

# **Metodologia geral de interpretação de monitoramento contínuo da frequência cardíaca nos postos de trabalho**

J. Malchaire

Unité hygiène et physiologie du travail

Université catholique de Louvain

Clos Chapelle-aux-Champs, 30-38

B - 1200 Bruxelles

## **RESUMO**

Nos últimos anos apareceram no mercado diversos tipos de instrumentos que permitem registrar com facilidade as frequências cardíacas. No entanto os sistemas de análise dos traçados propostos, continuam rudimentares.

Este artigo descreve, justifica e ilustra uma metodologia de interpretação destes traçados para avaliação em valores absolutos e relativos da carga de trabalho global nos postos de trabalho.

Esta metodologia não tem como objetivo servir de receita para obtenção de conclusões definitivas, mas de propiciar aos médicos do trabalho um instrumento de reflexão permitindo-lhes levar em consideração principalmente as características próprias de cada pessoa.

## **INTRODUÇÃO**

Atualmente fala-se muito da influência inexorável e progressiva da tecnologia e em particular da microinformática em nossa vida e principalmente no trabalho. Tal fato se dá igualmente na medicina do trabalho, na engenharia de segurança, na ergonomia, na fisiologia do trabalho.

Muitas noções consideradas como adquiridas podem ser questionadas no momento que meios de investigação simples, confiáveis e baratos são colocados à nossa disposição.

Este é o caso da fisiologia do trabalho, onde observou-se gradativamente o aparecimento de miniprocessadores permitindo primeiramente o monitoramento de ECG e em seguida a FC nos postos de trabalho.

Uma discontinuidade suficientemente notável que pode ser claramente citada, foi criada quando do aparecimento de aparelhos simples e baratos, que permitem o monitoramento da FC por meio de um cinto torácico (emissor) e de um receptor colocado no punho.

Tais equipamentos são utilizados em grande escala por desportistas (ciclistas, corredores, ...). Seu uso em estudos de medicina do trabalho e ergonomia tem sido cada vez mais predominante.

Resta no entanto a interpretação correta dos resultados. Os sistemas operacionais que acompanham tais equipamentos permitem somente a obtenção do gráfico de FC em função do tempo e eventualmente dos períodos durante os quais a mesma (FC) ultrapassa 70, 85 e 100% da FC máxima.

Estas marcas de referência são bastante arbitrárias e não concernem a medicina do trabalho, onde o interesse está na determinação de limites tais como 20, 33 e 50% do custo cardíaco relativo.

A partir de experiências adquiridas em estudos no chão de fábrica, uma metodologia geral de interpretação do monitoramento contínuo de FC foi desenvolvida (Malchaire e col. 1986; Rogowsky e col., 1981; Rogowsky e Malchaire, 1986) e adaptada para a utilização em microcomputadores.

O presente documento visa a apresentação da sistemática desta metodologia e ilustra o caso de um trabalhador de um posto de trabalho de uma linha de montagem em uma indústria de automóveis.

## DIAGRAMA GERAL DA ANÁLISE

A sequência de trabalho observada deve ser analisada durante todo o período de trabalho ou uma fração significativa deste, de maneira à determinar a carga de trabalho absoluta e relativa da pessoa em estudo.

Para tanto é necessário que à partir do custo cardíaco observado, o metabolismo médio exigido neste posto de trabalho (valor absoluto) seja estimado e que o último (valor relativo) seja apreciado de acordo com as possibilidades (capacidade máxima de trabalho) da pessoa.

