

## スポーツテスター P E-3000の信頼性について

横浜市立大学体育医学教室

玉 木 伸 和

### 緒 言

体力の維持・増進のため、あるいは成人病の予防のために、持久的な全身運動が有効であることはよく知られている。しかし、ただ単に運動すればよいと言うものではない。望ましい運動の効果を得るためには、個人に対して適切な強度の運動が負荷されなければならない。現在、その運動強度の指標として、最も一般的に用いられているものが心拍数である。

心拍数は、手による脈拍の計数によっても知ることができる。しかし、運動実施時に脈拍を数えることは現実的には不可能である。そのため、運動を一時中断して脈拍を数えるが、回復過程の脈拍を数えるため、運動時の心拍数よりも過小評価することになる。また、比較的高い脈拍数では、計数が追従できず不正確になる点も問題となる。

容易に、しかも正確に運動時の心拍数がモニターできることは、それによって運動の強度を調節できるという観点から、運動処方現場においては重要なことである。さらに、運動時の心拍数が記憶できるならば、運動後に運動強度の変化を確認でき、実施した運動量の妥当性の検討などが可能である。

このような記憶機能を持った心拍数モニター装置は、現在数社から市販されている。この内、キャノン販売が輸入販売しているスポーツテスター P E-3000は、胸部に電極ベルトを装着して送信機から心電図に基づいた心拍数を無線搬送し、腕時計型の受信機で心拍数をモニター・記憶できる小

型・軽量の装置である。そして、一般人のトレーニング用として開発されているために操作は簡単であり、価格も少し高級な腕時計程度である。

本研究では、このスポーツテスターが、運動処方現場においてどの程度まで利用できるものなのかを検討した。

### 方 法

本研究で用いたスポーツテスター P E-3000(フィンランドのポーラ・エレクトロ社製)の外観を図1に示した。電池を含んだ重量は、送信機が45gそして受信機が50gと軽量である。電極ベルトを胸部に巻き、送信機を装着するだけで、心電図に基づいた心拍数が無線搬送でき、モニター・記憶できる。心拍数は5,15および60秒間隔でそれぞれ80分間、4時間および16時間にわたり、受信機内のメモリーに記憶可能である。また、ラップタイムも記憶できるため、運動後の確認が容易であ

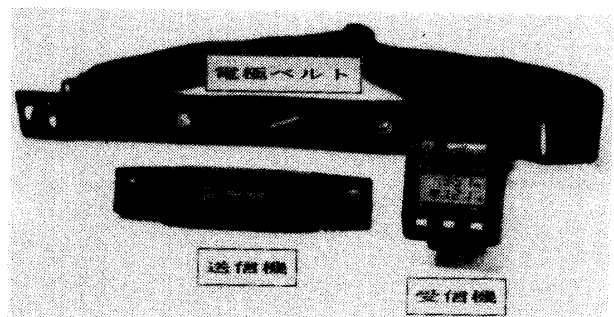


図1. スポーツテスター P E-3000の外観.

る。記録された心拍数そしてラップタイムは、インターフェイスユニットによってコンピュータに取り込むことができる。また、手動によってメモリー内容を呼び出すことも可能である。

心拍数は、最初の4拍が入力されてから計算され、その後の心拍信号が移動平均されていく。新しい平均心拍数が計算される時、以前の値は1/2の重みづけがされ、最終的には1/16の重みづけとなる。それゆえ、移動平均時間は心拍数に依存し、安静時では15秒程度の長さになる。一方、運動時のように心拍数が高くなると3~4秒程度と短くなる<sup>2)</sup>。

欠点としては、同一周波数のみを用いているため、送信能力の1.5m以内での複数人での同時使用（たとえば、バスケットボールのようなチームゲーム時のような場合）では、心拍信号が混信するため、正しいモニター・記憶ができなくなることである。

以上のような特徴を持つスポーツテストの信頼性を検討するため、成人男性一名を対象に、モナーク社製の自転車エルゴメータを用い、心拍数に種々の変化を生じさせるような2シリーズの種々の強度の運動を負荷した。すなわち、第1シリーズでは4分間の安静の後、50、100、150そして250ワットの運動を4分間の回復をはさんで各4分間ずつ実施させた。第2シリーズでは、4分間の安静の後に50ワットから運動を開始し、その後250ワットまで1分毎に50ワットずつ負荷を漸増していった。250ワットに達した後は、1分毎に50ワットずつ負荷を漸減し、50ワットの運動で終了した。したがって、運動時間は9分間であった。そして、6分の回復期をとった後、230、240、250、320そして340ワットの比較的激しい運動を各1分間ずつ1分間の休息をはさんで負荷した。

