

# Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo

## Evaluación de una actividad de movilización de cargas

Using Pulse Rate in Estimating Workload  
Evaluating a Load Mobilizing Activity

Uso da frequência do pulso na estimação da carga de trabalho  
Avaliação de uma atividade de mobilização de cargas

Juan Alberto Castillo Mg, PhD<sup>1</sup>; Ángela Cubillos, Mg.<sup>2</sup>

Recibido: 15 de marzo de 2013 • Aceptado: 04 de diciembre de 2013

Doi: [dx.doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04](https://doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04)

Para citar este artículo: Castillo JA, Cubillos A. Uso de la frecuencia del pulso en la estimación de la carga de trabajo. Evaluación de una actividad de movilización de cargas. Rev Cienc Salud 2014;12(Especial):27-43. doi: [dx.doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04](https://doi.org/10.12804/revsalud12.esp.2014.04)

### Resumen

**Introducción:** la frecuencia del pulso es un indicador directo del estado del sistema cardiovascular, además de ser un indicador indirecto de la energía gastada en la ejecución de una tarea. El pulso de una persona es el número de pulsaciones registradas en una arteria periférica por unidad de tiempo, que se manifiesta como una onda de presión que se mueve a lo largo de los vasos sanguíneos, los cuales son flexibles. "En las grandes ramas arteriales, su velocidad es de 7 a 10 m/s y en las arterias pequeñas, de 15 a 35 m/s". **Materiales y métodos:** el fin de este estudio fue evaluar la frecuencia cardíaca, utilizando la técnica de registro de la frecuencia del pulso, el consumo de oxígeno y la observación de la actividad de trabajo para la estimación de la carga de trabajo en una tarea de manipulación de carga para tres situaciones: levantar/trasladar/depositar; antes, durante y después de la tarea, se registra la frecuencia del pulso para 24 jóvenes voluntarios (10 mujeres y 14 hombres) en condiciones de laboratorio. Simultáneamente, se realizó un registro del gesto de trabajo y de las estrategias de levantamiento, movilización y depósito de la carga. **Resultados:** se observó un incremento entre la FP inicial y final en los dos grupos y para las dos tareas; se registra, igualmente, una diferencia en el aumento de las pulsaciones para la carga de 17,5. El 75 % de los participantes experimenta un incremento de la FP por encima de 100 lat./min. Para los 25 kg, los valores registra-

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Salud, Cognición, Trabajo (GiSCYT). Correo electrónico: [juan.castilloma@urosario.edu.co](mailto:juan.castilloma@urosario.edu.co)

<sup>2</sup> Escuela de Diseño industrial, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).

dos indican valores superiores a 114 lat./min y, para los 17,5 kg, valores superiores a 128 lat./min. *Conclusión:* la frecuencia del pulso es un método que se recomienda por su simplicidad de uso para el personal operativo, supervisores y gerentes, así como para los ingenieros industriales no entrenados en el método fisiológico, también puede ser utilizado por higienistas industriales.

*Palabras clave:* frecuencia cardíaca, frecuencia del pulso, manipulación de cargas, gasto energético, análisis de la actividad.

### *Abstract*

*Introduction:* The pulse rate is a direct indicator of the state of the cardiovascular system, in addition to being an indirect indicator of the energy expended in performing a task. The pulse of a person is the number of pulses recorded in a peripheral artery per unit time; the pulse appears as a pressure wave moving along the blood vessels, which are flexible, "in large arterial branches, speed of 7-10 m/s in the small arteries, 15 to 35 m/s". *Materials and methods:* The aim of this study was to assess heart rate, using the technique of recording the frequency of the pulse, oxygen consumption and observation of work activity in the estimation of the workload in a load handling task for three situations: lift/transfer/deposit; before, during and after the task the pulse rate is recorded for 24 young volunteers (10 women and 14 men) under laboratory conditions. We performed a gesture analysis of work activity and lifting and handling strategies. *Results:* We observed an increase between initial and final FP in both groups and for the two tasks, a difference is also recorded in the increase in heart rate of 17.5 for charging 75 % of the participants experienced an increase in FP above 100 lat./min. Par 25 kg, registered values indicate greater than 114 lat./min and 17.5 kg than 128 lat./min values. *Conclusion:* The pulse rate method is recommended for its simplicity of use for operational staff, supervisors and managers and industrial engineers not trained in the physiology method can also be used by industrial hygienists.

*Key words:* heart rate, pulse rate, manual materials handling, energy expenditure, activity analysis.

### *Resumo*

*Introdução:* a frequência do pulso é um indicador direto do estado do sistema cardiovascular além de ser um indicador indireto da energia gastada na execução de uma tarefa. O pulso de uma pessoa é o número de pulsações registradas em uma artéria periférica por unidade de tempo; o pulso se manifesta como uma onda de pressão que se move ao longo dos vasos sanguíneos, que são flexíveis. "Nos grandes ramos arteriais, sua velocidade é de 7 a 10 m/s e nas artérias pequenas de 15 a 35 m/s". *Materiais e métodos:* o fim deste estudo foi avaliar a frequência cardíaca, utilizando a técnica de registro da frequência do pulso, o consumo de oxigênio e a observação da atividade de trabalho para a estimação da carga de trabalho em uma tarefa de manipulação de carga para três situações: levantar/trasladar/depositar; antes, durante e depois da tarefa se registra a frequência do pulso para 24 jovens voluntários (10 mulheres e 14 homens) em condições de laboratório. Simultaneamente se realizou um registro do gesto de trabalho e das estratégias de levantamento, mobilização e depósito da carga. *Resultados:* observou-se um incremento entre a FP inicial e final nos dois grupos e para as duas tarefas; registra-se igualmente, uma diferença no incremento das

pulsões para a carga de 17,5 o 75% dos participantes experimenta um incremento da FP por cima de 100 lt/min. Para os 25 KG, os valores registrados indicam valores superiores a 114 lt/min e para os 17,5 KL g valores superiores a 128 l/min. *Conclusão:* a frequência do pulso é um método que se recomenda por sua simplicidade de uso para o pessoal operativo, supervisores e gerentes, assim como os engenheiros industriais não treinados no método fisiológico; também pode ser utilizado por higienistas industriais.

*Palavras-chave:* frequência cardíaca, frequência do pulso, manipulação de cargas, gasto energético, análise da atividade.

## Introducción

En el medio industrial, se requieren métodos prácticos con indicadores fisiológicos que permitan calcular la carga física de trabajo asociada a una actividad muscular dinámica de trabajo. La frecuencia cardíaca es considerada como uno de los indicadores de este tipo que es menos costoso y fácil de registrar (1-4). De igual manera, estos indicadores son útiles para determinar la carga de trabajo en una actividad.

