

NTP 622: Carga postural: técnica goniométrica



Charge postural: technique goniométrique
Postural load: goniometric technique

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactores:

Silvia Nogareda Cuixart
Lda. En Medicina y Cirugía

Alfredo Álvarez Valdivia
Ldo. En Ingeniería Industrial

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Esta Nota Técnica de Prevención pretende dar a conocer aquellos aspectos básicos para una correcta utilización de la técnica electrogoniométrica; y poder llevar a cabo una evaluación de la carga postural basada en el estudio de los ángulos de los distintos segmentos corporales.

Introducción

Para el análisis de los distintos aspectos de carga física (posturas, movimientos repetitivos, etc.) hoy en día se utilizan normalmente los métodos de observación.

Si bien es cierto que esta técnica tiene sus virtudes, entre las que destacan las de ser económica, no interrumpir el trabajo, ser accesible a gran cantidad de personas y que el empleo de material es reducido (papel y lápiz principalmente), también es conocida su principal desventaja, que es su falta de precisión y que presenta una gran variabilidad inter e intraobservacional.

Una alternativa a los métodos de observación la constituyen los métodos directos. De entre ellos, uno de los más precisos y fácilmente aplicable, en muchos casos, es el basado en la técnica electrogoniométrica. Esta NTP se centra en los aspectos más prácticos de la técnica electrogoniométrica aplicada a la evaluación postural de los trabajadores.

Métodos de medición

Tal y como se ha mencionado en la introducción, en la actualidad existen dos grandes grupos de métodos ampliamente empleados para estudiar y prevenir los trastornos musculoesqueléticos: los métodos basados en la observación (también llamados indirectos) y los métodos directos.

Métodos basados en la observación

Reciben este nombre aquellos métodos que, al estar basados en guías de observación, permiten obtener conclusiones sobre el nivel de riesgo. Algunos de ellos requieren la atención especializada y continuada de un analista para valorar y clasificar la situación estudiada de acuerdo al método empleado. Ejemplos clásicos son los métodos OWAS, RULA, HAMA y REBA, entre otros. Además combinan un coste relativamente bajo con una gran capacidad, versatilidad, generalidad y precisión aceptable.

Métodos directos

Los métodos directos son aquellos que permiten analizar las posturas mediante el empleo de instrumentos diseñados para tal fin. Habitualmente, dichos instrumentos pueden ser utilizados de forma manual para medir datos puntuales y concretos (un goniómetro, por ejemplo) o de forma automática acoplándolos a equipos electrónicos de toma de datos. Estos últimos se basan en el registro electrónico de datos (generalmente ángulos) a través de sensores colocados en diferentes partes del cuerpo.

A pesar de que en la fase de medición los métodos directos requieren menos esfuerzos (en comparación con los métodos indirectos), la fase de análisis de datos es mucho más compleja que en los anteriores. Las técnicas más frecuentemente empleadas son:

- Electrogoniometría
- Electromiografía
- Inclinometría
- Digitalización de imágenes

Los métodos directos presentan, en comparación con los métodos indirectos, ventajas como son la precisión, exactitud y su contenido informativo. Cuando se utilizan juntamente con el registro electrónico de datos es habitual obtener registros de gran cantidad de datos que proporcionan un conocimiento exhaustivo sobre la variable que se está midiendo. A pesar de ello, esto puede constituir un inconveniente ya que es complicado y dificultoso trabajar con series de datos grandes.

Debido a las ventajas que presenta el empleo de métodos directos acoplados a sistemas electrónicos frente al resto de métodos, el resto de la presente Nota Técnica se centra en los aspectos más importantes que deben tenerse en consideración en la puesta en práctica de la electrogoniometría. Además, ya que es importante que los datos obtenidos sean fiables y representativos, se explicarán las etapas que deben seguirse en la aplicación de esta técnica.

Partes de un electrogoniómetro

Un electrogoniómetro consta de los siguientes elementos:

- Galga distal y galga fija. Las dos galgas están unidas entre sí de tal forma que es posible regular la distancia entre ambas terminales.
- Sensor. Es el elemento sensible que mide las variaciones de ángulo.
- Cables conectores. Transmiten la señal eléctrica medida. Cuando hay dos cables, se dice que el goniómetro tiene dos canales.

En la figura 1 se muestra, en forma esquemática, un goniómetro.

