

METODOLOGIA GENERAL DE INTERPRETACION DE REGISTROS CONTINUOS DE LA FRECUENCIA CARDIACA EN LOS PUESTOS DE TRABAJO

J. Malchaire* y L.S. Rodriguez Diaz**

* Unité hygiène et physiologie du travail, Université catholique de Louvain

Clos Chapelle-aux-Champs, 30-38, B - 1200 Bruxelles Belgica

Malchaire@hytr.ucl.ac.be www.md.ucl.ac.be/hytr/

** Soloprevent Carrera 20ª # 106 – 53 Bogota D.C. Colombia

RESUMEN

Diferentes aparatos aparecidos recientemente permiten, registrar continuamente las frecuencias cardiacas con gran facilidad. Los sistemas propuestos para el análisis de la frecuencia cardiaca están mas orientados hacia la medicina deportiva y no hacia el ambiente de trabajo.

Este articulo describe, justifica e ilustra una metodología de interpretación de los registros cardiacos para el análisis en valores absolutos y relativos de la carga física global de trabajo. La metodología no tiene como objetivo dar resultados definitivos sobre unas condiciones de trabajo, pero sí, es una herramienta de reflexión para los médicos del trabajo que permite tener en cuenta las características propias del trabajador.

INTRODUCCION

La microinformática esta continuamente cambiando nuestra vida y nuestra forma de trabajar. Esto se verifica también en la medicina del trabajo, en la seguridad industrial, en la ergonomía y en la fisiología del trabajo.

Muchas nociones consideradas como adquiridas , actualmente son cuestionadas desde que tenemos a disposición medios de investigación simples, fiables y poco costosos.

Tal es el caso en la fisiología del trabajo, donde progresivamente aparecen en el mercado mini aparatos que permiten realizar ECG y registrar la FC en los puestos de trabajo.

Estos aparatos han sido utilizados especialmente por los deportistas (ciclistas, atletas. . .), pero su uso en la medicina de trabajo y la ergonomía están siendo cada día más utilizados.

Queda el problema de la correcta interpretación de los resultados.

Los sistemas de interpretación que acompañan estos aparatos permiten el análisis de los resultados desde el punto de vista de la medicina deportiva y requieren por lo tanto ser adaptados a la medicina del trabajo. Ellos generan la gráfica de FC en

función de tiempo y del periodo en el que se sobrepasa el 70, 90 o 100% de la FC máxima.

Estos valores de referencia son muy arbitrarios y no conciernen la medicina del trabajo, en donde el interés es el costo cardiaco mayor de 20, 33 y 50% de la frecuencia cardiaca máxima.

A partir de estudios realizadas en varias empresas una metodología general de interpretación de los registros continuos de FC fue desarrollada (Malchaire y col. 1986; Rogowsky y col. , 1981; Rogowsky y Malchaire, 1986).

El presente articulo presenta el procedimiento de esta metodología y lo ilustra a partir del caso de un trabajador en un puesto de ensamblaje en una industria automotriz.

ESQUEMA GENERAL DE ANALISIS

Antes de iniciar el registro cardiaco, la secuencia de trabajo observada debe ser analizada durante todo el periodo de trabajo o en un periodo de tiempo representativo, de manera a determinar la carga de trabajo absoluta y relativa.

Para hacerse es necesario que sea estimado el costo cardiaco observado y el metabolismo medio exigido en el puesto de trabajo (valor absoluto) y que este último sea analizado en función de las capacidades físicas del trabajador (capacidad máxima del trabajo).

El procedimiento de interpretación comprende diferentes etapas:

1. Estudio analítico del registro de la FC para identificar las fases mas criticas, determinar la naturaleza del trabajo realizado durante estas fases y las prioridades de acciones especificas de mejoramiento. Este tipo de análisis cualitativo, no será estudiado en este articulo.
2. Estudio estadístico del conjunto o de las fracciones del registro de FC, correspondiente a las fases criticas identificadas anteriormente, para determinar la distribución de las FC y del valor medio de FC_m .
3. A partir de las características individuales del trabajador observado, determinar los parámetros de interpretación:

- Costo cardiaco absoluto: $CCA = FC_m - FC_o$ (1)

donde FC_o es la frecuencia cardiaca de descanso;

- Costo cardiaco relativo: $CCR = CCA / (FC_{max} - FC_o)$ (2)

donde FC_{max} es la frecuencia cardiaca máxima del trabajador.