La frecuencia cardíaca es útil en la estimación de la carga máxima aceptable de trabajo, sin embargo, se debe tomar en consideración que esta se ve afectada por una serie de factores asociados al trabajo físico (la temperatura, el estado nutricional, el estado emocional y físico del trabajador, entre otros), factores que pueden ser controlados colectando datos continuos de la frecuencia cardíaca. Generalmente, se considera que el balance entre la capacidad cardiorrespiratoria y la carga física de trabajo permiten determinar los tiempos de actividad y de reposo en un trabajo; para este caso, el método de monitoreo de la frecuencia cardíaca se constituye en el más fácil de utilizar y el menos invasivo para los trabajadores, que, al tiempo, permite minimizar los riesgos de fatiga y sobreesfuerzo en el trabajo (5, 6). En último lugar, hay que decir que la frecuencia cardíaca se considera como un índice completo y de alta validez cuando se siguen adecuados protocolos de registro y tratamiento

de los datos obtenidos. La frecuencia cardíaca integra en su expresión diferentes factores vinculados a la tarea desarrollada y al entorno donde esta es ejecutada (trabajo estático, estrés térmico, intensidad del esfuerzo físico).

Para el análisis de la frecuencia cardíaca (FC) en el trabajo, se han usado varios métodos de estimación y cálculo. No obstante, se debe destacar que estos métodos han sido aplicados con mayor frecuencia en el campo de la medicina del deporte y no en el estudio de la carga física en el trabajo. En el medio deportivo, para el registro continuo de la frecuencia cardíaca, es utilizado un cinturón torácico, el cual registra, a partir de dos electrodos precordiales, los latidos del corazón; en un intervalo de tiempo determinado, calcula el promedio y lo almacena en una memoria, técnica que presenta muchas ventajas, sin embargo, en el estudio de la carga física, muestra algunas dificultades por la calidad de los registros. Otra técnica empleada en medicina y, posteriormente, aplicada para el estudio de la frecuencia cardíaca en el trabajo es el registro de la frecuencia del pulso; este registro puede ser usado como una expresión de los cambios de la frecuencia cardíaca. La frecuencia del pulso es también un indicador directo del estado del sistema cardiovascular, además de ser un indicador indirecto de la energía gastada en la ejecución de una tarea (7).

En ergonomía, se ha usado la frecuencia del pulso como una herramienta para evaluar las demandas de un trabajo. Monod y Pottier describen el uso de la frecuencia del pulso como un criterio razonable en el estudio de los movimientos en el trabajo (8). En su estudio, comparan diferentes métodos de movilización de cargas en el plano horizontal, encontrando que la frecuencia del pulso se incrementa de forma más significativa cuando se ejecutan movimientos simétricos no simultáneos que cuando se realizan movimientos sincrónicos simultáneos.

Las primeras técnicas instrumentadas de la frecuencia del pulso y de la frecuencia cardíaca fueron desarrolladas en 1928 por Boas, sin embargo, fue Brouha quien introdujo esta técnica en el estudio del trabajo. El método planteado por Brouha indica el registro de la FC inmediatamente después de la finalización del trabajo (9). El registro se efectúa en los tres minutos siguientes al finalizar la tarea. El registro se hace en el primer ( $FC_1$ ) segundo ( $FC_2$ ) y tercer minuto ( $FC_3$ ), con la técnica de registro de la frecuencia del pulso a nivel de la muñeca. La frecuencia del pulso se toma en los últimos 30 segundos de cada minuto; el promedio de los tres

valores obtenidos está altamente correlacionado con el costo cardíaco. Para ello, Brouha establece los siguientes parámetros de análisis y desarrolla un algoritmo de análisis a partir de estos:

1. Si  $FC_1 - FC_2 > 10$  o si  $FC_1$ ,  $FC_2$  y  $FC_3$  están por debajo de las 90 pulsaciones, la recuperación es normal.
2. Si el promedio de FC sobre el número de registros es  $< 110$  y  $FC_1 - FC_3 > 10$ , la carga de trabajo no es excesiva.
3. Si  $FC_1 - FC_3 < 10$  y si la  $FC_3 > 90$ , la recuperación es inapropiada para los requerimientos de la tarea.

El éxito de esta técnica radica en la practicidad de uso, ya que para su aplicación solo requiere un cronómetro para su registro. Posteriormente, se han desarrollado diferentes clasificaciones que permitan interpretar la frecuencia del pulso en la calificación de la intensidad de la carga de trabajo. A continuación, se presentan tres de ellas. La tabla 1 expone la propuesta desarrollada por Christensen (10); la tabla 2, la clasificación elaborada por Wells y colaboradores (11); y la tabla 3, la clasificación a partir de los trabajos desarrollados por Rosenblat (12).

Tabla 1. Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Christensen (10)

Muy fácil	Fácil	Medio	Pesado	Muy pesado	Inusualmente pesado
+ de 75	75-100	100-125	125-150	150-175	Encima de 175
latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min
2,5-1	2,5-5	5-7,5	7,5-10	10-12,5	Encima de 12,5
kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min

Tabla 2. Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Wells *et al.* (11)

Fácil	Moderado	Óptimo	Exigente
Debajo de 100	100-120	120-150	Superior a 140
latidos/min	latidos/min	latidos/min	latidos/min
Debajo de 4	4-7	7,5-10	Superior a 10
kcal/min	kcal/min	kcal/min	kcal/min

Tabla 3. Clasificación de la carga de trabajo de acuerdo con Rosenblat (12)

Trabajo fácil	Intensidad moderada de trabajo físico	Intensidad pesada de trabajo físico	Intensidad muy pesada de trabajo físico
Debajo de 90 latidos/min	90-99 latidos/min	100-119 latidos/min	Superior a 120 latidos/min

Estas tablas permiten estimar la carga de trabajo a partir del registro de la FC, y se han usado para determinar la intensidad del trabajo y también los tiempos de actividad y de reposo. En el estudio de la carga de trabajo, la FC se convierte en un elemento central de los programas de prevención de lesiones asociadas al trabajo, específicamente cuando se requiere la manipulación de cargas. La clasificación de trabajos es una etapa importante en el diseño de tareas y de puestos de trabajo. Así mismo, es central en la determinación de la exposición a condiciones biomecánicas exigentes.

La evaluación de la FC permite, por lo tanto, estimar la carga de trabajo; para hacerlo, se puede recurrir a dispositivos tecnológicos modernos

que permiten el registro continuo en función del tiempo o utilizar la frecuencia del pulso. Esta técnica ha sido retomada en los últimos años (13-15). En los estudios en los cuales se hace registro de la frecuencia del pulso, esta se considera como una técnica no invasiva de medición fisiológica. Las investigaciones se han centrado en el registro de la forma de onda de pulso de muñeca; este puede ser adquirido para la evaluación de la condición física. Subsecuentemente, se ha trabajado en el desarrollo de métodos no lineales de análisis diseñados para cuantificar su dinámica. Se cree que la forma de onda de pulso contiene la misma información de una señal ECG (ver figura 1), por lo que se considera que los datos contenidos en la onda del pulso arterial están subutilizados.