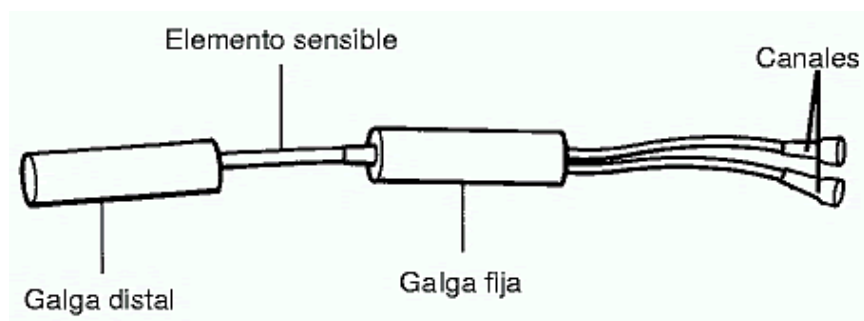


Figura 1. Partes de un goniómetro

Los goniómetros pueden ser de eje simple o de dos ejes. Los primeros miden los ángulos en un plano, según sea la rotación de las galgas sobre el eje X-X, es decir, están diseñados específicamente para la medición de movimientos de flexión y extensión. Los segundos permiten la medición de ángulos en dos planos, X-X e Y-Y

Toma de datos

Aunque está reconocido que las posturas forzadas son uno de los factores importantes asociados a las lesiones musculoesqueléticas, no hay que olvidar aquellos factores de índole biomecánico e individual que pueden incidir en las mismas. Por ello, es necesario, antes de aplicar la goniometría, proceder a tomar una serie de datos que pueden ser importantes a la hora de analizar las tareas y emitir resultados o recomendaciones.

Por lo tanto debe procederse a una descripción detallada de las tareas y a los aspectos de carácter organizativo que se consideren oportunos en cada ocasión: tiempos, pausas, rotación de tareas, etc.

Factores de riesgo biomecánico

Los factores de riesgo biomecánico que pueden influir en la aparición de trastornos musculoesqueléticos son:

- Las articulaciones en situaciones extremas
- La aplicación de fuerza excesiva
- La aceleración

- La repetitividad de los gestos
- El trabajo en posición mantenida
- La frecuencia
- La duración de la tarea

Factores individuales

Las capacidades funcionales de la persona dependen, entre otros, de los siguientes factores:

- Edad
- Sexo
- Estado fisiológico
- Estado psicológico
- Antecedentes personales
- Antigüedad en el puesto

Cuando los requerimientos de la tarea son superiores a las capacidades individuales entonces la probabilidad de aparición de trastornos musculoesqueléticos aumenta. A la inversa, si los requerimientos son inferiores, entonces la probabilidad es pequeña.

Lugar de trabajo

Hay que tener en cuenta que a partir de los estudios epidemiológicos relativos a trastornos musculoesqueléticos, se concluye que la interacción del trabajador con el lugar de trabajo juega un papel crucial en la caracterización de la exposición a los riesgos. Es decir, la carga física no puede ser determinada independientemente del trabajador. Estos trastornos generalmente pasan a ser crónicos implicando consecuencias negativas para el trabajador, además de consecuencias económicas tanto para la sociedad como para la empresa.

Actualmente se intenta que el hecho de realizar un estudio no modifique el entorno de trabajo. Es decir, se opta cada vez menos por realizar estudios en laboratorios ya que es lógico pensar que el laboratorio modifica sustancialmente las condiciones de trabajo normales del trabajador. Así mismo, se procura no incomodar al trabajador y por eso se procura emplear aparatos de medida lo más pequeños y ligeros posible (en el caso de que el trabajador tenga que llevarlos encima).

VARIABLES Y VALORES LÍMITE

En la evaluación de las posturas del cuerpo, la variable básica que la mayoría de los métodos estiman es el ángulo de una determinada articulación del cuerpo.

Aspectos estáticos

Los diversos métodos y estudios definen valores límites y zonas en las que se puede encontrar la articulación correspondiente. En función de la zona, se puede concluir si la posición adoptada es o no recomendable.

Sin embargo, todos estos métodos definen sus propios valores límite y existen diferencias entre dichos valores (no hay unanimidad de criterio), ya que dichos valores límite dependen, en gran medida de:

- La población estudiada
- El tamaño de la muestra
- La actividad realizada

En la tabla 1 se muestra una comparativa de los principales valores y zonas límites propuestos en la actualidad por los diferentes métodos existentes.

