidad académica e incentivar a los estudiantes a realizar trabajos de grado en el campo de la antropología física.

### **Marcadores de estrés ocupacional y antropología**

En la literatura antropológica se encuentran estudios de marcadores de estrés ocupacional especialmente en las áreas de paleontología, paleodemografía y antropología forense, las cuales comparten fundamentos metodológicos de la biología del esqueleto, osteología y antropología dental, como también orientaciones teóricas de evolución humana y diversidad biológica de poblaciones actuales y pasadas.

Los estudios de poblaciones pasadas se han enfocado en los cambios en el esqueleto debido a actividades físicas, nutrición y factores ambientales; por ejemplo, se ha analizado el estrés ocupacional en la transición de cazadores-recolectores a las prácticas de la agricultura, incluyendo adaptación socioeconómica, cambios en la población debido a su crecimiento y desarrollo, enfermedades, tasa de mortalidad y demás aspectos demográficos. En la antropología forense estos marcadores de estrés son importantes cuando se aplican especialmente a la identificación personal; sin embargo es poco el material publicado sobre el tema.

Los marcadores de estrés ocupacional han sido objeto de interés desde mediados del siglo XVI, encontrándose en la literatura médica europea, especialmente en aquella relacionada con el comercio y las enfermedades militares. En 1556 se publica el primer trabajo sobre minería que describe las enfermedades y accidentes sufridos por los mineros (Kennedy, 1989; Roberts y Manchester, 1995). Posteriormente, en 1700, aparece el primer trabajo de medicina industrial escrito por Bernardino Ramazzini (nombrado “padre de la medicina industrial”); este tratado describe cuarenta y dos ocupaciones y relaciona ocupaciones específicas con enfermedades, identificando que la base para entender los problemas de salud se encuentra en la ocupación laboral. A finales del siglo XIX, anatomistas y cirujanos reconocen la relación entre profesión y cambios en el cuerpo, comprendiendo que el esqueleto puede relatar los hábitos de vida a partir de una serie de irregularidades morfológicas observables en los huesos, e igualmente identifican diferencias entre huellas óseas correspondientes a patologías o factores genéticos y marcas resultantes de las actividades realizadas por el individuo a lo largo de su vida (Kennedy, 1989; Roberts y Manchester, 1995).

Los estudios de antropología física y medicina industrial fueron integrados por William Turner en 1886, quien investigó las relaciones entre la especialización, forma y proporciones de las estructuras esqueléticas en un grupo humano específico, concluyendo que, aunque ciertamente los músculos afectan la forma de los huesos, los hábitos de vida también tienen un papel importante en la modificación de los sitios de inserción. Turner concluyó que las diferencias en el esqueleto son atribuibles a las influencias de los hábitos operacionales durante una acción muscular y a la presión ejercida sobre los huesos, a diferencia de una condición plástica comparativa donde es el curso de los años lo que los moldea a la forma en la cual están presentes en el hombre adulto.

Desde los tiempos de Turner hasta el presente, los marcadores de estrés ocupacional han sido estudiados separadamente por médicos y antropólogos, lo cual ha generado un desconocimiento del trabajo realizado por ambas partes, y no hay ningún esfuerzo que combine y sintetice los datos de las dos áreas. Los marcadores de estrés fueron considerados importantes por parte de la antropología a partir de finales del siglo XIX, con Ales Herdlička, en el Instituto Smithsonian. En este mismo instituto, el antropólogo físico Lawrence Angel aplicó sus conocimientos de marcadores ocupacionales en la identificación de restos humanos y fue quien hizo el primer intento de estandarizar un método para registrar los marcadores de

estrés músculo-esquelético. En 1997, en el simposio *Patrones de actividad y marcadores de estrés músculo-esquelético: Un acercamiento integrado a las preguntas bioarqueológicas*, durante el 66° Encuentro Anual de la Asociación Americana de Antropólogos Físicos, se observó claramente el avance de los estudios de los marcadores de estrés ocupacional, pues los artículos presentados incluían innovadores procedimientos metodológicos y acercamientos estadísticos, ilustrando el interés de la identificación y diagnóstico de los patrones habituales de actividad en los restos óseos y la tendencia de usarlos para probar hipótesis arqueológicas (sobre este tópico véase Kennedy, 1989).