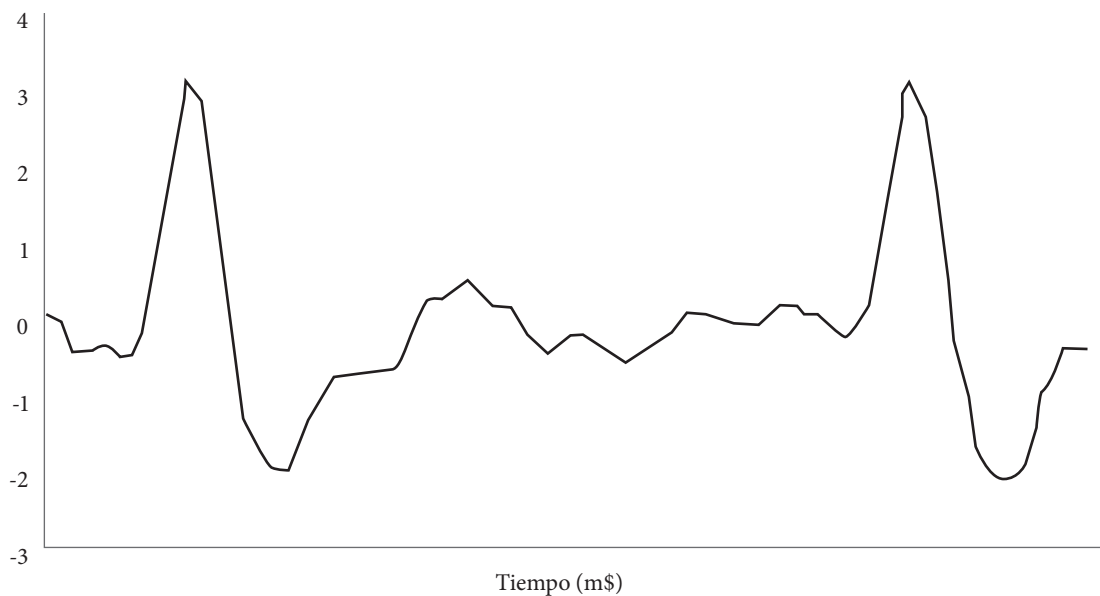


Figura 1. Comportamiento regular de la onda del pulso en diferentes series de tiempo

Fuente: Joshi A, Chandran S, Jayaraman VK, Kulkarni BD (2010)

El pulso de una persona es el número de pulsaciones registradas en una arteria periférica por unidad de tiempo; el pulso se manifiesta como una onda de presión que se mueve a lo largo de los vasos sanguíneos, los cuales son flexibles. "En las grandes ramas arteriales, su velocidad es de 7 a 10 m/s y en las arterias pequeñas, de 15 a 35 m/s". Es a partir de este principio que este trabajo retoma la técnica de registro de la frecuencia de pulso (FP) de acuerdo con lo propuesto por Rosenblat y Bendy (16).

Cuando se utiliza la técnica de la FP, se debe tomar en consideración que se pierde información de los picos de carga, de la duración de la FC elevada y de los patrones de recuperación, no obstante, esto puede ser rectificado usando métodos específicos. En esta técnica, los registros son tomados después de finalizada la tarea, específicamente en los minutos siguientes; para ello, se toma la FP durante períodos de 15 o 20 segundos. Para esta técnica, Rosenblat desarrolló tablas que correlacionan la FP en el primer y tercer minuto luego de finalizada la tarea; estas tablas establecen una correlación estadísticamente significativa. Para la aplicación de esta técnica, se recomienda el registro de la FP en grupos de individuos de más de 10 participantes.

## *Materiales y métodos*

### *Técnica de registro*

En el análisis de la frecuencia del pulso, se consideran los siguientes criterios: la frecuencia máxima de pulso (FP<sub>máx</sub>) y el promedio de la frecuencia de pulso durante el trabajo (FP<sub>m</sub>). El primero se usa para establecer la carga de trabajo máxima y el segundo, para comprender la carga de trabajo; este se calcula promediando la FP para cada operación (o) multiplicada por el tiempo registrado (T), así:

$$FP_m = (O_1 T_1 + O_2 T_2 + O_3 T_3 \dots O_n T_n) / T_s, \text{ {ecuación 1}}$$

T<sub>s</sub> es la sumatoria de los tiempos efectivos de ejecución de la tarea durante el turno de trabajo (descontando los tiempos de pausa T<sub>p</sub>). También, se registra el pulso de reposo y se calcula el promedio del pulso de reposo (Pr) sumando los resultados de estas pausas. El pulso promedio durante el turno de trabajo (Pw) se calcula usando la siguiente fórmula:

$$Pw = FP_m \times T_s + Pr \times T_p / (T_s + T_p) \text{ {ecuación 2}}$$

Del análisis de estos datos, Rosenblat considera que el trabajo puede ser clasificado en una de las siguientes cinco categorías:

Hasta 90 latidos por minuto:	no requiere mucho esfuerzo
De 90 a 119 latidos por minuto:	requiere un esfuerzo modesto
De 120 a 149 latidos por minuto:	requiere un esfuerzo intenso medio
De 150-179 latidos por minuto:	requiere un esfuerzo intenso
Superior a 190 latidos por minuto:	requiere un esfuerzo extremadamente intenso.

Cuando el pulso promedio del turno es inferior a 100 lat./min, no se requiere de tiempos adicionales de recuperación. Cuando es superior a este valor, se deben asegurar tiempos adicionales de recuperación (Trq); estos deberán calcularse en proporción porcentual a la duración total de la jornada de trabajo.

A partir de estos parámetros, el costo cardíaco relativo (CCR) ha sido calculado utilizando la relación de Rodgers (1986):

$$CCR = 100 \times (F_{cw} - F_{cre}) \div (F_{cmáx} - F_{cre})$$

La frecuencia cardíaca máxima se ha calculado con la relación propuesta por Chaffin (1966):  $F_{cmáx} = [205 - (0,62 \times \text{edad})]$ . El costo cardíaco se calcula en términos absolutos  $CCA = (F_{cmedia} - F_{creposo})$  y el costo cardíaco relativo  $CCR =$



\*CCA/(Fcmáx - Fc reposo). Este valor no debe sobrepasar el 30 % en una jornada de trabajo (18).