La Unión Europea ha elaborado la norma ISO/FDIS 11226:2000 (E) "Ergonomic evaluation of static working postures" en la que se recogen los valores límites recomendados para las principales articulaciones del cuerpo humano. Estos valores deben tomarse únicamente como valores indicativos, ya que dicha norma está en fase de aprobación.

Estos valores son, en líneas generales, los más conservadores, en comparación con los propuestos por otras entidades o autores, ya

que la mencionada norma sólo considera aquellos valores límite para los que existe evidencia probada de su peligrosidad para el trabajador.

TABLA 1. Comparativa de los principales valores y zonas límites propuestos en la actualidad por diferentes métodos

| | RULA | ISO/CD 11226 | OSHA | KEYSERLING | DRURY | OCCHIPINTI - COLOMBINI |
|--------------------|---------------------|------------------|--|--|------------------|------------------------|
| | Riesgo | Riesgo | | | Riesgo alto | Riesgo alto |
| | Medio - Alto | Alto Medio | | | | |
| HOMBRO | | | | | | |
| Flexión | [45° - 90°] [>90°] | > 60° 20-60° | Extremidades superiores sin soporte o codos a altura media del pecho | Codos sin soporte a altura media del pecho | 94° | 80° |
| Extensión | Sup 20° | Si está presente | | | 31° | 20° |
| Abducción | Si está presente | > 60° 20-60° | | | 67° | 45° |
| CODO | | | | | | |
| Flexión | [60°] [sup 100°] | En caso extremo | - | - | 71° | 60° |
| Supinación | Cercano a valor máx | En caso extremo | Movimiento rápido | Si está presente | 39°, 57° | 60° |
| MUÑECA | | | | | | |
| Flexión | [15°] [sup 15°] | En caso extremo | Sup 20° | Si está presente y es evidente | 45° | 45° |
| Extensión | [15°] [sup 100°] | En caso extremo | Sup 30° | | 50 | 45° |
| Desviación radial | Si está presente | En caso extremo | - | | 14° | 15° |
| Desviación ulnar | Si está presente | En caso extremo | - | | 24° | 20° |
| MANO | | | | | | |
| Pellizco | - | - | Si carga > 2 libras | Si está presente | Si está presente | Consideraciones varias |
| Agarre | - | - | Si carga > 10 libras | - | Si está presente | |
| Escribir a máquina | - | - | Períodos largos | - | - | |
| Otros movimientos | - | - | Clicar y arrastrar | Movimiento brusco | - | Movimientos rápidos |

Aspectos dinámicos

Los límites existentes en la actualidad sólo proponen valores de ángulos. Es decir, se propone que el ángulo de una determinada articulación debe estar comprendido entre un límite superior y otro inferior. Dichos límites no consideran los componentes dinámicos de los movimientos. Sin embargo, los aspectos dinámicos de los movimientos y de las posturas, son muy importantes en los trastornos musculoesqueléticos: debido a que la fuerza ejercida por los tendones se ve afectada por la aceleración a la que son sometidos. Así, por ejemplo, se ha demostrado que existe una relación entre el movimiento dinámico de la muñeca y los trastornos musculoesqueléticos. Mediante un modelo biomecánico de la muñeca, es posible demostrar que la aceleración incremental, significativamente, la fuerza de fricción de los tendones que pasan por el túnel carpiano. Para poder acelerar la muñeca, los músculos del antebrazo tienen que ejercer una fuerza que se transmite a los tendones. Parte de esta fuerza transmitida a través de los tendones se pierde debido a la fricción existente con los ligamentos y los huesos que conforman el túnel carpiano. Esta fuerza de fricción puede irritar las membranas sinoviales de los tendones y causar sinovitis.

Además, los parámetros dinámicos del movimiento de la muñeca (velocidad y aceleración angular) son capaces de discriminar

diferentes niveles de riesgo de trastornos musculoesqueléticos: mientras que la posición de la muñeca no. Actualmente se está empezando a considerar el estudio de estos parámetros y su influencia en los trastornos musculoesqueléticos.

Etapas

En este apartado se realiza una exposición de los pasos seguidos en la aplicación de la técnica electrogoniométrica y el fundamento teórico de las operaciones realizadas.

