講演

心拍数の運動生理

丸山 仁司¹⁾

How to Examine the Heart Rate.

Hitoshi MARUYAMA, RPT, Dr.Med.¹⁾.

1)Department of Physical Therapy, Junior College, Saitama Medical School. 38
Moroyama Iruma-gun 350-04 Japan. TEL 0492-95-1111.

J. Exerc. Physiol. 4(3):133-137, 1989. ISSN 0912-7100 Received June 20, 1989.

Key words: heart rate, time series analysis, difinition, measurement

要旨

理学療法を行なっていく上で最低限度必要な知識として、心拍数の定義、測定法、心拍数を測定する目的、応用、そして、最近の研究動向などについて述べた。最近の心拍数を用いた研究は時系列解析をした研究が多くなっている。この時系列解析の仕方についても若干述べた。今後、研究する上でなんらかの参考になればと思う。

キーワード: 心拍数 時系列解析 定義 測定法

埼玉医科大学短期大学 理学療法学科 埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 (〒350-04)
TEL 0492-95-1111

運動生理 4(3):133-137, 1989.

受付日 1989年6月20日

心拍数の定義

心拍数 (heart rate, cardiac frequency: H R) とは 1 分間当りの心拍動数 (heart beats)、すなわち心臓の電氣的活動の頻度

をいう。広義では心臓が単位時間に行う拍動数をいう。同様に脈拍数 (pulse) とは単位時間に血管壁の振動を触診して計数した数である。正常な場合では心拍数と脈拍数とは一致するが、不整脈などの出現により異なるこ

とがある。

心拍数を分析する上で多く用いられている言葉を表1に示す。

心拍数の測定方法

HRを測定する場合以下の2通りの方法がある。

- 1) 一定時間拍動数計数法
- 2) 一定拍動数時間測定法

一定時間拍動数計数法は臨床的に最も多く用いられており、10秒、または15秒間の心拍動数を計数する方法である。測定した値から1分間に変換する方法であるがこの場合測定時間が短い程、誤差が生じ易くなる。例えば10秒測定では6倍するため、1分当り6拍の量子化誤差が生じる。一定拍動数時間測定法は主に心電図波形より3個のR-R間隔より求める心拍スケールなどがある。また、30拍に要した時間を測定し、1分間の値に変換する方法である。この場合は量子化誤差はなく、測定精度がよくなる。しかし、R-R間隔は定常状態でも一定にはならず、常に変動しているため、測定したR-R間隔の個数により誤差が生じる。図1はR-R間隔の測定個数による心拍数の変化を示す。安静時の場合であるが約4-5拍の平均で求める方法がよいことがわかる。

その測定する手段としては

(1) 心筋の活動電位より求める方法

これは代表的なものとして心電図がある。心電図のR波の数およびR-R間隔を測定することにより求まる。現在ではコンピュータが内蔵されて、自動的に心拍数を測定し、表示する。また、連続したR-R間隔の測定も心電図とパーソナルコンピュータにより容易に測定が可能である。他に、心臓から出る磁界を測定する心磁図がある。心電図と異なる

ところは非接触型の計測である。波形として

表1 心拍数および心拍変動に関する用語
分析方法別に

1) 非時系列分析

心拍数: HR (beats/min)

安静時心拍数: HRrest { 徐脈 (HR<60)

頻脈 (HR>100) }

運動時心拍数 (HRex)

$\Delta HR (= HRex - HRrest)$

$\%HR (= HRex / HRrest \times 100)$

最大心拍数: HRmax

$\%HRmax (= HRex / HRmax \times 100)$

心拍余裕HRR (heart rate reserve,

heart rate range = HRmax - HRrest)

$\%HRR (= \Delta HR / HRR \times 100)$

歩行の効率

PCI (physiological cost index =

$\Delta HR / \text{歩行速度 (m/min)}$)

全身性持久力

PWC_{170, 150, 130} (physical work

capacity) HRが170拍/分時の仕事量

老人では150, 130拍/分をもちいる。

自律神経機能障害の評価

CV_{R-R} (coefficient of variation) (%)