*Población*

Participaron 24 jóvenes universitarios voluntarios de ambos sexos, 14 hombres y 10 mujeres, los cuales se dividieron aleatoriamente en dos grupos, donde se conformaron equipos de 3 individuos. El procedimiento empleado

para el registro de la frecuencia es el siguiente: los voluntarios permanecen cinco minutos en reposo, se registra la frecuencia de pulso (FP) en posición sedente y luego bipedestal antes de iniciar la actividad, además se registra la FP cada tres minutos; cada una de las tareas se ejecuta de manera secuencial por un espacio de 12 minutos cada una; al finalizar, se registra la frecuencia en los tres minutos siguientes.

Tabla 4. Características de los grupos de trabajo

		Edad (años)	Estatura (m)	Peso (kg)	Fcmáx (220-edad)
Grupo A	Media	25,8	165,3	65,1	194,25
	DevSt	2,9	5,6	12,0	2,9
Grupo B	Media	29,4	168,3	66,8	190,6
	DevSt	7,1	8,4	13,0	7,1

*Descripción de los puestos de trabajo*

Se emplea una carga con dos pesos diferentes 25 y 17,5 kilogramos; para el monitoreo de la frecuencia del pulso, se usaron relojes con cronómetros. Los voluntarios ejecutaban cada una de las tareas hasta la culminación del ciclo. Se realizaron ciclos de 12 minutos con las mismas características, se diseñaron tres puestos de trabajo que corresponde a cada una de las tareas, así:

*Puesto/tarea N° 1*

El sujeto inicia tomando el peso desde una superficie no anclada a una altura de 84 cm + 17 cm del alto de la carga (102 cm) para luego ubicarla a nivel del piso.

*Puesto/tarea N° 2*

El sujeto toma desde el piso la carga a una altura de 17 cm (alto de la carga), la levanta, sostiene y moviliza, desplazándose a una distancia de 3 m, depositando de nuevo la carga a nivel del piso, para luego regresar sin carga al inicio del recorrido.

*Puesto/tarea N° 3*

El sujeto toma la carga a una altura de 17 cm (alto de la carga) del piso; la levanta, se desplaza con ella hasta el punto inicial del puesto de trabajo N° 1, teniendo en cuenta que debía colocar la carga en una superficie de altura de 84 cm.

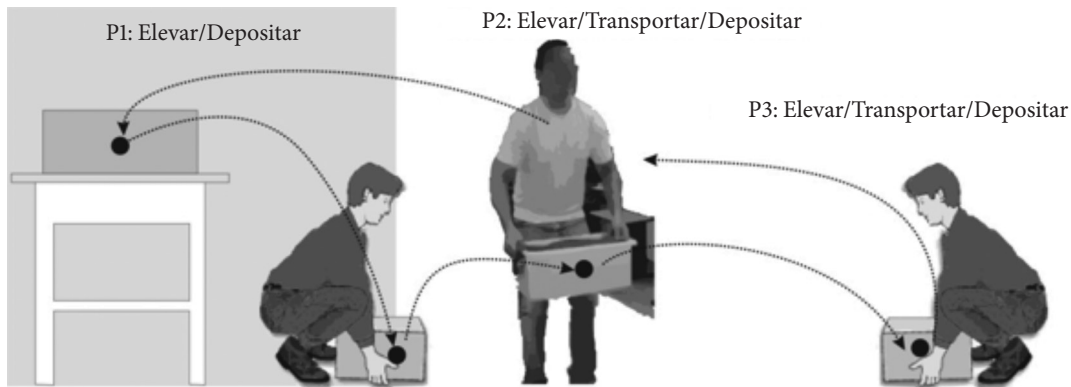


Figura 2. Principales acciones en las tareas diseñadas

Fuente: elaboración de los autores

*Características de las tareas*

Para el desarrollo de las tareas, se diseña el ejercicio según los criterios de la matriz de aceptabilidad para una actividad de movilización de cargas (figura 3), tomando en cuenta el peso de la carga y la frecuencia de repeticiones. En este estudio,

se trata de dos cargas, con pesos de 25 y 17,5 kg. Estas cargas deben ser manipuladas en un ciclo continuo de 12 minutos (0,5 horas). La tarea se desarrolla entonces dentro de los estándares de seguridad, con el fin de establecer la dificultad para los individuos y la calificación de la carga de trabajo.

**Relación peso-frecuencia de levantamiento**

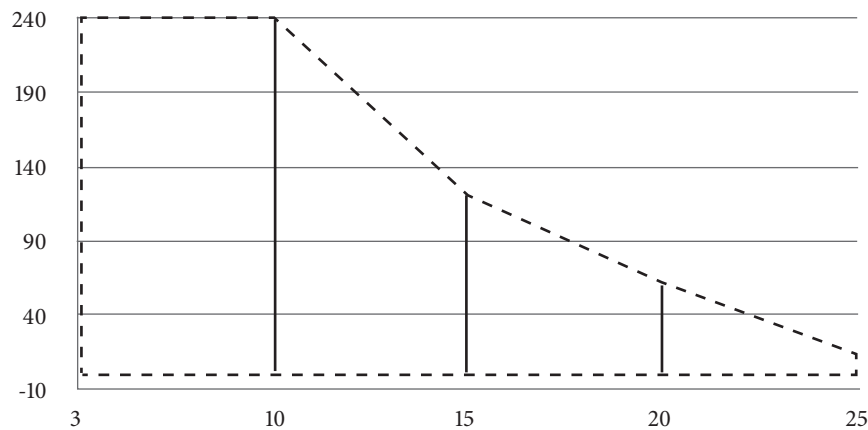


Figura 3. Matriz de relación peso-frecuencia

Fuente: Société Belge d'ergonomie (SBE)

De igual manera, las tareas han sido diseñadas para analizar las variaciones de frecuencia del pulso en tareas que implican elevación, descenso y movilización de una carga; en estas tareas, se busca también identificar las estrategias em-

pleadas por los individuos al tomar, transportar y depositar un peso estable. En el desarrollo de las tareas, se identifica que en el ciclo completo por tarea los voluntarios realizan en promedio 34 repeticiones en cada tarea (25 y 17,5 kg).



En la manipulación de las cargas, los sujetos utilizan una técnica de levantamiento libre, la atención se dirige a identificar los movimientos compensatorios a los cuales recurren los individuos en la medida que se desarrolla la tarea, esto tomando en cuenta la carga acumulada de peso manipulado, el cual fue en promedio de 838 kilogramos por ciclo de trabajo (ejecución de las tres tareas), para cada uno de los voluntarios.

### Resultados

Los dos grupos desarrollaron las tareas 1, 2 y 3 alcanzando una frecuencia de repetición de movilización similar y un promedio de movilización total de carga equiparable en los dos

casos a los aceptables en términos de frecuencia y peso para las tareas asignadas.