Diferentes áreas como la medicina industrial, la ortopedia y la medicina deportiva se especializan cada vez más y se interesan por los marcadores ocupacionales, lo que se observa en el gran número de cirujanos y médicos afiliados a las diferentes sociedades que trabajan con los marcadores de estrés ocupacional. Sin embargo, la investigación en este campo ha sido desarrollada independientemente, lo cual deriva en la falta de estandarización de los criterios de observación y las diferencias en las orientaciones científicas, lo que corresponde a algunas de las limitaciones que enfatizan la neutralidad de estos estudios.

### **El esqueleto humano**

El principal objetivo del esqueleto es proteger y soportar los tejidos blandos, proporcionando rigidez al cuerpo y sitios de inserción de tendones y músculos para generar movimientos. En vida, el hueso es un tejido activo que crece durante el desarrollo del individuo, y se moldea y remodela durante el transcurso de la vida gracias a la acción de las células óseas: los osteoblastos, responsables de la formación de nuevo hueso; los osteoclastos, responsables de la reabsorción del hueso, y los osteocitos, involucrados en el mantenimiento del hueso. La capacidad de reacción de estas células puede ser afectada por condiciones patológicas o por fuerzas externas, modificando la morfología general ósea (White, 2000; Mays, 1998). Esta modificación incluye la reorientación de partes y áreas del hueso: cuando el límite de plasticidad ósea es excedido, el hueso no puede recobrar su forma original y modifica por ello su estructura. En 1892, Julius Wolff señaló que “la forma dada del hueso, los elementos óseos colocados o desplazados en la dirección de la presión funcional y su aumento o disminución en masa reflejan la cantidad de presión funcional” (Kennedy, 1989: 134); en otras palabras, “el hueso responde en función de las fuerzas que se aplican sobre él” (Molnar, s. f.: [En línea]); esta observación, conocida como la ley de transformación de Wolff, describe la respuesta del hueso a fuerzas mecánicas y representa el concepto fundamental para los estudios de marcadores de estrés ocupacional. El hueso, como tejido vivo, puede modificarse respondiendo a repetidas fuerzas aplicadas a él, fortaleciéndose donde lo necesita y reduciéndose donde no.

Los marcadores de estrés ocupacional reflejan una tensión aguda y prolongada causada por la acción muscular que produce alteraciones en la superficie del hueso.

Con el fin de resistir la tensión, el hueso expande su estructura para disminuir o disipar esa fuerza, y estos cambios producen cambios morfológicos observables en forma de bordes, hoyos, arrugas o exostosis. A diferencia de los cambios óseos producto de una patología, los marcadores de estrés músculo-esquelético se distinguen e identifican como cambios en la dimensión del hueso que están presentes sólo en los sitios de inserción muscular, y son cambios aislados y de naturaleza no aleatoria.

## **Biomecánica**

La biomecánica es un campo relativamente joven; sin embargo, sus orígenes pueden ser rastreados desde los tiempos de Leonardo Da Vinci, quien observó la importancia de la mecánica en sus estudios de biología. No obstante, el término biomecánica sólo fue adoptado en la década de 1970 para definir la ciencia que combina el área de la mecánica con el área de la biología, especialmente para el estudio de los aspectos anatómicos y funcionales del cuerpo humano como movimientos corporales, específicamente en el sistema músculo-esquelético.

Actualmente, la biomecánica es aplicada en tres grandes ámbitos: médico, deportivo y ocupacional. En el campo médico se analiza el aparato locomotor para detectar patologías, controlar su evolución y determinar secuelas funcionales, e igualmente se aplica en el diseño de prótesis, implantes, instrumental médico, entre otros (Moreno, 1997). En el campo deportivo, contribuye a la optimización de las condiciones tanto del deportista como de su equipo, favoreciendo el desarrollo de las técnicas de entrenamiento y mejorando los elementos utilizados en la práctica deportiva, particularmente en el entrenamiento de deportistas de alto rendimiento. En el área ocupacional, se analiza la relación mecánica del cuerpo humano en el entorno laboral, mejorando las condiciones de salud y trabajo mediante la adaptación del puesto de trabajo a las capacidades de las personas, razón por la cual se relaciona estrechamente con la ergonomía.