Pueden distinguirse cuatro etapas principales:

- Blanco
- Ubicación
- Grabación
- Procesado numérico

Blanco

La etapa de "blanco" consiste en medir una señal neutra. Es decir, desde el punto de vista práctico, consiste en tomar cada uno de los goniómetros y ponerlos encima de una superficie en posición neutra, sin establecer un ángulo determinado. En esta posición, se registra la señal procedente del goniómetro y se trata como si de una señal "normal" (procedente de la medición de una articulación cualquiera) se tratase. De esta forma se obtiene información acerca de la línea de base del goniómetro y, consecuentemente, indica la diferencia entre el valor medido por el goniómetro y el valor real.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de señal "blanca". Se observa fácilmente que la máxima diferencia picopico se sitúa entorno a los 2°. Este hecho implica que el error del goniómetro es de 2°.

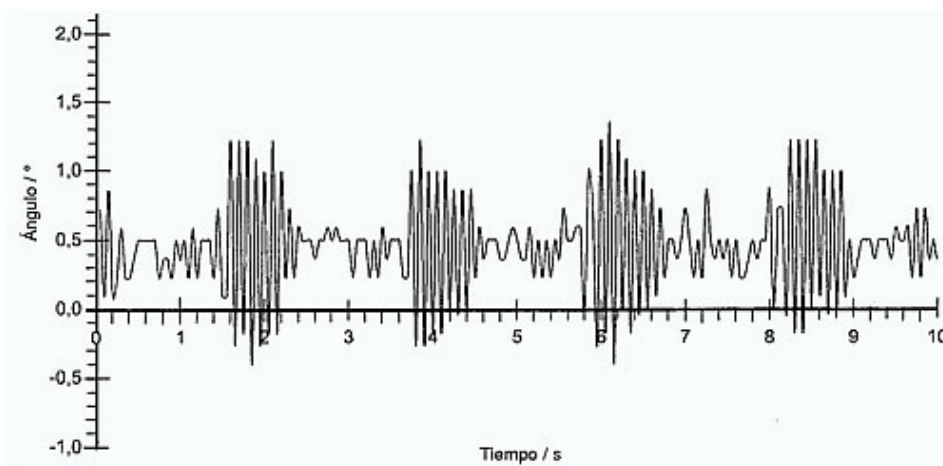


Figura 2. Blanco de la señal goniométrica correspondiente a la desviación radial de la muñeca izquierda.

Ubicación

La ubicación consiste en colocar los goniómetros en las articulaciones que se desean estudiar. Para la correcta colocación deben seguirse unos protocolos ya que de esta forma se conseguirá el funcionamiento adecuado y alargar la vida útil del goniómetro.

Para fijar el goniómetro al cuerpo de la persona se recomienda especialmente la utilización de una cinta adhesiva por una sola cara que pase por encima del sensor (la cinta adhesiva no debe entrar en contacto con la parte central elástica del sensor). De esta forma, el goniómetro queda mucho mejor sujeto que empleando una simple cinta adhesiva de doble cara (que es el procedimiento utilizado generalmente).

En aplicaciones en las que se ven involucrados movimientos rápidos de la articulación, es recomendable fijar el cable conector mediante la mencionada cinta. Esta consideración también es válida para evitar que el cable se desconecte del goniómetro a causa de los movimientos realizados por el individuo.

A continuación se describen los protocolos empleados en la colocación de los goniómetros en función de la articulación estudiada.

Muñeca

La galga distal se debe fijar encima de la superficie dorsal, a la altura del tercer metacarpo (fig. 3). Lo importante es que el goniómetro quede centrado a lo largo del eje longitudinal de la mano.

Seguidamente debe flexionarse la muñeca totalmente y extender el goniómetro al máximo para luego situar la galga fija en el antebrazo. El goniómetro debe quedar fijo a lo largo del eje longitudinal del brazo.

Con el goniómetro fijado, la muñeca debe poder flexionarse y extenderse, y desviarse ulnar y radialmente con total libertad de movimiento para el goniómetro sin que éste se vea forzado en ningún momento.

Si durante la visualización de la flexión-extensión y desviación radial-ulnar de la muñeca se dan movimientos de pronación-supinación se recomienda que las dos galgas del goniómetro se fijen lo más cerca posible de la articulación para evitar al máximo las interferencias.