$= sd / \text{mean} \times 100$)

100個のR-R間隔のmean, sdより

2) 時系列分析

定常性の評価

TP法 (turning point method)

DS法 (difference sign method)

RA法 (rank method)

波形分析

相互相関 ()

FFT (fast fourier transform)

AR法 (auto regressive method)

MEM (maximum entropy method)

図1 R-R間隔の数と心拍数の関係

心電図との互換性などの研究が行われている。

(2) 血流の変化より求める方法

この方法は触診法、ドプラー法、脈波（光電、容積脈波）、インピーダンス法などにより血流の変化より求める方法である。耳たぶまたは指先に付けた光電脈波の変化より検出する方法がさかんになっているが、光電信号はHRが160拍/分以上になると測定が不可能な場合が生じる。

(3) 心臓の動きより求める方法

これには心音図、心エコーによる心臓の動きを測定するものでこれより心拍数を求めることも可能であるが、心拍数を求めるために用いる装置ではない。また、心臓の動きを非接触型測定として胸壁に電波（マイクロ波）を照射し、その反射波から胸壁の動きの影響で生じたドプラー効果より求める方法がある。これは新生児の監視などにも応用されつつある。

心拍数を測定する目的と応用

心拍数を測定する目的としては

1) 一般状態のチェック（不整脈の監視）

vital signの1つとして測定が行なわれる。一般的には朝、昼、夜などに看護婦が体温などと同時に測定し、記録している。また、ICU、CCUなどに入っている重症な患者ではECGモニターで常に監視が行なわれており、一定の心拍数以上になれば警報になる装置などがある。他に、不整脈の監視などのも用いられる。

2) 運動強度の指標

身体的な運動強度の指標としては酸素摂取量がある。これに最もよく関連している指標として心拍数がある。しかし、軽い負荷、運動および作業の相違（自転車、ステップなど）、筋の収縮様式の相違（等尺性と等張性）、運動部位の相違（上肢と下肢）、性別、年齢、疾病などにより酸素摂取量と心拍数の関係が異なることが多い。心臓疾患患者の運動強度の指標または心臓の負荷量の指標として心拍数に最高血圧をかけたPRP（pressure rate products）がよく用いられる。

指標として体育スポーツ関係ではHRmaxが用いられるが、医学関係では%HR、 Δ HR、HRRなどの指標が多く用いられる。このことは、スポーツ関係では非常に高い心拍数まで負荷を行なう場合が多いため、安静時の値は無視できること、また、安静時の値は精神的な影響などで変化を受け易いことから、安静時の値を考慮した指標を用いない。医学関係では運動負荷自体が軽度であるため、安静時心拍数の影響が大きく関与する。そのため、安静時の値を差し引いた指標：HRR、安静時の心拍数を基準とした指標：%HRなどを用いる場合が多い。

3) 運動処方および治療効果

全身持久性トレーニングの処方に心拍数が用いられる。トレーニングのための心拍数の決定には相対的強度が多く用いられる。60%HRmax以上の強度であればトレーニング効果が期待できる。相対的強度でなく、絶対値では120-130拍/分

以上であれば効果がみられる。しかし、よりよい効果を示す運動強度は年齢、性別、日常生活の活動量、労働、スポーツ歴、疾病の状態、現在の体力などによって異なる。個々にあった運動強度を決めることが重要である。

4) 精神的作業の指標 (評価)

身体的運動強度の指標として、心拍数は当然用いられるが、精神的作業においても心拍数の評価がなされている。例えば、事務処理に於けるミスと心拍数との関係などがこれに当たる。情動負荷試験においても血圧のみでなく心拍数の評価も行なわれている。

5) 自律神経機能評価

副交感神経の機能障害により R-R 間隔の変動係数の低下が生じることが多くの人によって報告されている。現在では自律神経のスクリーニングテストとして心拍数の変動係数が用いられている。変動係数は日内変動、食事との関係、呼吸による影響などが受け易い。多くの条件を統一して測定する方法などが試みられている。