Del análisis global de los datos registrados, se observa un incremento progresivo y rápido de la frecuencia del pulso después del minuto tres de registro, alcanzando el valor máximo al minuto doce. Para ambos pesos y teniendo en cuenta los promedios de las frecuencias, se puede notar que en los primeros tres minutos de trabajo la frecuencia se incrementa en 30 pulsaciones. De igual forma, se encuentra que, pasados dos minutos del cese de la actividad, los individuos presentan una recuperación de alrededor de 40 pulsaciones en los tres minutos siguientes a la finalización de la tarea (figura 4).

Tabla 5. Resultados globales de frecuencia y carga total movilizada con las dos cargas asignadas

		Carga de 25 kg		Carga de 17,5 kg	
		Nº total de repeticiones en 12 min	Peso total kg	Nº total de repeticiones en 12 min	Peso total kg
Grupo A	Media	34,1	852,1	37,7	659,2
	DevSt	2,7	67,3	5,1	88,5
Grupo B	Media	34	850	37,7	659,2
	DevSt	2,6	65,4	5,1	88,5

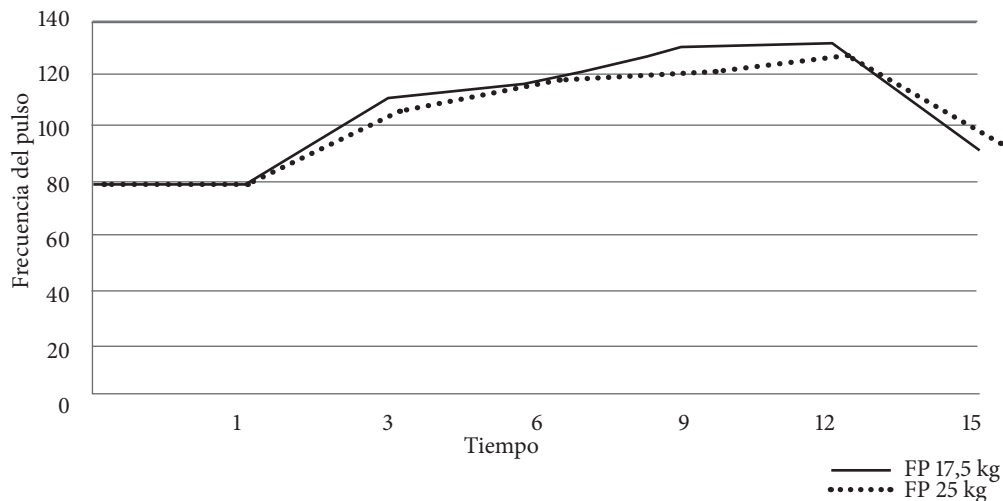


Figura 4. Incremento de la frecuencia del pulso después del tercer minuto

En los dos grupos, la frecuencia cardíaca máxima en las mujeres alcanza los 196,98 lat./min y en los hombres es de 201,42 lat./min, con un promedio en las mujeres de 196,71 y en los hombres de 199,10. Con este incremento de la FP, la media de CCR indica para los dos grupos un CCR (costo cardíaco relativo) del 24,7 % para 25 kg y del 25,8 % para 17,5 kg, lo cual significa una exigencia global moderada y dentro de los estándares de normalidad para una jornada de trabajo, con un proceso de recuperación apropiado.

El consumo de oxígeno<sup>1</sup> indica que para las mujeres en promedio es de un 10,90 % menos que en los hombres para la carga de 17,5 kg y un 4,99 % más que en los hombres para la carga de 25 kg. Para las mujeres, las tres tareas significan un incremento rápido de la frecuencia del pulso; la tarea 3, que implica levantamiento, transporte y transferencia es la de mayor exigencia. De igual manera, esta tarea muestra cómo la carga acumulada participa en el aumento de los valores, con registros superiores a 140 lat./min, lo que lleva a clasificar esta tarea como exigente o muy pesada.

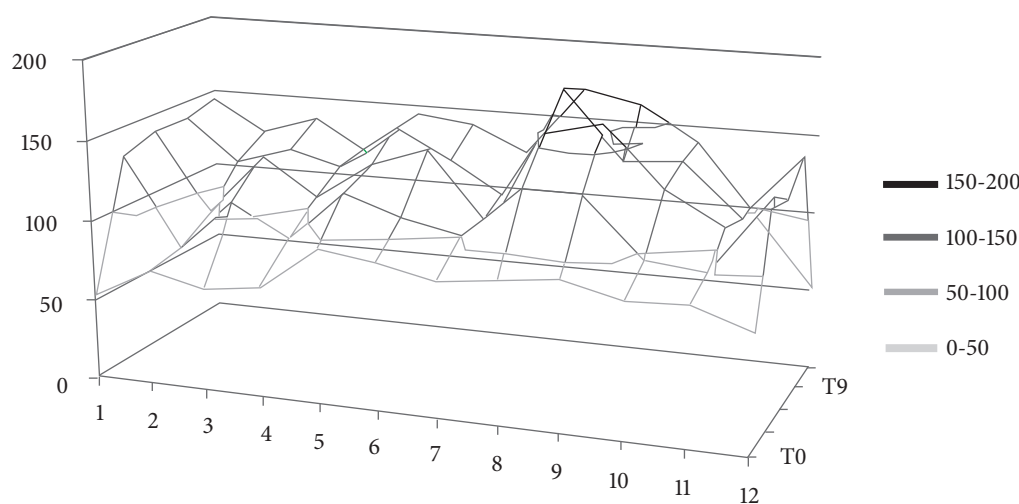


Figura 5. La tendencia de la frecuencia del pulso en el grupo A y B después del tercer minuto es superior a 100 l/min, cuando se moviliza la carga de 25 kg

Para los hombres, se observó el mismo efecto de acumulación de carga; las tareas 1 y 3, las cuales incluyen descenso de una carga, levantamiento y depósito, son las de mayor exigencia, observándose que se alcanzan para ambas tareas valores superiores a 140 lat./min, específicamente al último cuarto de ejecución de la tarea.

Para la carga de 17,5 kg, las repeticiones y la frecuencia de manipulación influyen en el incremento de la frecuencia, específicamente por la ausencia de tiempos de recuperación. El comportamiento es similar para el peso de

17,5 kg en la ejecución de la tareas 2 y 3. Tanto para mujeres como para hombres los registros de frecuencia del pulso superan los 140 lat./min. De igual manera, se aprecia que el efecto de carga acumulada es importante, ya que en la tarea 1 los valores se mantienen por debajo de 120 lat./min, lo que indica que es un trabajo con una exigencia de moderada a media.