El sistema músculo-esquelético es objeto de estudio de la biomecánica en temas relacionados particularmente con la fuerza. Los músculos tienen tres propiedades de comportamiento: extensibilidad, elasticidad y contractibilidad. La extensibilidad es la capacidad del músculo para estirarse o incrementar en longitud; la elasticidad es la habilidad del músculo para regresar a su longitud normal después de estirarse: “la elasticidad muscular regresa el músculo a su longitud normal después de un estiramiento y provee una transmisión suave de tensión del músculo al hueso” (Hall, 1999: 147). La contractibilidad es la propiedad del músculo que concierne a la biomecánica: cuando se desarrolla tensión en un músculo éste genera una contracción muscular creando torsión en las articulaciones involucradas, debido a la forma en que las fibras musculares estén acomodadas. Si la cantidad de tensión es constante, ésta se despliega a lo largo del músculo, en los tendones y en los sitios de unión con el hueso; el desarrollo y mantenimiento de la fuerza es afectada por la velocidad y

tiempo en el cual la tensión es realizada, afectando las características particulares anatómicas y fisiológicas del músculo.

Un movimiento se realiza a partir de las contracciones musculares, las cuales pueden ser de tres tipos: concéntrica, la cual es usada para la aceleración; isométrica, para la fijación, y excéntrica, para la desaceleración del movimiento. Generalmente un músculo no realiza sólo un tipo de contracción, pues la ejecución de un movimiento requiere una combinación de estos tipos de contracción muscular (Hall, 1999).

### **Biomecánica del hueso y marcadores de estrés músculo-esquelético**

En el cuerpo humano, las extremidades actúan como palancas durante el movimiento. Una palanca es definida como “una barra rígida que rota alrededor un punto fijo” (Hall, 1999: 45). Hay dos fuerzas que actúan en una palanca: esfuerzo y resistencia; el esfuerzo es la que trata de mover la palanca, como una contracción muscular, mientras que la resistencia es la fuerza que trata de parar el movimiento, por ejemplo el peso de la extremidad en movimiento. En el cuerpo humano las palancas son los huesos que trabajan junto con los músculos, permitiendo a la extremidad controlar el movimiento.

Los huesos tienen dos propiedades funcionales: fuerza y firmeza, las cuales pueden ser alteradas por el esfuerzo o el estiramiento y son importantes para el análisis del comportamiento bajo la influencia de fuerzas externas. El esfuerzo es definido por Kennedy (1989: 135) como una “fuerza mutua o acción entre superficies contiguas de cuerpos causadas por fuerzas externas”. El estiramiento es la deformación (cambio de dimensión) de una estructura en respuesta a cargas externas, y está relacionado con las contracciones de los músculos. Hay dos tipos de estiramiento, uno que causa cambio en la longitud y otro que causa cambios en las relaciones angulares dentro de la estructura.

La formación de marcadores ocupacionales de esfuerzo corresponde a respuestas del hueso a estas fuerzas (esfuerzo y estiramiento). Inicialmente el tejido muestra elasticidad y regresa a su forma original; sin embargo, si las fuerzas aplicadas exceden el límite de la elasticidad ósea el área afectada no regresa a su forma original y la deformación será permanente, haciendo las respuestas visibles macroscópicamente, aunque “esfuerzo y estiramiento excesivo pueden llevar a la deformación del hueso y a la necrosis” (Kennedy, 1989: 135). De otro lado, la formación de nuevo hueso es estimulada si los límites de la elasticidad no son excedidos, lo cual es esencial para la curación.

Como respuesta a las fuerzas aplicadas, el hueso altera su forma, tamaño y estructura, ganando o perdiendo hueso esponjoso y cortical. Biomecánicamente, el hueso es tratado como un cuerpo con la habilidad de cambiar de forma mediante la aparición de nuevo hueso donde lo necesita y reabsorción de éste donde no lo necesita, como se establece en la ley de Wolf. Cuando el hueso no está bajo tensiones inusuales, se reabsorbe, reduciendo su fuerza y su rigidez.

La cantidad, frecuencia y dirección en la que la fuerza es aplicada contribuye a la manera en que el hueso se modifica. No obstante, si la dirección de las cargas varía de un patrón regular, el hueso no será fácilmente estimulado, reduciendo la formación de nuevo hueso. En una distribución irregular de tensión, la morfología del hueso adopta un efecto desproporcionado, lo que se logra por ejemplo con la realización de ejercicio fuerte. La robustez del hueso resulta de un músculo hipertrofiado cuyas contracciones son más poderosas que las de un músculo normal, aumentando su uso en las actividades diarias, estimulando la formación de nuevo hueso en la superficie del periostio; en una sección transversal, un hueso hipertrofiado tiene más hueso cortical y un canal medular reducido, implicando un soporte a una carga mayor. Una reducción de carga difiere del anterior en que se observa un hueso menos robusto con una reducida área transversal, y hay menor cantidad de hueso cortical y gran canal medular.