- Porcentaje de tiempo durante cual un CCR de 33% fue sobrepasado;

- Metabolismo equivalente (M_{eq}), es decir, metabolismo que después de una prueba de calibración sobre una bicicleta ergométrica. Podría dar lugar a la FC_m . Esta etapa necesita el conocimiento de la relación entre la FC y M después de esta prueba.

- Porcentaje medio de utilización de la capacidad máxima de trabajo (CMT):

$$p = 100 M_{eq} / M_{max} \quad (3)$$

- Dosis de exposición: $D = 100 d / d_L$ (4)
 donde d es la duración de la fase de trabajo considerada
 y d_L es la duración límite de trabajo correspondiente al porcentaje
 de utilización p .

CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJADOR EN ESTUDIO

Antes de proceder al análisis global absoluto o relativo del registro de FC, debemos antes estimar o conocer las características FC_o , FC_{max} , CMT y la relación (FC - M) propias al trabajador estudiado.

Raras son las situaciones donde será posible someter al trabajador a una prueba de esfuerzo máxima, o incluso a un test donde el esfuerzo es inferior al máximo. En la mayoría de las veces solo debemos contentarnos con una estimación a partir de la edad y del peso del trabajador.

Estimación a partir de la edad y el peso

El cálculo de la relación lineal ligando FC y M necesita el conocimiento de 2 puntos de la curva derecha, a saber, el estado de descanso (FC_o , M_o) y el estado máximo (FC_{max} , CMT).

La FC de descanso FC_o es en definitiva imposible a determinar de manera precisa. (Gaudemaris y col., 1982). A los valores obtenidos después de los exámenes médicos, podemos preferir el valor fijo medio de 70 latidos por minuto (lpm) o mejor, un valor deducido del registro de FC a interpretar, se trata de la FC que sobrepasa el 99% del tiempo de registro (FC_{99}) (Malchaire y col., 1986) por tanto que, que durante este periodo (idealmente la jornada de trabajo de 8 horas), el trabajador haya tenido periodos de descanso suficientes. Es responsabilidad de la persona que hace la interpretación de determinar, la pertinencia de este valor después de ver el registro (FC - tiempo) y conociendo el trabajo realizado.

El metabolismo de descanso sentado (M_o) puede ser estimado a 105 Watts (91 kcal/h) para hombres y a 95 Watts (82 kcal/h) para mujeres (Spitzer y col., 1982).

Otra vez se trata de valores medios que el analista debe eventualmente adaptar en función de las características del trabajador en estudio.

La FC máxima FC_{max} puede ser estimada, tanto para hombres como para mujeres por la relación propuesta por Chaffin (1986) en función de la edad (A en años):

$$FC_{max} = 205,5 - 0,62 A \text{ lpm} \quad (5)$$

Esta expresión da resultados más precisos que la relación generalmente mas conocida (220 - A).

La capacidad máxima de trabajo CMT, en Watts, puede ser estimada en función de la edad y del peso (sin grasa) del trabajador. La medida del peso sin grasa es poco común, el analista tiene que optar por un valor, comparando el peso real del trabajador con su peso ideal (P_{id}) considerando la estatura (T,cm) y el peso medio (P_m , Kg) de la población con la misma edad y misma estatura. El peso « ideal » puede ser estimado (hombres y mujeres) por la expresión utilizada clásicamente por los nutricionistas:

$$P_{id} = (3 \cdot T - 250) / 4 \text{ kg} \quad (6)$$

El peso medio P_m puede ser evaluado a partir de tablas antropométricas de la población a la cual pertenece el trabajador en estudio. Para trabajadores Europeos, las relaciones siguientes pueden ser utilizadas:

- Hombres: $P_m = 0,75 T + 0,31 A - 65,5 \text{ kg} \quad (7)$

- Mujeres: $P_m = 0,64 T + 0,31 A - 54,8 \text{ kg} \quad (8)$

Una vez el peso (sin grasa) P (kg) apreciado, CMT puede ser estimado por las relaciones siguientes, establecidas para una población de trabajadores de una industria siderúrgica y de mujeres que trabajan en un hospital (enfermeras, secretarias, . . .) (Gillet, 1984).