被験者は、その胸部にスポーツテストの電極ベルトと送信機そして心電図テレメータ用の電極を装着した。そして、腰部に心電図テレメータの送信機を装着した。スポーツテストの受信機は、被験者から1m以内の場所に複数台セットした。ただし、第1シリーズ目には、スポーツテストの受信機は2台であり、それぞれ15秒モードおよ

び60秒モードで心拍数を記憶させた。第2シリーズ目には5秒モードでの記憶のためにもう1台を加えた。

心電図テレメータで受信された心電図は、感熱式記録器に連続記録し、15秒間のR波の数を4倍して1分間当りの心拍数、そして1分間のR波の数から1分値の心拍数を求めた。そして、これらの心拍数を基準の心拍数として用いた。スポーツテストに記憶された心拍数は、インターフェイスユニットによって、日本電気社製のパーソナルコンピュータ（PC-9801VM2）内に読み込み、心拍数を印刷出力させた。

スポーツテストによって得られた様々の記憶モードでの心拍数を、基準となる心電図記録と比較検討し、スポーツテストの信頼性を検討した。

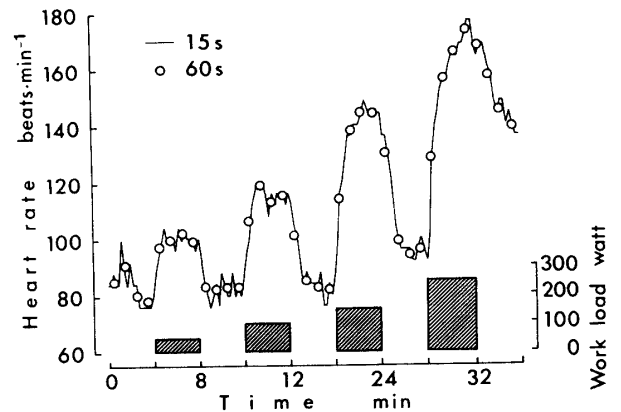


図2. 第1シリーズでの4分間繰り返し運動時の心拍数応答。15s: 15秒間の心電図R波の4倍値, 60s: 60秒間の心拍数。

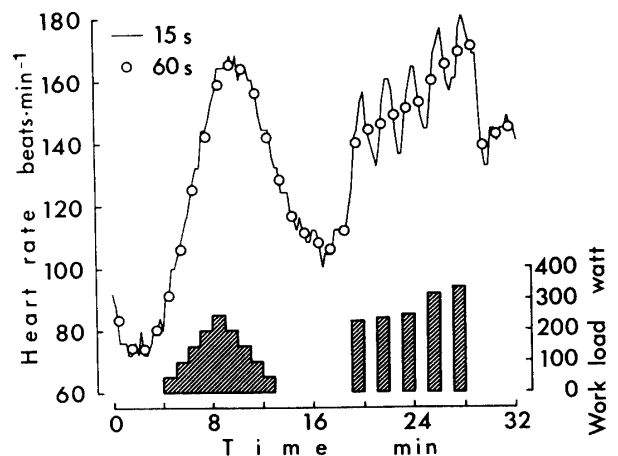


図3. 第2シリーズでの漸増・漸減運動時および1分間の激しい間欠運動時の心拍数応答。15sと60sは図2と同じ。

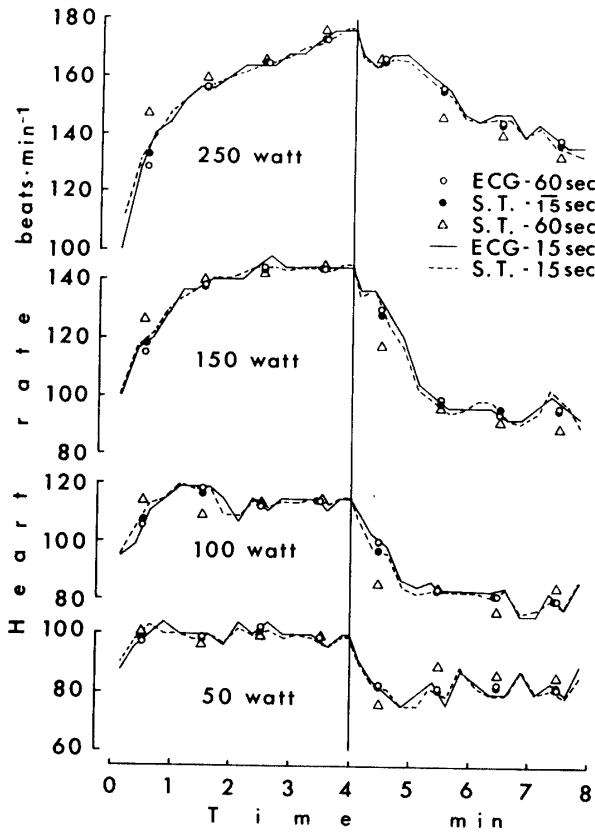


図4. 第1シリーズの運動による、心電図から求めた心拍数とスポーツテスターの各記憶モードで得た心拍数との比較。ECG-60sec: 1分間の心電図R波の数, S.T.-15sec: スポーツテスターの15秒モードで得た心拍数の平均値, S.T.-60sec: スポーツテスターの60秒モードでの値, ECG-15sec: 15秒間の心電図R波の4倍値, S.T.-15sec: スポーツテスターの15秒モードで得た値。