O procedimento de interpretação compreende diferentes etapas:

1. estudo analítico do traçado da FC de maneira a precisar as fases mais críticas, determinar a natureza do trabalho efetuado durante estas fases e as prioridades de ação pontuais de melhoria. Este tipo de análise qualitativa, específica ao caso em estudo, não será detalhada aqui.
2. estudo estatístico do conjunto do traçado de FC ou de frações deste, correspondente às fases definidas acima, de maneira à determinar a distribuição da FC e do valor médio da FC.
3. à partir das características individuais do trabalhador observado, determinação dos parâmetros de interpretação:

- custo cardíaco absoluto:  $CCA = FC_m - FC_o$  (1)  
onde  $FC_o$  é a frequência cardíaca de repouso;
- custo cardíaco relativo:  $CCR = CCA / (FC_{m\acute{a}x} - FC_o)$  (2)  
onde  $FC_{m\acute{a}x}$  é a frequência cardíaca máxima da pessoa em estudo;
- porcentagem de tempo durante o qual um CCR de 33% foi ultrapassado;
- metabolismo equivalente ( $M_{eq}$ ), ou seja, o metabolismo obtido por meio de uma prova de esforço em bicicleta ergométrica, onde se registrou a  $FC_m$ . Esta etapa necessita do conhecimento da relação entre a FC e o Metabolismo obtidos quando da realização da prova de esforço.
- porcentagem média de utilização da capacidade máxima de trabalho ( $M_{m\acute{a}x}$ ):  
 $p = 100 M_{eq} / M_{m\acute{a}x}$  (3);
- dose de exposição:  $D = 100 d / dL$  (4)  
onde  $d$  é a duração da fase de trabalho considerada  
e  $dL$  é o tempo limite de trabalho correspondente à porcentagem de utilização  $p$ .

## CARACTERÍSTICAS DA PESSOA EM ESTUDO

Antes de proceder a análise global absoluta ou relativa do monitoramento da FC, deve-se conhecer ou estimar as características  $FC_o$ ,  $FC_{m\acute{a}x}$ ,  $M_{m\acute{a}x}$  e a relação (FC - M) próprias à pessoa que está sendo analisada.

Raras são as situações onde é possível submeter o trabalhador à uma prova de esforço máximo, pode-se então se contentar com um teste onde o esforço seja inferior ao máximo e de maneira ainda mais fácil, de uma estimativa à partir da idade e do peso da pessoa.

O cálculo da relação linear entre FC e M necessita do conhecimento de 2 pontos desta reta, à saber, o estado de repouso ( $FC_o$ ,  $M_o$ ) e o estado máximo ( $FC_{m\acute{a}x}$ ,  $M_{m\acute{a}x}$ ).

A FC de repouso  $FC_o$  é em definitivo impossível à definir de maneira precisa. (Gaudermaris e col.,1982). Aos valores levantados em exames médicos, pode-se escolher o valor fixo de 70 bpm ou melhor ainda de, um valor retirado do monitoramento da FC à ser interpretada, trata-se da  $FC_{99}$  que foi ultrapassada durante 99% do tempo de monitoramento  $FC_{99}$  (Malchaire e col, 1986) desde que, durante este período (idealmente uma jornada de trabalho de 8 horas), a pessoa disponha de períodos de repouso suficientes.

É de responsabilidade da pessoa que efetua a interpretação determinar, à vista do traçado (FC - tempo) e conhecendo o trabalho realizado, a pertinência deste valor.

O metabolismo de repouso sentado, pode ser estimado à 105 W (91 kcal/h) para homens e à 95 W (82 kcal/h) para mulheres (Spitzer e col, 1982). Trata-se ainda de valores médios que o analista deve eventualmente adaptar em função das características da pessoa em estudo.

A FC máxima pode ser estimada tanto para homens como para mulheres (Gillet, 1984) pela relação proposta por Chaffin (1986) em função da idade (A em anos) da pessoa:

$$FC_{m\acute{a}x} = 205,5 - 0,62 A \text{ bpm (5)}$$

Esta expressão fornece resultados mais precisos que a relação geralmente mais conhecida ( $220 - A$ ).