- Hombres $CMT = (75 - 0,40A) \cdot P^{2/3} \text{ watts} \quad (9)$

- Mujeres $CMT = (56 - 0,35A) \cdot P^{2/3} \text{ watts} \quad (10)$

El consumo máximo de oxígeno (VO_{2max} L/ min) correspondiente puede ser calculado por:

$$VO_{2max} = CMT / 350 \text{ l/min} \quad (11)$$

Admitiendo como igual a 350 W (304 kcal/h) el equivalente energético de la combustión interna de un litro de oxígeno por minuto.

A partir de los parámetros FC_o , M_o , FC_{max} , CMT también estimados, uniendo la relación FC y M puede ser calculada por:

$$FC = a M + b \quad (12)$$

donde la inclinación de la derecha se exprese por:

$$a = (FC_{max} - FC_o) / (CMT - M_o)$$

Y la intersección: $b = FC_o - a M_o$

ESTUDIO ESTADISTICO DEL TRAZADO DE FC

El trazado del FC en función del tiempo permite difícilmente apreciar la gama de variación de las FC, la FC media, el porcentaje de tiempo durante el cual la FC excede tal valor, etc. Sin embargo el histograma acumulado, permite responder estos interrogantes.

Los parámetros que caracterizan la mejor distribución son los porcentajes FC_{99} , FC_{90} , FC_{50} , FC_{10} y FC_1 , es decir, los valores de FC que sobrepasan respectivamente 99, 90, 50, 10 y 1% del tiempo.

- Dentro de las condiciones discutidas anteriormente, podemos tomar FC_{99} como la frecuencia cardiaca de descanso (en el trabajo), el día del registro.
- FC_1 da a la inversa una indicación más sistemática que cualquier otro valor individual y fortuito, del máximo de FC alcanzada durante el trabajo. Entonces, ($FC_1 - FC_{99}$) da la gamma de FC encontradas. (retirando los valores extremos no sistemáticos).

El histograma acumulado permite determinar el porcentaje de tiempo durante el cual son sobrepasados los valores de referencia de FC como 110 o 135, recomendados por algunos autores como criterio de evaluación.

En particular, utilizaremos el porcentaje de tiempo durante el cual la FC excede el valor correspondiente a 33% de utilización de la capacidad máxima de trabajo (CMT).

Estos criterios de apreciación se muestran sin embargo muy limitados, puesto que no indican el valor FC limite sobrepasados, ni cuales han sido las condiciones de trabajo en los otros momentos.

El parámetro de base para la interpretación será la FC media durante el tiempo de registro y/o durante una fase considerada.

INTERPRETACIÓN

Cuando la relación (FC - M) para el trabajador en estudio esta establecida, la interpretación puede ser realizada como indique anteriormente, calculando sucesivamente los costos cardiacos medios absoluto y relativo, el metabolismo equivalente y el porcentaje medio de utilización de la capacidad máxima de trabajo. De acuerdo con los estudios de Lehman (1953), el porcentaje medio de utilización de la CMT compatible con una jornada de trabajo de 8 horas es igual a 33%. Para un trabajador masculino "normal", este limite corresponde a 33% de 1050 watts (3 litros O_2 / min), es decir 350 watts (304 kcal/h).

Utilizando este limite y tomando en consideración el hecho que, por una parte, un esfuerzo correspondiente a la CMT no puede ser soportado de manera continua, y no más de 5 minutos y por otra parte, el consumo calórico diaria media es de aproximadamente 4400 kcal, Bink (1962) propuso una relación que permite estimar el tiempo de trabajo continuo compatible a un metabolismo determinado.

Convirtiendo en valores relativos de metabolismo, esta relación se presenta de la siguiente manera:

$$d_L = 5700 / 10^{0,031p\%} \text{ min} \quad (13)$$

Donde p es el porcentaje de utilización de la CMT.

Tabla 1: Tiempo limite de trabajo continuo compatible a un porcentaje de utilización de la CMT

P%	100	90	80	70	60	50	40	33	30	20
d _L min	5	10	20	40	80	160	320	480	640	1440

Las ordenes de magnitud del tiempo limite pueden ser fácilmente estimadas sabiendo que este tiempo dobla por cada reducción de 10% del porcentaje de CMT, como la tabla 1 lo muestra.

Así, los tiempos limites correspondientes a 50, 40 y 30% de la CMT son respectivamente 160, 320 y 640 minutos.