結果および考察

第1シリーズの運動負荷テストを通じた基準心拍数の変化を図2に、そして第2シリーズでの変化を図3に示した。第1シリーズは、4分間の休息をはさんだ4分間の運動負荷を4回実施したが、その負荷強度は50ワットから徐々に漸増するものであった。したがって、運動強度が増加するほど心拍数の変化量も大きくなっていった。これに対し、第2シリーズでは1分毎の負荷漸増・漸減運動と、1分間の休息をはさんだ比較的激しい1分間の間欠運動であった。漸増・漸減運動では、負荷漸増によって次第に心拍数が増加し、負荷漸減運動によって徐々に心拍数は減少した。一方、間欠運動時には、心拍数に急激な変化が認められ、運動時よりも休息時の方が高い心拍数を示した。

図4に、第1シリーズでの基準心拍数と、スポーツテスターで得られた心拍数の比較を示した。スポーツテスターの15秒モードで記録した心拍数変化は、心電図のR波から求めた15秒間の基準心拍数の変化と比較的よく一致した。しかし、スポーツテスターの60秒モードで記憶した心拍数には、所々でかなりの差が認められた。特に、運動開始直後および運動終了直後では、得られた心拍数に

表1. 漸増・漸減運動時に心電図およびスポーツテスターの各記憶モードで得られた心拍数の比較。

	Work load (watt)									
	50	100	150	200	250	200	150	100	50	
ECG - 60sec	91	106	125	142	159	165	164	156	142	
S.T.- 60sec	100	113	131	147	165	166	163	149	137	
S.T.- 15sec	93	107	125	142	160	165	163	156	142	
S.T.- 5sec	90	105	124	141	159	165	163	157	142	

表2. 1分間間欠運動時に心電図およびスポーツテスターの各記憶モードで得られた心拍数の比較。

	Work load (watt)									
	230	R	240	R	250	R	320	R	340	R
ECG - 60sec	140	144	146	149	151	153	160	165	169	171
S.T.- 60sec	156	131	162	134	166	142	174	155	180	166
S.T.- 15sec	142	141	149	146	153	152	162	164	170	171
S.T.- 5sec	139	143	146	149	151	154	159	166	168	172

表3. 心電図から求めた基準心拍数とスポーツテストの各記憶モードで得られた心拍数との間の相関係数. Constant: 4分間の漸増運動, Continue: 漸増・漸減運動, Intermittent: 1分間の間欠運動.

	ECG-HR 60sec		
	Constant	Continue	Intermittent
S.T.- 60sec	0.9701	0.9823	0.5714
S.T.- 15sec	0.9988	0.9998	0.9816
S.T.- 5sec	—	0.9999	0.9978

大きな差が存在した。この差は、運動強度が強くなるほど、すなわち心拍数変化が急激になるほど大きくなる傾向を示した。そして最大の差は、250ワット運動開始直後1分目の20拍というものであった。図からも明らかなように、15秒値で示した心拍数が増加している時には過大評価を、逆に減少時には過小評価をする傾向が認められた。Karvonen<sup>2)</sup>は、旧タイプのスポーツテスト(30秒モードの記録)の信頼性を、自転車エルゴメータの負荷を被験者が疲労因ばいするまで4分毎に漸増して検討している。そして、本研究と同様に心拍数の増加時には過大評価を、そして回復初期の減少時には過小評価する結果を報告している。彼らは、基準心拍数を心電図の12.5拍のR-R間隔から求めているが、毎分150~200拍という高い心拍数ではこの時間が12~14秒である。一方、スポーツテストでの心拍数計算は3~4秒である。彼らは、このことが差を生じさせた原因であると結論している。

第2シリーズでの漸増・漸減運動時および間欠運動時に得られた1分値での心拍数をそれぞれ表1および表2に示した。スポーツテストの15秒モードおよび5秒モードでの値は、それぞれの平均値である。スポーツテストの60秒モードで得られた値についてみると、漸増・漸減運動の漸増時には基準心拍数と比較してやや高い心拍数値を、漸減時にはやや低い心拍数値を示した。これは、第1シリーズで得られたものと同一の傾向であった。この傾向は、間欠運動でさらに顕著となり、最大で16拍もの差に達した。一方、15秒モードで記録された心拍数でも、わずかに過大評価と過小評価の傾向が認められた。しかし、基準心拍数と