Aunque los marcadores de estrés han sido estudiados principalmente en el sistema músculo-esquelético, también se presentan en la dentición, pues, aunque los dientes no tienen la capacidad de formar nuevo tejido, se pueden desgastar. La atrición es un marcador de estrés ocupacional ya que los diferentes grados de desgaste son resultado de la ingesta de partículas abrasivas, y por objetos sostenidos o movidos en la boca cuando ésta se utiliza como herramienta o mano adicional. El tejido óseo puede ser modificado si la atrición es muy severa, igualmente en caso de una condición osteoartítica donde puede ocurrir el deterioro de las superficies de la articulación.

## Metodología

Los marcadores de estrés músculo-esquelético pueden ser afectados por factores como la nutrición, el sexo y la edad. El desarrollo ontogenético está relacionado con la nutrición, y por eso las deficiencias nutricionales llevan a condiciones patológicas, afectando los marcadores óseos. El dimorfismo sexual está presente en todas las poblaciones humanas, por lo que se espera una división sexual del trabajo dentro de una población, y ello anticipa que los datos de los marcadores de estrés sean diferenciales para ambos sexos. Igualmente sucede con los grupos de edad: en diferentes estudios se ha observado que los marcadores musculares sólo empiezan a acumularse cuando el hueso ha terminado de crecer; así, entre mayor edad tenga el individuo, mayores van a ser los cambios observables en los sitios de inserción debido a que han soportado más tensión durante mayor cantidad de tiempo que los individuos jóvenes, y por tanto se registran con mayor frecuencia.

Al estar influenciados por el sexo y la edad, los marcadores de estrés músculo-esquelético presentan algunas dificultades metodológicas, especialmente al no saber con certeza el sesgo que representa. Adicionalmente, el que un movimiento sea producto de un grupo de músculos y no de uno sólo dificulta la relación entre un marcador muscular y una actividad específica.

Robb (1998) resumió las dificultades metodológicas en cuatro temas:

1. Los sitios de inserción muscular son complejos morfológicamente y difíciles de observar.

2. Muchos de los grupos musculares responden a complejos mosaicos de tensiones biomecánicas, y el esqueleto registra las actividades realizadas en diferentes periodos durante el periodo de vida del individuo.

3. Nuestro conocimiento y nuestra imaginación limitan al rango de posibles actividades y la forma en que las poblaciones antiguas las realizaban.

4. Debido a que el análisis se centra en actividades específicas en individuos, es difícil comparar sitios o llegar a una conclusión social general.

Consciente de esta problemática, Robb (1998) propuso una metodología alterna para mejorar los resultados de los estudios que consiste en centrar el estudio en patrones generales marcando la variabilidad dentro de una colección ósea, más que tratar de identificar actividades específicas a través de los sitios de inserción muscular. Para esto se debe crear estándares de observación que generen datos analizables, y así los datos pueden ser estudiados estadísticamente permitiendo entender la organización laboral como distribución de trabajo entre los grupos y niveles de especialización.

Knüsel (2000) mencionó cómo los estudios de osteología humana están limitados por la falta de datos bien documentados para casos particulares en poblaciones específicas. Sin embargo, la medicina ocupacional moderna está tomando control de la situación mediante la agrupación de los individuos por edad, sexo y actividad laboral; los osteólogos están tratando de alcanzar efectos similares con las poblaciones esqueléticas, considerando y describiendo edad, sexo y contexto sociocultural de la población estudiada. Esto es sólo la fase inicial para futuros estudios relacionados con actividades físicas, los cuales ayudarán a entender el papel de los marcadores de estrés músculo-esquelético.

### **Criterios de observación**

El estudio ideal de marcadores de estrés músculo-esquelético requiere una muestra grande de restos óseos, bien preservados, que cumpla con los siguientes requisitos: “i) un periodo de tiempo relativamente corto, ii) aislamiento cultural y genético y iii) un número limitado pero conocido de actividades especializadas” (Hawkey y Merbs, 1995: 325).