Comparando el tiempo real de trabajo (d) y el tiempo limite, la dosis de exposición permite estimar de manera mas concreta el grado de aceptabilidad en valor relativo del trabajo.

El objeto es tratar de establecer de manera a calificar de ligero, medio, pesado, muy pesado la carga de trabajo.

La siguiente tabla da el orden de magnitud del metabolismo correspondiente a estas calificaciones, en valores absolutos (Watts) y en valores relativos (% CMT).

Tabla 2: Valores de metabolismo correspondientes a las calificaciones *ligero, medio, pesado y muy pesado* (en absoluto (watts) y en relativo (% CMT))

Carga de trabajo media en 8 horas	Metabolismo en valor absoluto en watts	Metabolismo en valor relativo en % de la CMT	Metabolismo en valor relativo en % de la CMT (simplificado)
Descanso	$M_0=100$	M_0	M_0
Leve	170	$M_0 + 0.08*(CMT - M_0)$	$0.2*CMT$
Media	290	$M_0 + 0.21*(CMT - M_0)$	$0.3*CMT$
Pesada	410	$M_0 + 0.34*(CMT - M_0)$	$0.4*CMT$
Multo pesada	530	$M_0 + 0.45*(CMT - M_0)$	$0.5*CMT$

En valores relativos y de manera genérica, estos valores corresponden aproximadamente al 20%, 30%, 40% y 50% de la CMT.

DISCUSION

La pertinencia de la interpretación establecida como describí anteriormente es función de la precisión de la relación (FC - M) y de la CMT determinadas desde el comienzo.

Cuando una prueba de esfuerzo es realizada, el analista podría pensar que la relación encontrada es precisa y definitiva. De hecho, a pesar de todas las precauciones, los diferentes puntos encierran errores, de manera que la inclinación y la intersección raramente tienen una precisión mejor al 10%.

La imprecisión es naturalmente mayor cuando la relación está deducida de la edad y del peso.

Sin embargo habiendo realizado una primera interpretación con base en la relación (FC - M) inicial, se podría recalcularse esta relación, utilizando esta vez como frecuencia de descanso una FC_{99} o una otra estimación de origen diferente. Solo la experiencia permitirá afinar progresivamente la interpretación.

EJEMPLO

El ejemplo tomado a continuación ilustra y comenta brevemente un análisis realizado con un trabajador de un puesto de montaje de una industria automotriz.

CARACTERIZACION del TRABAJADOR ANALISADO

El trabajador tiene 40 años, pesa 83 kg y mide 175 cm, no fuma, pero no practica deporte.

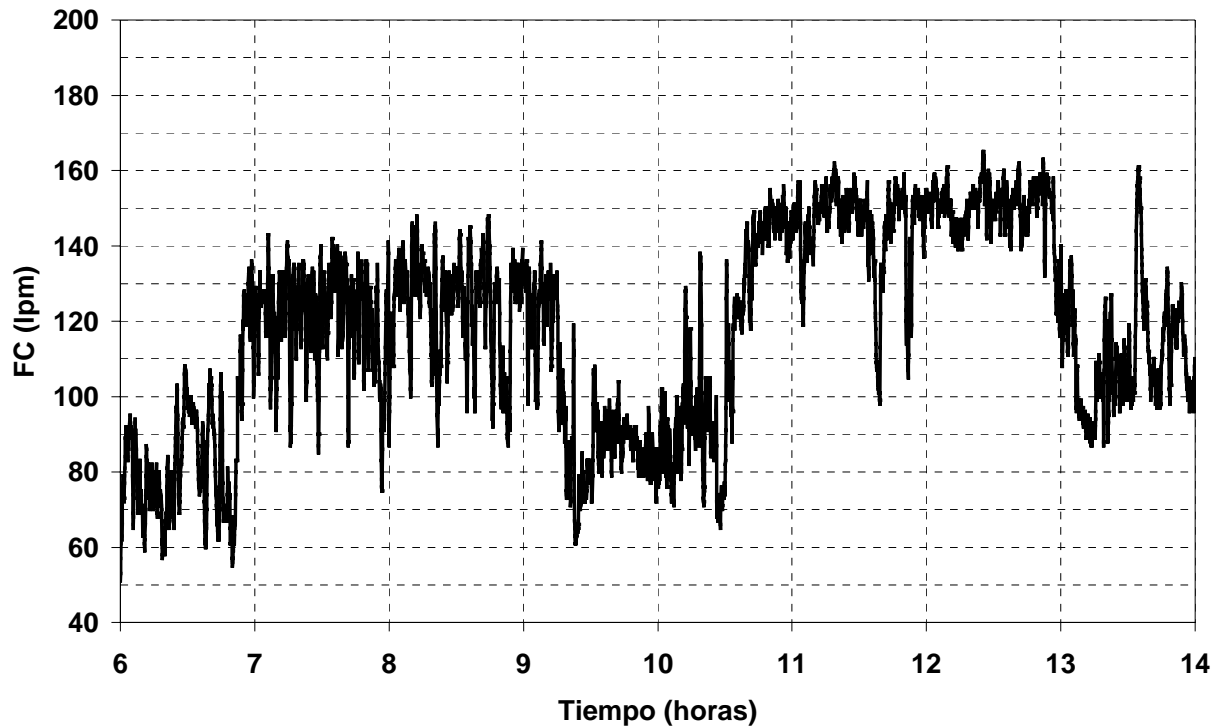
Su peso ideal debería ser 69 kg y su peso normal 78 kg. El exceso ponderado sería de solamente de 5kg. El trabajador no parece tener tejido adiposo particular, de suerte que será tenido en cuenta con un peso de 83 kg será considerado para la predicción de la capacidad máxima de trabajo:

- La frecuencia cardíaca máxima predeterminada es de 181 lpm;
- La capacidad máxima de trabajo deducida de la edad y del peso es igual a 1120 watts (974 kcal/h).
- El metabolismo de descanso es igual a 105 watts (91 kcal/h)
- La FC de descanso sentado es igual a 80 lpm.
- La relación (FC - M) se escribe: $FC = 0,10M + 69,6$ lpm

La figura 1 ilustra la evolución de las FC observadas entre 6h y 14h en el puesto de trabajo.

El análisis cualitativo de este trazado permite identificar las fases de trabajo más críticas, y también de analizar la organización del trabajo (descanso, . . .) adoptada por el trabajador... Esta etapa no será descrita aquí en detalle.

Figura 1 - Perfil de FC (minuto por minuto, lpm) durante el tiempo de trabajo.

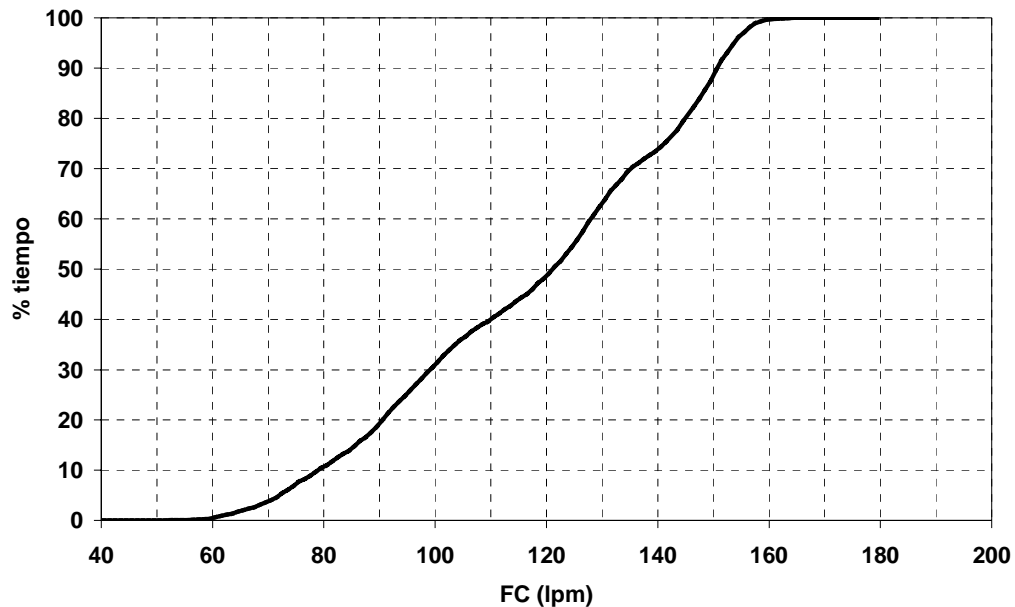


ANALISIS GLOBAL DEL TRAZADO

La figura 2 da el histograma acumulado de FC en el transcurso de las 8 horas de trabajo.