A capacidade máxima de trabalho ( $M_{m\acute{a}x}$ , Watts) pode ser estimada em função da idade e do peso magro da pessoa. Sendo pouco comum a medição deste peso magro, o analista deve optar por um valor obtido através da comparação do peso real da pessoa com o seu peso ideal ( $P_i$ ) considerando-se a altura e o peso médio ( $P_m$ ) da população com a mesma idade e mesma altura. O peso « ideal » pode ser estimado (homens e mulheres) pela expressão utilizada classicamente pelos nutricionistas:

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

onde T é a altura em cm;

O peso médio  $P_m$  deve ser avaliado à partir de tabelas antropométricas da população à qual pertence a pessoa em estudo. Para trabalhadores belgas, as relações seguintes podem ser utilizadas:

- homens:  $P_m = 0,75 T + 0,31 A - 65,5 \text{ kg (7)}$
- mulheres:  $P_m = 0,64 T + 0,31 A - 54,8 \text{ kg (8)}$

Uma vez o peso magro P (kg) apreciado,  $M_{m\acute{a}x}$  pode ser estimado pelas relações seguintes, estabelecidas em uma população de trabalhadores de uma indústria siderúrgica e de mulheres que trabalham em um hospital (enfermeiras, secretárias,...) (Gillet, 1984).

- homens  $M_{m\acute{a}x} = (75 - 0,4A) \cdot P^{2/3} \text{ watts (9)}$
- mulheres  $M_{m\acute{a}x} = (56 - 0,35A) \cdot P^{2/3} \text{ watts (10)}$

O consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx}$  L/ min) correspondente pode ser calculado por:

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

Admitindo-se como igual a 350 W (304 kcal/h) o equivalente energético da combustão interna de um litro de oxigênio por minuto.

A partir dos parâmetros  $FC_o$ ,  $M_o$ ,  $FC_{máx}$ ,  $M_{máx}$ , desta forma estimados, a relação teórica ligando FC e M pode ser calculada por:

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

onde, a inclinação da reta, se exprime por:

$$a = (FC_{máx} - FC_o) / (M_{máx} - M_o)$$

$$eb = FC_o - a M_o \quad (b, \text{intersecção})$$

## ESTUDO ESTATÍSTICO DO TRAÇADO DA FC

O traçado da FC em função do tempo permite dificilmente apreciar a gama de variação da FC, a FC média, a percentagem de tempo durante o qual FC alcança tal valor, etc.

O histograma acumulado, ao contrário, permite responder à estas interrogações.

Os parâmetros que caracterizam a priori melhor esta distribuição são os percentuais  $FC_{99}$ ,  $FC_{90}$ ,  $FC_{50}$ ,  $FC_{10}$  e  $FC_1$ , ou seja, os valores de FC ultrapassados durante respectivamente 99, 90, 50, 10 e 1% do tempo. Dentro das condições discutidas anteriormente.

Pode-se adotar  $FC_{99}$  como sendo a frequência cardíaca de repouso « no trabalho » do trabalhador, no dia do monitoramento.

A  $FC_1$  fornece uma indicação mais sistemática que qualquer outro valor de FC individual e fortuito, do máximo de FC obtido no trabalho.

A ( $FC_1 - FC_{99}$ ) fornece portanto, a gama de FC encontradas, exceção feita aos extremos não sistemáticos.

O histograma acumulado permite determinar a percentagem de tempo durante o qual são ultrapassados os valores de referência de FC tais que 110 ou 135, recomendados por alguns como critério de avaliação. Assim como todo valor de custo cardíaco absoluto ou relativo.

Em particular, utilizaremos a percentagem de tempo durante a qual a FC ultrapassada corresponde a 33% da utilização da capacidade máxima de trabalho (CMT).

Tais critérios de apreciação se mostram entretanto incontestavelmente limitados, tendo em vista que eles não retêm nem quanto os limites destas FC são ultrapassados, nem quais foram as condições nos outros momentos.

O parâmetro de base de interpretação sera a FC média durante o tempo de registro e/ou durante a fase levada em consideração.

## INTERPRETAÇÃO

Tendo sido estabelecida a relação (FC - M) para a pessoa em estudo, a interpretação podera se efetuar como indicado anteriormente calculando-se sucessivamente os custos cardíacos médios absolutos e relativos, o metabolismo equivalente e a percentagem média de utilização da capacidade máxima de trabalho.