<sup>1</sup> Para el cálculo se utilizó el Test de Rockport que indica:  
 $VO2Máx(ml.kg.min)=[132,6 - (0,17 \times PC) - (0,39 \times edad) + (6,31 \times S) - (3,27 \times T) - (0,156 \times RC)]$

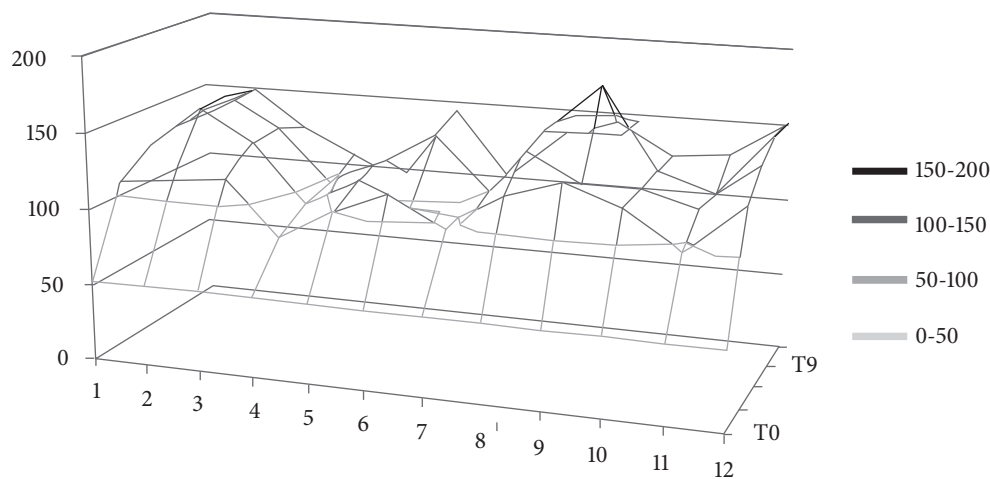


Figura 6. La tendencia de incremento en la frecuencia del pulso en el grupo A y B después del tercer minuto es superior a 100 l/min, y se observa su crecimiento lineal debido al incremento de la frecuencia de repeticiones, cuando se moviliza la carga de 17,5 kg

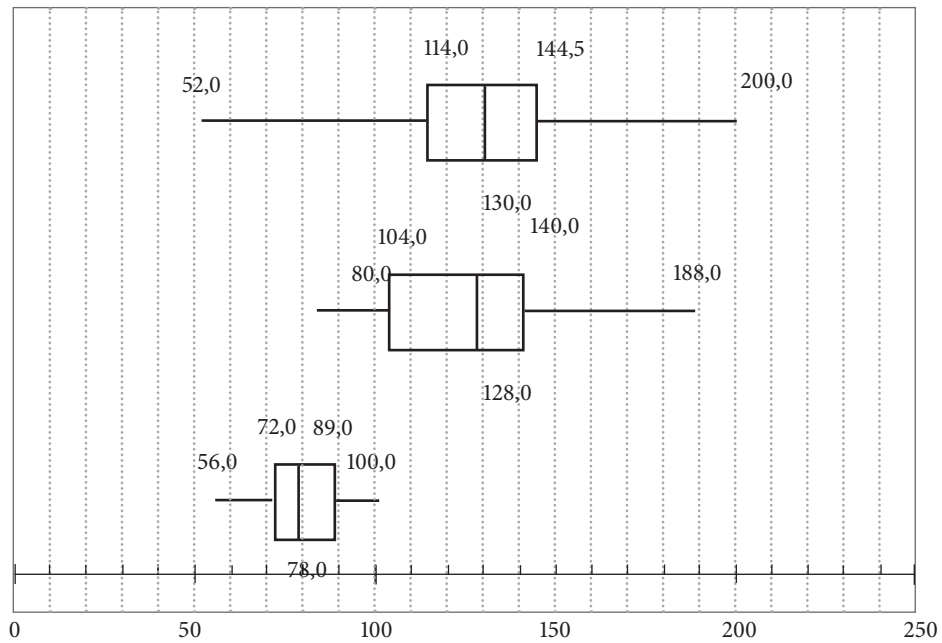
La tarea 2 (levantamiento, transporte y transferencia) implica para los hombres una mayor exigencia; las acciones de tomar, elevar, transportar y depositar en condiciones normales de agarre y con carga estable de todas formas tienen un costo importante desde el punto de vista energético por carga de trabajo acumulada. De otro lado, se observa un incremento entre la FP inicial y final; esta modificación se observa igual en los dos grupos y para las dos tareas. Se registra, igualmente, una diferencia en el incremento de las pulsaciones para la carga de 17,5: el 75 % de los participantes experimenta un aumento de la FP por encima de 100 lat./min. Para los 25 kg, sin embargo, los valores registrados indican valores superiores a 114 lat./min y, para los 17,5 kg, valores superiores a 128 lat./min (figura 7). En síntesis, al registrar la FP, se debe comprender que la frecuencia de ejecución de la tarea es un componente determinante para clasificar el tipo de trabajo; de igual modo, las diferencias registradas entre la frecuencia final y la de reposo después de finalizada la tarea indican dificultades para la recuperación de los participantes, aspecto

central en el análisis de este tipo de actividades, ya que este elemento es determinante en la manifestación de falta de confort y en la aparición prematura de la fatiga al ejecutar una tarea.

El último componente analizado se refiere a las formas de control desarrolladas por los voluntarios para modificar los problemas de percepción de confort y de fatiga. En efecto, las estrategias empleadas por los voluntarios para tomar, desplazar y depositar la carga se van modificando en la medida que la carga acumulada y las frecuencias de desplazamiento se incrementan. Las observaciones indican que los individuos alternan la posición de los miembros inferiores al apoyarlos en la parte lateral de la carga; en ocasiones, se evidencia mayor esfuerzo en miembros superiores y tronco para levantar la carga.