Los marcadores de estrés músculo-esquelético, por estar afectados por diversas variables, difieren en su expresión, y por eso Hawkey y Merbs (1995) presentaron un sistema visual de referencia que estandariza las expresiones morfológicas, evitando errores intra e interobservadores. Este sistema agrupa los marcadores en tres categorías: robustez, defectos corticales (o lesiones de tensión) y exostosis osificadas. Cada una de estas categorías se registra de 0 a 3 en el siguiente orden:

0 = Ausente.

1 = Suave.



2 = Moderado.

3 = Fuerte.

### **Robustez**

Esta categoría describe la reacción normal del hueso a las actividades diarias y al uso habitual del músculo. Se forman marcas rugosas en los sitios de inserción, y en una expresión severa se observan bordes agudos o crestas en el hueso. En sitios tendinosos de unión se observa una alteración en la categoría de robustez. Una barrera de células mesentéricas entre el tendón y el hueso previene la reabsorción o formación de nuevo hueso en este sitio; sin embargo, el estrés muscular es indicado en las áreas adyacentes. Hawkey y Merbs (1998) describen las categorías de este rasgo así:

R0 = Ausente.

R1 = Suave. La corteza está levemente redondeada y para su mejor observación se debe examinar bajo una luz fuerte. La elevación es aparente al tacto; sin embargo, no se presentan crestas o arrugas.

R2 = Moderado. La superficie cortical es desigual, con una elevación prominente que es fácilmente observable. No hay crestas o arrugas formadas.

R3 = Fuerte. Se han formado crestas agudas o canales distintivos. Una ligera depresión entre las dos crestas se encuentra frecuentemente, sin embargo no se extiende dentro de la corteza (véanse figuras 1 y 2).



**Figura 1.** Grados de robustez en el sitio de inserción del pectoral mayor. De izquierda a derecha corresponden a R0, R1, R2 y R3 (Hawkey y Merbs, 1998: 329)



**Figura 2.** Categorías de robustez en el sitio de inserción del bíceps. Grados R1, R2 y R3 de izquierda a derecha (Hawkey y Merbs, 1998: 330)

### ***Lesiones de tensión (o lesiones de estrés)***

La lesión de tensión se caracteriza por la presencia de hoyos o surcos en la corteza del hueso que semejan una lesión lítica superficial, y microscópicamente puede ser diferenciada de una erosión posmortem. No puede ser confundida con una condición patológica debido a que la lesión de tensión sólo ocurre en los sitios de inserción muscular. Este tipo de lesión parece ser inducida por microtraumas continuos producidos por actividad en el sitio de inserción. Los grados de estas lesiones son:

S0 = Ausente.

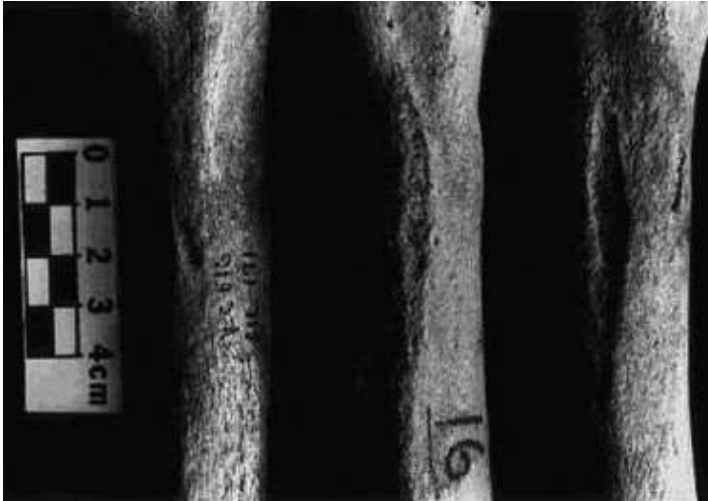
S1 = Suave. Hay un surco superficial de una profundidad menor a 1 mm.

S2 = Moderado. Los surcos son más profundos y cubren mayor área de la superficie. Es mayor que 1 mm pero menor de 3 en profundidad. Puede variar en longitud, pero no sobrepasa los 5 mm.

S3 = Fuerte. Los surcos están bien marcados, son mayores de 3 mm en profundidad o más de 5 en longitud (véase figura 3).