De acordo com os estudos de Lehman (1953), sabe-se que a percentagem média de utilização da CMT compatível com uma jornada de 8 horas de trabalho é de 33%, sob pena da pessoa desenvolver um esgotamento progressivo.

Para uma pessoa padrão (normal) do sexo masculino, este limite corresponde à 33% de 1050 watts ( 3 L  $O_2$ / min) ou seja 350 watts (304 kcal/h).

Utilizando este limite e levando em consideração o fato que, por um lado, um esforço correspondente à CMT poderá ser suportado de maneira contínua no máximo 5 minutos e que por outro lado, a contribuição calórica diária é de aproximadamente 4400 kcal, Bink (1962) propôs uma relação que permite estimar o tempo de trabalho contínuo compatível à um determinado metabolismo.

Convertido em valores relativos de metabolismo, esta relação se apresenta da seguinte maneira:

$$dL = 5700 / 10^{0,131p} \text{ min ( 13 )}$$

onde p é a porcentagem de utilização da CMT.

As ordens de grandeza do tempo limite podem ser facilmente estimadas sabendo-se que este tempo dobra para toda redução de 10% da porcentagem de utilização da capacidade máxima de trabalho CMT.

Assim, os tempos limites correspondentes à 50, 40 e 30% da CMT são respectivamente 160, 320 e 640 minutos.

Comparando-se o tempo real de trabalho (d) e o tempo limite, a dose de exposição permite estimar de maneira mais concreta o grau de aceitação em valor relativo do trabalho.

Usualmente estabeleceu-se qualificar de leve, médio, pesado e muito pesado a carga de trabalho. Classicamente, considera-se que os trabalhos leves, médios e pesados correspondem a metabolismos de 170 watts (148 kcal/h), 290 watts (252 kcal/h), e 440 watts (383 kcal/h), para uma pessoa de sexo masculino « padrão » de CMT igual à 1050 watts (914 kcal/h).

Em valores relativos e de maneira bastante genérica estes valores correspondem à 17%, 24%, 38% da CMT. E portanto em função de tais critérios e com base na porcentagem de utilização da CMT e não no metabolismo em valor absoluto que deve-se avaliar o esforço no trabalho.

## DISCUSSÃO

A pertinência da interpretação estabelecida conforme descrito acima é função da precisão da relação (FC - M) e da CMT determinadas no princípio.

Quando da realização de uma prova de esforço, o analista poderá ser levado à pensar que a relação encontrada é precisa e definitiva. De fato, como sinalizado anteriormente, apesar de todas as precauções, os diferentes pontos obtidos permanecem impregnados de erros, de maneira que inclinação e intersecção raramente apresentam uma precisão melhor que 10%.

O fato de considerar ou não a relação (FC - M), discutíveis à baixos ou altos níveis, poderá favorecer a erros ainda maiores.

De acordo com estudos realizados (Malchaire e Mairiaux, 1985), o erro resultante do valor  $M_{\text{máx}}$  extrapolado pode ser igualmente importante.

A imprecisão é naturalmente ainda maior quando a relação é deduzida da idade e do peso.

O analista deve ficar consciente para o fato que seu papel se reduz à determinar, com o maior cuidado possível, ordens de grandeza.

Não se deve de maneira nenhuma confiar apenas nos números obtidos através de uma calculadora ou computador, sem reflexão, mas sim livre dos aborrecimentos decorrentes do cálculo, estabelecer para cada etapa um julgamento plausível sobre os resultados.

Tendo assim, a priori, realizado uma primeira interpretação com base na relação (FC - M) inicial, pode-se recalculá-la esta relação, utilizando-se desta vez como frequência de

repouso a  $FC_{99}$  ou uma outra estimativa de origem diferente. Somente a experiência permitirá o refinamento progressivo do julgamento.