Se observa que, al depositar la carga, los participantes lo realizan inicialmente de manera suave, buscando controlar la posición final de la carga, pero, en la medida que las repeticiones se incrementan, la velocidad de descarga aumenta y se pierde control sobre la posición final; este

Frecuencia del pulso con carga de 25 kg



Frecuencia del pulso con carga de 17,5 kg

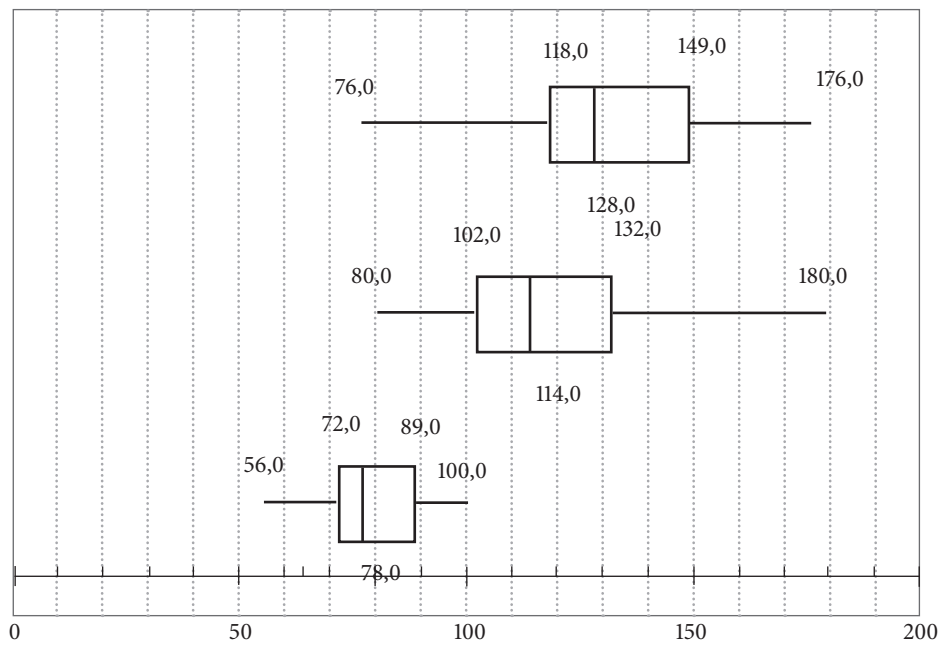


Figura 7. El registro de la frecuencia de pulso en los dos grupos y para las dos cargas muestra diferencias en el incremento de la FP en el minuto 6 y 12 con respecto a la FP de reposo

aspecto es relevante para actividades de estibado, donde se requiere control de posición. En estos casos, se precisa un control de la posición final de la carga con el fin de reducir el número de movimientos y de reposicionamientos necesarios, lo que implica mayor tiempo de sostenimiento de la carga y aumento de la FP. El número de ajustes posturales crece en la medida que el peso movilizado se va acumulando; adicionalmente, se debe considerar que la media de la distancia recorrida en las tareas 2 y 3 en cada prueba fue de 113 m.

Debido a esto, al finalizar las tareas, los individuos manifestaron falta de confort, adormecimiento y dolor en MMII; también, identifican molestias en la primera falange de los dedos de

la mano, lo cual puede estar asociado al tipo de agarre y a las características de la carga. Así mismo, se observó que, al acumularse peso, los participantes utilizan las rodillas como soporte de la carga (figura 8), por lo cual refieren molestias en el muslo izquierdo. Se referencia, igualmente, la presencia de molestias en cadera izquierda, identificando mayores molestias en la actividad de levantamiento de la carga de 25 kg desde el suelo.

La ejecución de las tareas muestra sucesivos ajustes posturales y adaptaciones de movimiento realizados por los individuos; a este propósito, es necesario tomar en cuenta, para el análisis de los resultados, los grupos musculares que se están movilizando, ya que, cuantos



Figura 8. Adaptaciones posturales a la manipulación de cargas

más grupos musculares intervengan con la misma intensidad, mayores necesidades energéticas tendrá el organismo y mayor demanda de gasto cardiovascular se identificará.

## *Discusión*

### *Pertinencia del método*

Desde el punto de vista teórico, se considera que existe una relación lineal entre la frecuencia cardíaca y el gasto energético (19), sin embargo, se identifica una variación interindividual en el origen y pendiente de estas variables (20). De hecho, factores como la edad, género, peso, condición física y grado de experiencia en la ejecución de una tarea pueden tener efectos de modulación de los resultados registrados (21), además de la influencia de aspectos como el estrés y el estado emocional. No obstante, se ha encontrado que los valores de frecuencia del pulso son fiables cuando se ejecutan actividades de media y alta intensidad de manera continua. De igual forma, se ha hallado que este método no es adaptado para registrar el efecto de variación de la frecuencia cardíaca en la realización de tareas esporádicas, es decir, tareas que se efectúan de manera discontinua y como resultado de una exigencia eventual en la estructura de un trabajo. De otro lado, se ha observado una correlación de fiabilidad de moderada a alta entre el registro de la frecuencia del pulso y la frecuencia cardíaca utilizando métodos de registro electrocardiográficos.

Efectivamente, el uso de métodos de registro no invasivos indican que en condiciones normales la onda de presión arterial registrada por la frecuencia del pulso se corresponde bien a la que se registra usando ECG.

De esta manera, el registro de la frecuencia del pulso en tareas de intensidad elevada permite comprender, en primer lugar, la tasa de incremento de la frecuencia desde los valores

de reposo; también, permite identificar cómo se llega a la fase de mantenimiento o estabilización del sistema, en la cual la frecuencia del pulso se estabiliza dependiendo de la intensidad del trabajo; y, finalmente, permite identificar las tasas de recuperación de los individuos luego de que la actividad se detiene, lo cual es importante en el diseño e implementación de programas de prevención y en el diseño de tareas de alta intensidad.

Tomando en cuenta que esta es una técnica no invasiva que requiere un método de registro objetivo y preciso, se encuentra que la frecuencia del pulso representa un método de monitoreo prometedor para el análisis de la carga acumulada de trabajo y para comprender la influencia de los ajustes posturales en la manifestación y gestión de la fatiga. A este propósito, es importante comprender que los métodos de evaluación de la carga de trabajo al manipular pesos están centrados bien sea en el cálculo del peso máximo que se va a manipular o en establecer los límites biomecánicos individuales con el fin de determinar las trayectorias deseables y los gestos admisibles de manipulación (22-24).

De otro lado, en el medio industrial y de prevención, se observa un uso desmedido de listas de verificación, que centran su estimación en observaciones y juicios de experto, lo que conduce a errores de sobreestimación o subestimación; el cálculo de índices que se ha obtenido sin considerar los aspectos específicos de las tareas induce a errores que se manifiestan en accidentes y enfermedades laborales. Por ello, si el estudio del efecto de acumulación de peso manipulado a lo largo de una jornada no se realiza correctamente, significará que persisten dificultades para estimar los tiempos de recuperación y la duración de los ciclos de tareas en función de su intensidad.

El monitoreo de la frecuencia del pulso correlacionado a las transiciones posturales, así



como a las adaptaciones realizadas por los individuos, parece una vía válida para determinar estos valores y para identificar trabajadores expuestos a problemas de salud asociados a la manipulación intensa de pesos o a tareas exigentes desde el punto de vista físico; adicionalmente, permite construir bases de datos que permitan comprender mejor cómo se adaptan los individuos a estas exigencias. Este monitoreo ofrece una información más cercana y objetiva de la realidad del trabajo que va más allá del simple inventario de posturas o del cálculo de índices aislados de las capacidades efectivas y residuales de los individuos.