Ella da el porcentaje de tiempo durante el cual un valor cualquiera de FC fue sobrepasado. Se concluye que los valores sobrepasados durante 99%, 90%, 50%, 10% y 1% del tiempo que son respectivamente 63, 79, 121, 151, 156 lpm. Por consiguiente, la FC se sitúa durante 80% del tiempo entre 79 y 151 lpm y durante 98% del tiempo entre 63 y 156, es decir, en una gama de variación de 93 lpm.

Figura 2 - Histograma acumulado de los valores de frecuencia cardiaca en la jornada de trabajo.



La FC media puede ser calculada igual a 112 lpm.

La interpretación global puede ser conducida utilizando la relación (FC - M) definida anteriormente. Sin embargo, a partir del trazado resaltado, el trabajador tiene 20 minutos de descanso que pasa esencialmente sentado y en donde la FC es del orden de 63 lpm. Entonces, podemos adoptar como FC de descanso alternativa el valor sobrepasado durante 99% del tiempo, es decir 63 lpm. La relación (FC - M) recalculada es dada por:

$$FC = 0,116M + 50.8$$

La tabla 1 da los valores de costo cardiaco absoluto (CCA), costo cardiaco relativo (CCR), metabolismo equivalente (M_{eq}), porcentaje de la capacidad máxima de trabajo (p%) y dosis de exposición (D), estimados a partir de las dos frecuencias cardiacas de descanso.

Tabla 1 - Interpretaciones globales de la carga de trabajo realizadas a partir de dos hipótesis de FC de descanso.

		FCo = 80	FCo = 63
CCA lpm		32	49
CCR lpm		31,7	41,5
M_{eq}	watts	425	525
	kcal/h	370	455
p%		38	47
D %		126	240

Los resultados en el caso presente son relativamente distintos. Si se interpreta el metabolismo equivalente como representante del gasto energético medio en el puesto de trabajo, es necesario concluir que la carga de trabajo media puede ser calificada de pesada a muy pesada y es nunca compatible con un tiempo de trabajo de 8 horas para este trabajador de este caso, en su forma física actual.

BIBLIOGRAFIA

BINK B. , The physiological working capacity in relation to working time and age. Ergonomics, 1962, 5, 25-28.

CHAFFIN D. B. , The prediction of physical fatigue during manual labor. Journal Methods Time Measurement, 1966, XI-5, 25-32.

GAUDEMARIS R. , MALLIAN J. M. , VILLEMMAIN P. , DAVERS H. , PERDRIX A. , DIMITRIOU R. , Etude de la charge de travail cardiaque par procédé Holter. Apport de la microinformatique dans l'évaluation de la fréquence de repos et le calcul des indices de charge de travail. Communication. Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française, 1982

GILLET Y. , Fréquence cardiaque et consommation d'oxygène au cours d'épreuves d'effort. Populations masculine et féminine. Observations et prédictions. Mémoire de Licence en Médecine du Travail. Bruxelles, Université catholique de Louvain, 1984.

LEHMAN G. , Praktische Arbeitsphysiologie. Stuttgart, 1953.

MALCHAIRE J. , MAIRIAUX Ph. , Validité de la prédiction de la consommation maximale d'oxygène. Arch. Mal. Prof. , 1985, 46, 6, 379-384.

MALCHAIRE J. , ROGOWSKY M. , VANDERPUTTEN M. , WALLEMACQ M. , Evaluation de la contrainte de travail par enregistrement continu de la fréquence cardiaque dans une entreprise d'assemblage automobile. Le Travail Humain, 1986, 49, 1, 75-87.

ROGOWSKY M. , VANDERPUTTEN M. , MALCHAIRE J. , Essai d'amélioration des conditions de travail sur une chaîne de montage automobile. Cah. Méd. Interprofessionnelle, 1981, 81, 18-35.

ROGOWSKY M. , MALCHAIRE J. , Etude qualitative et quantitative de la charge de travail par enregistrement continu de la fréquence cardiaque. Revue des Conditions de Travail, 1986, 22, mars/avril, 7-10.

SPITZER H. , HETTINGER T. , KAMINSKY G. , Tafeln für den Energieumsatz bei Körperlicher Arbeit. 6. Vollständig überarbeitete Auflage. Beuth Verlag GmbH, Berlin-Köln, 1982.