Este documento visa evitar os erros sistemáticos de base.

## **EXEMPLO**

O exemplo abaixo ilustra e comenta brevemente uma análise realizada com um trabalhador de um posto de montagem de uma indústria de automóvel.

### **CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHADOR ANALISADO**

A pessoa submetida a análise, tem 40 anos, pesa 83 kg e mede 175 cm. Não fuma, mas não pratica esportes.

Seu peso ideal deveria ser de 69 kg ( F6) e seu peso normal de 78 kg (F7). O excesso ponderal é de apenas 5kg. A pessoa não apresenta um tecido adiposo particular, de maneira que será considerado o peso de 83 kg para a predição da capacidade máxima de trabalho.

A frequência máxima observada é de 181 bpm (F5). O metabolismo máximo deduzido na prova de esforço é igual à 1030 watts ( 896 kcal/h): este valor pode ser comparado ao obtido à partir do peso e da idade : 1120 watts (974 kcal/h) (F9).

O metabolismo de repouso é igual à 105 watts (91 kcal/h): correspondendo, segundo a reta de calibração, uma FC de repouso sentado igual à 80 bpm.

A relação (FC - M) se escreve:  $FC = 0,109M + 69,0$  bpm

### **MONITORAMENTO DA FC NO POSTO DE TRABALHO**

A figura 1 fornece a evolução da FC observada entre 6h20 da manhã e 14h20, no posto de trabalho.

A análise qualitativa deste traçado permite identificar as fases de trabalho mais críticas, analisar a organização do trabalho (repouso,..) adotada pelo trabalhador, etc;

Esta etapa não será descrita aqui em detalhes.

### **ANÁLISE GLOBAL DO TRAÇADO**

A figura 2 fornece o histograma acumulado da FC durante as 8 horas de trabalho.

É fornecida a porcentagem de tempo durante o qual um valor qualquer da FC foi ultrapassado. São retidos os valores ultrapassados durante 99%, 90%, 50% (mediana), 10% e 1% do tempo que são respectivamente 85, 93, 105, 114, 118. A FC se situa portanto durante 80% do tempo entre 93 e 114 bpm e durante 98% do tempo entre 85 e 118, ou seja um alcance de 33 bpm.

A FC média pode ser calculada como igual à 104 bpm. A interpretação global pode ser conduzida utilizando-se a relação (FC - M) obtida na prova de esforço.

Entretanto, à partir do traçado encontrado, o trabalhador dispõe de 20 minutos de repouso que ele passa essencialmente sentado e durante este período a FC é de cerca de 85 bpm.

Pode-se então adotar como FC de repouso alternativa a FC ultrapassada durante 99% do tempo, ou seja 85 bpm. A relação (FC - M) recalculada desta forma (F12) é dada por:  $FC = 0,104M + 74,1$

A tabela 1 fornece os valores de CCA: custo cardíaco absoluto (F1), CCR: custo cardíaco relativo (F2), Meq: metabolismo equivalente, p%: porcentagem da capacidade máxima de trabalho e dose de exposição (F4), partindo-se de duas frequências cardíacas de repouso.

Os resultados no presente caso são relativamente pouco diferentes. Se interpretarmos o metabolismo equivalente como representando o gasto energético médio no posto de trabalho, deve-se concluir que a carga de trabalho média, pode ser qualificada de moderada à pesada e se mostra marginalmente compatível com um tempo de trabalho de 8 horas para o trabalhador em questão, em sua forma física atual. Resta analisar de maneira sensata se, em função de outros componentes do ambiente de trabalho, a situação é aceitável.

## 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., VILLEMAIN 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, marts/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.

Tabela 1 - Interpretações globais da carga de trabalho realizadas à partir de duas hipóteses de FC de repouso.

	FCo = 80	FCo = 85
CCA	24	19
CCR	23,7	19,8
M <sub>eq</sub>	321(279 kcal/h)	287(250 kcal/h)
P%	31,2	27,9
D	78	62