Los dos cables conectores miden la desviación ulnar-radial y la flexión-extensión de la muñeca.

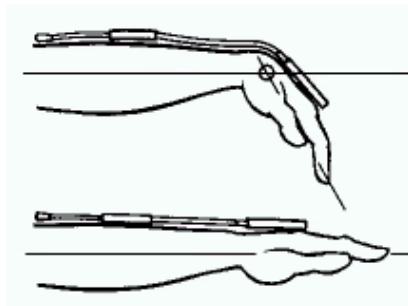


Figura 3. Colocación de un goniómetro en la muñeca

Codo

La galga distal se fija al antebrazo con el eje central del goniómetro coincidiendo con el eje longitudinal del brazo (fig. 4). Con el codo totalmente extendido, estirar el

goniómetro hasta su posición de máxima longitud y fijar la galga restante al brazo de forma que coincida con el eje central-longitudinal del propio brazo.

En este caso sólo se mide la flexión-extensión del codo a través de uno de sus canales.

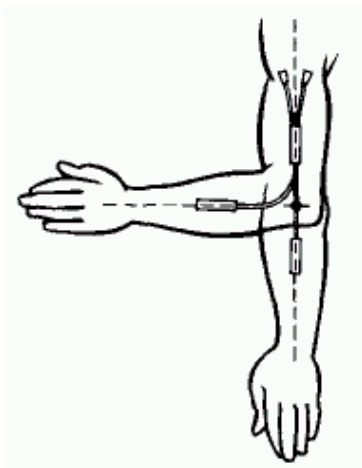


Figura 4. Colocación de un goniómetro en el codo

Hombro

Con los brazos extendidos normalmente a lo largo del cuerpo, se debe montar la galga distal en la parte lateral del brazo, cerca del hombro (fig. 5). Sin cambiar de posición, extender el goniómetro al máximo y fijar la otra galga en el hombro (coincidiendo con la clavícula).

Los cables conectores proporcionan información de la elevación del brazo con respecto a la postura neutral.

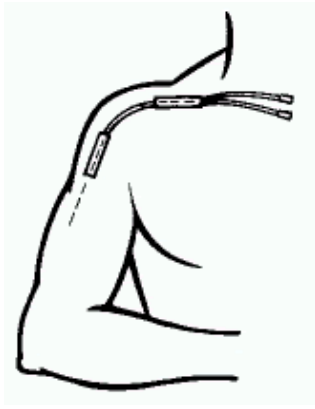


Figura 5. Colocación de un goniómetro en el hombro

Espalda

Con la persona en posición de pie, se coloca la galga fija a la altura de S1 y la galga distal sobre la espalda (fig. 6) procurando no extender el goniómetro.

Pueden haber dificultades en la medición si la persona lleva ropa muy ajustada, en posición sentado o cuando se realizan posturas de hiperflexión.

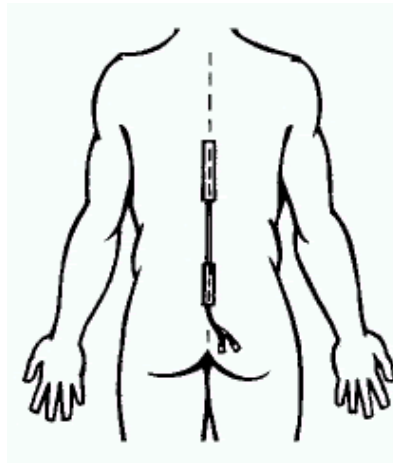


Figura 6. Colocación de un goniómetro en la espalda

Cadera

Se coloca la galga fija en la parte lateral del tronco a la altura de la pelvis (fig. 7). Luego debe estirarse el goniómetro hasta su posición de máxima longitud y se fija la galga distal encima del muslo de forma que coincidan los ejes longitudinales.

Los canales del goniómetro proporcionan información del ángulo de flexión-extensión y aducción-abducción.