### ***Exostosis osificada***

Esta categoría se refiere al desarrollo de hueso resultado de un macrotrauma abrupto. Después de una lesión de avulsión, la formación de nuevo hueso puede incorporarse al ligamento o al tejido muscular, resultando en una exostosis o una “espuela” de hueso. El puntaje de esta categoría es como sigue:



**Figura 3.** Lesiones de tensión en el sitio de inserción del pectoral mayor, correspondientes a S1, S2 y S3 (Hawkey, 1998: 331)

Os0 = Ausente.

Os1 = Suave. Se observa una suave exostosis, normalmente de apariencia redondeada, y se extiende menos de 1 mm de la superficie cortical.

Os2 = Moderada. Hay una exostosis distinguible, varía en su forma, y se extiende más de 2 mm pero menos de 5 de la superficie cortical.

Os3 = Fuerte. La exostosis se extiende más de 5 mm de la superficie del hueso, cubriendo un área extensiva de la superficie cortical (véase figura 4).

En un mismo sitio de inserción muscular se puede observar una intersección entre los marcadores de robustez y de tensión, por ejemplo la combinación entre el grado 3 de robustez y el 1 de lesión de tensión, lo cual sugiere un patrón severo de uso. Un músculo hipertrofiado no absorbe estrés debido a que empieza a perder la habilidad adecuada.

El sistema de registro propuesto por Hawkey y Merbs no produce valores numéricos, pues se trata de categorías que no implican ningún tipo de jerarquía; incluso, la misma calificación en diferentes sitios de inserción no significa necesariamente la misma exposición a las tensiones biomecánicas: el puntaje es dado de acuerdo con los grados de marcación en cada uno de los sitios observados.

Un mismo sitio muscular acumula tensiones recurrentes, lo que se convierte en una sucesión de modificaciones óseas en sus expresiones morfológicas, incluyendo rugosidad, hoyos y osificaciones. Estos son los marcadores musculares que deben ser registrados y analizados, ya que son los que proporcionan información sobre



**Figura 4.** Grados de osificación en diferentes sitios de inserción en el húmero, de izquierda a derecha corresponden a los grados Os1, Os2 y dos ejemplos de Os3 (Hawkey y Merbs, 1998: 332)

tensiones relacionadas con actividad. El método propuesto por Hawkey y Merbs permite la observación y clasificación de estos marcadores; adicionalmente, tiene ventajas como un bajo índice de error inter e intraobservadores, límites identificables y establecidos para cada marcación, además de que los autores proporcionan fotografías que hacen la guía para la calificación simple e inteligible.

### **Conclusiones**

Los estudios de marcadores de estrés músculo-esquelético articulados con la arqueología son relativamente nuevos y representan un aspecto importante para inferir estilos de vida y entender mejor las poblaciones antiguas, reconstruyendo patrones de actividad especialmente asociados a grupos de edad y sexo. En poblaciones vivas, los marcadores de estrés músculo-esquelético han sido analizados en medicina deportiva y estudios biomecánicos, y los resultados amplían el rango de datos aprovechables en las ciencias forenses para la identificación de individuos, representando una oportunidad para mejorar la precisión en la interpretación del comportamiento antiguo en el registro arqueológico.

No obstante, los estudios de marcadores de estrés ocupacional todavía presentan algunas limitaciones, especialmente en lo que se refiere a la estandarización del sistema de registro y a la identificación de los sitios de inserción muscular, el cual

varía de un individuo a otro sin importar el tamaño y la morfología. Adicionalmente, el hecho de que los músculos no trabajen solos sino en grupo dificulta la correlación entre un marcador y una actividad específica. Una aproximación estadística facilita la identificación de guías en los sitios musculares, proporcionando un punto de inicio para la interpretación de patrones de actividad en una población del pasado; sin embargo, esto no necesariamente implica obtener una correlación positiva, pues una afirmación necesita de evidencia arqueológica que soporte los datos bioantropológicos y viceversa.

Autores como Knüsel (2000) sugieren otros tipos de acercamiento como reconstruir movimientos más que ocupaciones: esto revelaría división sexual y generacional del trabajo en una población que pueda ser vinculada a una especialización de reconocimiento social. También se revela útil alentar el uso de índices de robustez y longitud de los huesos largos como control para los factores relacionados con el tamaño: la asumida relación entre tamaño y grado de marcadores musculares puede reportar una cantidad significativa de variación y correlación, y aunque el tamaño no necesariamente refleja la masa, ésta puede afectar los marcadores óseos. Un cuerpo con gran masa produce fuerzas anormales en las articulaciones, los músculos que actúan en ella y los tendones y ligamentos que soportan estas estructuras, y, por eso, la masa corporal calculada en restos óseos mejorará la interpretación de los marcadores de estrés músculo-esquelético.