#### *Interés y límites del método*

Las empresas hoy en día buscan la eficiencia de producción vía la optimización de recursos, dentro de los que se encuentra la concentración de acciones en tareas cada vez más complejas y exigentes. En el dominio de la manipulación de cargas, varios elementos se combinan: de un lado, los relativos a la gestión del tiempo y a las metas por cumplir en términos de cantidad y calidad; de otro lado, están las formas de contratación y la implicación del trabajador que de ellas se deriva. Por este motivo, las organizaciones se han interrogado sobre los medios más efectivos y prácticos para determinar la carga de trabajo, lo cual incluye la estabilización de los períodos de trabajo, de los períodos de recuperación, así como de las técnicas de rotación o movilidad intra e interproceso de los trabajadores.

Por esta razón, el estudio de la carga de trabajo debe ser abordado integralmente; el uso de la técnica de monitoreo y registro de la frecuencia del pulso, acompañada del análisis de las transiciones posturales, así como del registro de la carga acumulada, son los medios idóneos para determinar los máximos y mínimos en el cálculo de la carga de trabajo. De igual manera, permite determinar los períodos de recupera-

ción en función de las particularidades de los individuos, lo cual es un valor esencial en el control del estado de salud y en la prevención de lesiones.

La influencia de estrategias de autorregulación y el empleo de movimientos de compensación ayudan en la gestión individual de la carga de trabajo al manipular cargas y pesos. Por ello, deben ser considerados adicionalmente, ya que el registro de la frecuencia del pulso puede sufrir modificaciones derivadas de estos procesos de adaptación individual, por ejemplo, la talla puede influir en la técnica de elevación y descarga, modificando el plano de sustentación y provocando la participación de un mayor número de grupos musculares, lo cual puede incrementar el gasto de energía y, por ende, la frecuencia del pulso.

Adicionalmente, es necesario considerar los problemas de sobreestimación de las capacidades de los trabajadores; en algunas ocasiones, se presentan dificultades para identificar la relación entre capacidades reales y estimadas, lo que ocasiona sobreesfuerzo o sobreexposición.

#### *Desarrollos futuros*

El monitoreo de la frecuencia del pulso requiere el desarrollo de tecnologías de registro en tiempo real y de algoritmos de análisis que permitan establecer las correlaciones de la acción realizada y la frecuencia del pulso; así mismo, posibilitará el desarrollo de métodos de predicción basados en series de registros de este indicador en población de trabajadores expuestos a trabajos intensivos de manipulación de cargas.

#### *Agradecimientos*

Este trabajo fue desarrollado gracias a la participación y aportes de los estudiantes de la Especialización en Higiene y Seguridad Industrial de la Universidad Autónoma de Occidente (Colombia).

## Referencias

1. Shimaoka M, Hiruta S, Ono Y, Nonaka H, Hjelm EW, Hagberg M. A comparative study of physical work load in Japanese and Swedish nursery school teachers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998;77:10-8.
2. Christensen H, Sjøgaard K, Pilegaard M, Olsen HB. The importance of the work/rest pattern as a risk factor in repetitive monotonous work. *Int J Ind Ergon* 2000;25:367.
3. Monod H, Kapitaniak B. *Ergonomie*. Paris: Masson; 1999. 282 p.
4. Astrand PO, Rodahl K. *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill Book Company; 1986.
5. Rodgers SH. *Ergonomics design for people at work*. Volume 2. New York: Van Nostrand Reinhold; 1986.
6. Mital A, Shell RL. Determination of rest allowances for repetitive physical activities that continue for extended hours. In: Shell DR, editor. *Work measurement. Principles and practices*. Norcross, Georgia: Institute of Industrial Engineers; 1986. p. 133-41.
7. Bedny GZ, Seglin MH. The use of pulse rate to evaluate physical work load in Russian ergonomics. *Am Ind Hyg Assoc* 1997;58(5):375-9.
8. Monod H, Pottier M. Adaptations respiratoires et circulatoires du travail musculaire. In: Scherrer J, et al. *Précis de Physiologie du travail et d'ergonomie*. Paris: Masson; 1981. p. 159-204.
9. Maxfield M, Brouha L. Validity of heart rate as an indicator of cardiac strain. *J Appl Physiol* 1963;18:1099-104.
10. Christensen EH. *Physiological evaluation of work in Nykroppa iron works in methods*. New York: John Wiley & Sons; 1953.
11. Wells J, Balke B, Van Fossan D. Lactic acid accumulation during work. A suggested standardization of work classification. *J Applied Physiology* 1957;10:51-5.
12. Rosenblat V. *Principle of physiological assessment of heavy physical work based on pulse rate, in functions of organism during work process*. Moscow: Economic publishers; 1975.
13. Lau O, Chwang A. Relationship between wrist-pulse characteristics and body conditions. Presented in: *Proc. of the 14th Engineering Mechanics Conf*. 2000.
14. Wang K, Xu L, Zhang D, Shi C. TCPD based pulse monitoring and analyzing. *IEEE ICMLC* 2002;3:1366-70.
15. Treo E, Herrera M, Valentinuzzi M. Algorithm for identifying and separating beats from arterial pulse records. *Biomed Eng Online* 2005;4.
16. Bedny GZ, Seglin MH. The use of pulse rate to evaluate physical work load in Russian. *Ergonomics', Am Ind Hyg Assoc* 1997;58(5):375-9.
17. Malchaire J. *Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail*. *Cah Med Trav* 1988; xxv(4):181-6.
18. Monod H, Kapitaniak B. *Ergonomie*. 2nd ed. Paris: Masson; 2003.
19. Strath SJ, Swartz AM, Bassett DR, O'Brien WL, King GA, et al. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 1993;32(9 Suppl):S465-70.
20. Li R, Deurenberg P, Hautvast JG. A critical evaluation of heart rate monitoring to assess energy expenditure in individuals. *Am J Clin Nutr* 1993;58(5):602-7.
21. Dugas LR, Van der Merwe L, Odendaal H, Noakes TD, Lambert EV. A novel energy expenditure prediction equation for intermittent physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(8):1360-6.
22. Anderson CK, Chaffin DB. A biomechanical evaluation of five lifting techniques. *App Ergon* 1986;17:2-8.
23. Hagan KB, Sorhagen O, Harms-Ringdhal H. Influence of weight and frequency on thigh and lower trunk motion during repetitive lifting employing stoop and squat techniques. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1995;10:122-7.

24. Nemeth G, Ekholm J. A biomechanical analysis of hip compression loading during lifting. *AIIE Transactions* 1985;6:105-13.