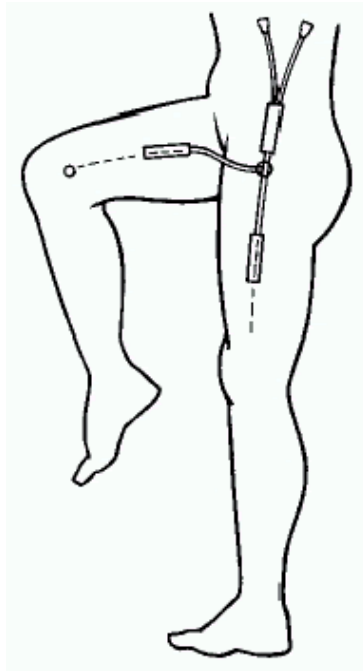


Figura 7. Colocación de un goniómetro en la cadera

Rodilla

Se debe montar la galga distal en la parte lateral de la pierna (fig. 8) y que los ejes longitudinales coincidan al observarse desde una vista sagital y con la pierna totalmente extendida. Sin cambiar la posición de la pierna, extender el goniómetro al máximo y fijarlo a la altura del muslo (los ejes longitudinales deberán coincidir).

Ahora se deberá poder flexionar y extender la rodilla y el goniómetro deberá poder moverse libremente.

Se miden la flexión-extensión y el varo-valgo con cada uno de los cables conectores.

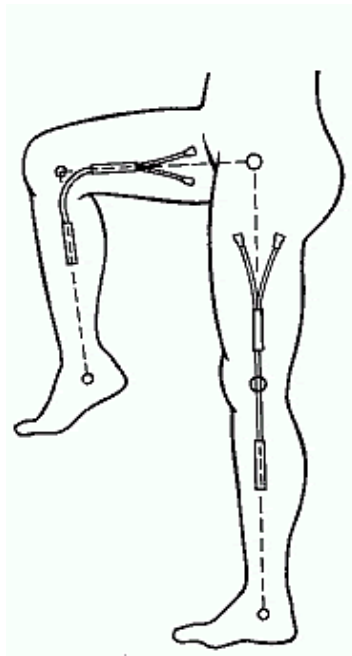


Figura 8. Colocación de un goniómetro en la rodilla

Tobillo

Se debe poner la galga fija al lado exterior del pie (fig. 9). Con el tobillo doblado y el goniómetro en posición de máxima extensión, se fija la galga distal a la pierna. Los ejes longitudinales del tobillo y el propio goniómetro deberán coincidir.

Los cables conectores miden la dorsiflexión-flexión plantar y la abducción-abducción del tobillo.

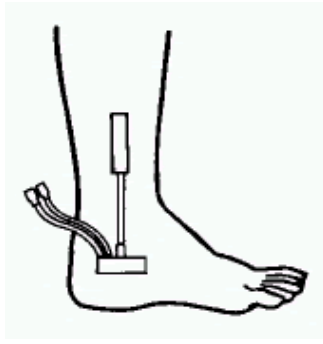


Figura 9. Colocación de un goniómetro en el tobillo

Grabación

Para poder realizar el registro de datos, es necesario calibrar los goniómetros. El significado de "calibrar" se refiere a establecer los puntos de referencia de las señales. La forma de fijar estos puntos de referencia depende, en gran medida, del fabricante del goniómetro. Sin embargo, las dos formas más habituales de realizar esta calibración son:

- Estableciendo un punto de referencia. Es la forma más habitual. Consiste en calibrar el goniómetro estableciendo un único punto de referencia. Este punto se suele fijar en 0° .
- Estableciendo dos puntos de referencia. Se fijan dos puntos, uno a 0° y otro a 45° .

Otra cuestión es la posición de referencia que se toma para fijar los ángulos de referencia. Al igual que antes, existen dos posibilidades:

- Referencia anatómica. Es la opción que más suele adoptarse. Consiste en hacer corresponder un ángulo 0° a la posición de las articulaciones del individuo estando éste en posición relajada. Es decir, se establece que cuando la articulación está en posición neutra, le corresponde un ángulo de 0° (aunque no se trate de 0° reales).
- Referencia goniométrica. A diferencia del caso anterior, la articulación debe estar a 0° reales para fijar este punto de referencia.

La referencia goniométrica presenta el problema de no contemplar las características particulares de cada individuo ya que siempre se impone un valor de referencia igual para todo el mundo. Esto implica no considerar las características anatómicas de cada individuo. A efectos de establecer niveles de riesgo, es importante considerar como posición de 0° aquella en la que no existe ningún tipo de tensión muscular ni ningún tipo de posición forzada y, por este motivo, es recomendable la calibración mediante referencia anatómica.