Entender las poblaciones del pasado es una tarea que requiere que diversos elementos trabajen juntos. El registro arqueológico suministra la mayor cantidad de datos, sin embargo es necesario basarse en otros aspectos que contribuyan al enriquecimiento de la información y mejoren la reproducción del estilo de vida en una población específica. Se necesita de más investigaciones para expandir las posibilidades y ventajas de los marcadores de estrés músculo-esquelético para ser más exactos en la interpretación y por tanto en la apreciación de los patrones de comportamiento de poblaciones antiguas, mejorar la calidad de vida de las poblaciones actuales y ayudar a buscar características individuales que permitan la identificación positiva de un individuo con fines forenses.

## Bibliografía

- Dutour, O. (1986). "Enthesopathies (Lesions of Muscular Insertions) as Indicators of the Activities of Neolithic Saharan Populations". En: *American Journal of Physical Anthropology*, No. 71, pp. 221-224.
- Hall, Susan (1999). *Basic Biomechanics*. McGraw-Hill, USA.
- Hawkey, Diane y Merbs, Charles (1998). "Activity-induced Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and Subsistence Strategy Changes among Ancient Hudson Bay Eskimos". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 5, pp. 324-338.
- Kennedy, Kenneth (1989). "Skeletal Markers of Occupational Stress". En: Iscan, Mehmet y Kennedy, K. (eds.). *Reconstruction of Life from the Skeleton*. Wiley-Liss, Inc, Nueva York, pp. 129-160.

- Knüsel, Christopher (2000). "Bone adaptation and its relationship to physical activity in the past". En: Cox, Margaret y May, Simon (eds.). *Human Osteology In Archaeology and Forensic Science*. Greenwich Medical Media, Londres.
- Mays, Simon (1999). "A Biomechanical study of Activity Patterns in a Medieval Human Skeletal Assemblage". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 9, pp. 68-73.
- \_\_\_\_\_ (1998). *The Archaeology of Human Bones*. Routledge, London.
- Molnar, Gabriel (comp.) (s. f.). "Envejecimiento y ejercicio. El sistema músculo-esquelético y el envejecimiento". En: *Espacio, ciencia & movimiento*. [En línea] <http://www.chasque.net/ga-molnar/deporte%20y%20salud/salud.03.html>.
- Moreno, José William (1997). "Qué hace la biomecánica". En: *Ingeniería y Sociedad*, Bogotá, No. 2, octubre, pp. 40-42.
- Nordin, Margareta y Frankel, Victor (1989). *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*. Williams & Wilkins, USA.
- Norris, Christopher (1998). *The complete guide to Stretching*. A & C Black, Londres.
- O'Rahilly, Ronan (1986). *Anatomía de Gardner*. Interamericana McGraw-Hill, México.
- Özkaya, Nihat y Nordin, Margareta (1991). *Fundamentals of Biomechanics Equilibrium, Motion and Deformation*. Van Nostrand Reinhold, USA.
- Robb, John (1998). "The Interpretation of Skeletal Muscle Sites: A Statistical Approach". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 8, pp. 363-377.
- Roberts, Charlotte y Manchester, Keith (1995). *The Archaeology of Disease*. University of Bradford.
- Steen, Susan y Lane, Robert (1998). "Evaluation of Habitual Activities among Two Alaskan Eskimo Populations Based on Musculoskeletal Stress Markers". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 8, pp. 341-353.
- Stirland, Ann (1998). "Musculoskeletal Evidence for Activity: Problems of Evaluation". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 8, pp. 354-362.
- Trew, Marion y Everett, Tony (2001). *Human Movement. An Introductory Text*. Churchill Livingstone, London.
- Weiss, Elizabeth (2003). "Understanding muscle markers: Aggregation and construct validity". En: *American Journal of Physical Anthropology*, No. 121, marzo, pp. 230-240.
- White, Tim (2000). *Human Osteology*. Academic Press, USA.
- Wilczak, Cynthia (1998). "Consideration of Sexual Dimorphism, Age, and Asymmetry in Quantitative Measurements of Muscle Insertion Sites". En: *International Journal of Osteoarchaeology*, No. 8, pp. 311-325.