6) サーカディアンリズム

サーカディアンリズムは日内変動、季節変動など検討する 1 指標として、用いられている。

心拍数を用いた研究の動向

心拍数は酸素摂取量に代わる運動負荷強度の指標として以前よりよく用いられてきた。また、運動トレーニングの運動量の指標、効果判定、障害者ではリスク管理として多く用いられている。理学療法士学会においても初期の学会発表は心拍数の絶対値を測定し、評価、治療に応用されていた。現在は心拍数を時系列の変化として捉えた研究が多くなって

いる。時系列変化は心拍数の変動原因などを調べるため検討されている。

心拍数を時系列にみる場合、心拍数は基本的には不規則な離散的データである。横軸に経過時間 (R-R 間隔の累積時間: 時間軸) で、縦軸には R-R 間隔、または心拍数 ($60/(R-R)$) の変化を示すデータと考える。これを時系列の変化として捉えるには、離散的なデータを連続したデータにしなければならない。そこで離散的データを連続量にする方法は Lagrange, Spline の補間をすれば連続量としてみなすことができる。特に、Spline の 3 次の補間は多く用いられている。この方法によれば 3 次の関数式で表わせるため、容易にデータ処理が可能となる。この方法により時系列の分析、特に FFT などが行なわれる。

1 日中 (24 時間) の心拍数の変化 (時系列変化) を測定できる装置より、1 日の運動負荷量、活動量の目安としている研究も多くある。このような時系列解析が行なわれるようになったのはコンピュータの進歩が大きく寄与している。

時系列分析

1) 自己相関関数

自己相関関数は同一の波形で位相をずらして相関をみることにより、その波形の周期性を検出する方法である。横軸が位相のずれ (時間 sec)、縦軸が相関係数 ($-1 \sim +1$ の範囲) で表示される (図 2)。この場合は 0.2 秒の周期で変動していることが判る。

2) FFT (高速フーリエ変換)

一般的な周波数分析の方法である。波形中にどの周波数成分が多く存在しているのかが判る。横軸が周波数 (Hz) で縦軸が利得 (dB) で表示される。この周波数分析では分析に要したデータ数、および周波数範囲により

図2 自己相関関数

図3 AR分析

精度が異なってくる。また、窓の取り方によりスペクトルが異なる。

①矩形窓

これは時間区間のデータを単に切り出したもので、周波数分解能は最も高い窓関数である。しかし、スペクトル分析で実際にこの窓関数を用いることはない。

②三角窓

フェイエル窓またはバートレット窓とも呼ばれ、連続関数である。

③ハニング窓

ハニング窓は連続関数で、主な周波数成分から多少離れた周波数にある小さな成分を検出するのに適している。

④ハミング窓

ハニング窓に比べ、周波数分解能はよいが、連続関数でない。このため主な周波数成分に対してはるかに小さな成分を検出する必要がある場合は適さない。

3)AR法

自己回帰モデル (Autoregressive model) は同じ信号列の過去のデータより (いくつ前までのデータを使用するか; 次数) 予測ができる。モデルの次数は赤池の方法でより客観的に求められる。この自己回帰モデルを応用した周波数分析が心拍数などでよく用いられている (図3)。

4)MEM

最大エントロピー法波形の周波数分析を、現象のほんの一部のデータから、高精度、高分解で推定する方法である。観測データだけでは求められない長周期 (ラグ) の自己相関関数値を推定して、スペクトルを求める方法である。

5)心拍数応答

運動負荷量を入力、心拍数の反応を出力とした応答特性 (ステップ応答) をみる場合と、酸素摂取量を入力、心拍数の反応を出力とした応答特性などがある。

自転車エルゴメータによる運動負荷 (ステップ) に対して、心拍数の応答特性は一次系の線形システムとして考えられている。

引用および参考文献

- 1) 南茂夫: 科学計測のための波形データ処理 CQ出版 1986.
- 2) 山地啓司: 心拍数の科学 大修館 1981.