Otro aspecto muy importante antes de comenzar la grabación es la elección de la frecuencia de muestreo. Esta frecuencia de muestreo tiene un límite inferior en función de la tarea y de los movimientos que realice el trabajador. Aunque es recomendable emplear la frecuencia más baja posible, ya que de esta forma el número de datos registrados se reduce sobremanera, debe permitir registrar los movimientos que quieren estudiarse.

Así mismo, debe elegirse la frecuencia de muestreo de forma coherente con las operaciones numéricas que se quieran realizar. A título de ejemplo: es absurdo escoger una frecuencia de muestreo de 1000 Hz para luego filtrar la señal obtenida a frecuencias inferiores.

Como recomendación práctica, las frecuencias de 10 ó 20 Hz suelen bastar para la mayoría de los casos. No obstante, este valor puede variar en función de las características de las tareas que realicen los trabajadores y del objeto del estudio a realizar.

Procesado numérico

El procesado numérico consiste en emplear técnicas numéricas para extraer toda la información útil de la señal. Algunas de las operaciones numéricas más comúnmente realizadas son:

- Filtración
- Derivación
- Análisis frecuencial
- Análisis estadístico

La filtración de la señal es útil en aquellas situaciones en las que existe ruido electromagnético que puede distorsionar la señal del goniómetro. Por ello, los filtros que se utilizan son del tipo paso bajos (dada una frecuencia de corte, las frecuencias superiores se eliminan).

La operación de filtración es habitual realizarla junto con el análisis frecuencial de las señales. El análisis frecuencial permite conocer el espectro de la señal para poder determinar así la frecuencia de corte. Además este análisis permite obtener otra información de la señal, tal como la frecuencia promedio (que suele utilizarse como indicador de la repetitividad de la tarea). Derivando una vez la señal original, se obtiene la velocidad (angular) de la articulación. Si se deriva dos veces la señal entonces se obtendrá la aceleración

(angular).

El análisis estadístico de los datos permite comparar distintas situaciones de trabajo, posturas, modificaciones, etc. Una aplicación inmediata de este análisis consiste en la descripción estadística de los datos. Sin embargo, en función de los objetivos que se hayan planteado en el estudio, es posible aplicar técnicas y métodos que permitan la obtención de conclusiones objetivas acerca del mismo. A título de ejemplo, si se desea estudiar la posible variación en la postura del individuo a raíz de una modificación introducida en el puesto de trabajo, es común realizar una o más pruebas de hipótesis. Según la forma concreta en que se haya llevado el estudio (número de individuos, mediciones realizadas, etc.), se emplearán unas técnicas u otras: prueba t de Student, prueba z, prueba χ^2 test de Kolmogorov, etc.

Bibliografía

- (1) APTEL, M., LAHAYE, S., GERLING, A.
Un outil d'évaluation des facteurs de risques biomécaniques: OREGÉ
Documents pour le médecin du travail, 2000, 83, 217-223.
- (2) CHRISTMANSSON, M.
Repetitive and manual jobs - Content and effects in terms of physical stress and work-related musculoskeletal disorders
The International Journal of Human Factors in Manufacturing, 1994, 4 (3), 281-292.
- (3) COLOMBINI, D.
Exposure assessment of upper limb repetitive movements: a consensus document
International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, 2001, vol I, 52-67.
- (4) HIGNETT, S., Y MCATAMNEY, L.
Rapid Entire Body Assessment (REBA)
Applied Ergonomics, 2000, 31 (2), 201-205.
- (5) ISO/FDIS 11226:2000
Ergonomics - Evaluation of working postures
ISO/TC 159 /SC
- (6) KARHU, O., KANSI, P., KUORINKA, I.
Correcting working postures in industry. A practical method for analysis
Applied Ergonomics, 1977, 4, 199-201.
- (7) MARRAS, S.W., SCHOENMARKLIN, R.W.
Wrist motions in industry
Ergonomics, 1993, 36, 341-351.
- (8) MCATAMNEY, L., NIGEL, E.C.
RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders
Applied Ergonomics, 1993, 24 (2), 91-99.
- (9) NOGAREDA, S., DALMAU, I.
Evaluación de las condiciones de trabajo: carga postural
INSHT, NTP 452, 1997.
- (10) prEN 1005-4
Safety of machinery - Human physical performance - Part 4: Evaluation of working postures in relation to machinery
- (11) UNE-EN 1005-32002
Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 3: Límites de fuerza recomendados para la utilización de máquinas