の差は、最大でも間欠運動時の3拍と小さいものであった。また、5秒モードで得られた心拍数は、基準心拍数との差が最大でも1拍であり、実際の心拍数値に近い値を反映している。したがって、15秒モードや5秒モードの場合には、心拍数記録の信頼性は十分に高いものと思われる。

スポーツテストの3種類のモードで記録した心拍数と、基準心拍数との間の相関係数を表3に示した。4分間の一定負荷運動時には5秒モードでの記録を実施していないが、いずれの運動形態でも60秒モードでの相関係数が最も低い値を示した。特に心拍数変化の著しい間欠運動では、他の運動形態では認められないような低い相関係数となった。ところが、15秒モード、そして5秒モードと記録時間が短くなるほど相関係数は高くなっていった。

LégerとThivierge<sup>3)</sup>は、心電図記録の10秒間から求めた心拍数とスポーツテストで得られた心拍数との間に、自転車エルゴメータ運動では相関係数が0.97、トレッドミル走行では0.95、そして踏台昇降では0.95という本研究に近い結果を報告している。ところが、最高心拍数の65~75%の低い運動強度で得られた結果間には0.95の高い相関係数があったが、85~95%の高い運動強度では0.88と相関係数が低くなったと報告している。彼らは、スポーツテストで表示された10秒間の心拍数を平均したものと比較しているが、これはほぼ5秒モードのものと近似していると考えられる。しかし、本研究の5秒モードのものと比較すると、かなり低い相関係数である。この差は、両者の方法上の違いに起因するものと考えられる。

これに対して、Jakob<sup>4)</sup>は、心電図とスポーツテストとの間に0.998という高い相関関係を報告している。彼らは記録モードを示していないが、結果の図および記録時間から判断して、おそらく15秒モードでのものと思われる。運動負荷も不明であるが、結果の図から1分間程度の不完全休息をはさんだ2~3分間の負荷漸増運動と考えられる。そして、心拍数の増減も急激なものではなかった。したがって、本研究の第1シリーズの運動の15秒モードでの結果と同様に、高い相関関係が

得られたのであろう。また、Karvonen ら<sup>2)</sup>は旧タイプのスポーツテスターで30秒モードでの記録を実施しているが、相関係数は示していない。そこで、報告されている平均心拍数値から相関係数を求めてみると、漸増運動中が0.9992、そして回復期間も含めると0.9980という高いものであった。Tsanakas ら<sup>4)</sup>も旧タイプのスポーツテスターを用いて0.99という高い相関係数を報告している。

以上のように、スポーツテスターの信頼性を検討した研究では、心電図記録から得られた心拍数との間に比較的高い相関関係が得られることを報告している。そして、十分に運動時の心拍数モニターとして、また心拍数記憶装置としての信頼性があると結論している。特に、腕時計型の表示面に常に最新の心拍数が表示されるため、運動時や回復期の心拍数の推移を知ることが容易である。しかし、心拍数記憶に関しては、Léger と Thivierge<sup>3)</sup>のように、比較的運動強度の高い場合には、実際の心拍数を反映しないという報告も見られる。また、Karvonen ら<sup>2)</sup>も、心拍数の増減が早い場合には誤差が生じると述べている。

本研究においても、心拍数の増減が短時間かつ激しい場合には、スポーツテスターによる心拍数記憶の誤差が大きくなる傾向が認められた。しかし、スポーツテスターの記憶モードを短時間のものにすればするほど、相関係数は高くなり、実際の心拍数値に近づくこと、特に5秒モードでの記録では、実際の心拍数と差のないことが確認できた。

スポーツテスターの記憶モードによるこのような差は、次のような記憶特性が原因と考えられる。すなわち、スポーツテスターは、前述のように移動平均法によって心拍数を算出しているが、5秒モードでは、メモリー時点において計算された最新の心拍数が記憶される。しかし、本研究で記憶した心拍数を検討したところ、15秒モードでも、また60秒モードでもこの最新の心拍数が記憶されることが判明した。スポーツテスターの取扱説明書には、5,15あるいは60秒間隔の心拍数が記憶できると記載されている。しかし実際には、15秒モードでは15秒間の平均心拍数ではなく、約10~15

秒間の間の最新の心拍数値が記憶され、60秒モードでは、55~60秒の間に計算された心拍数が記憶されるのである。すなわち、60秒モードで得られた心拍数は、5秒モードで記憶した12番目の値、すなわち55~60秒の間に記憶された心拍数値に近いものである。

たとえば、毎分60拍の心拍数から、5秒毎に5拍ずつ心拍数が増加すると仮定した場合、55~60秒の間では毎分115拍となる。これを心電図で記録し、R波を数えると1分間当り87.5拍となる。スポーツテスターの5秒モードでは、この5秒毎の値（厳密には多少の差が存在する）が記憶される。したがって、1分間当りの平均心拍数は心電図のものと同じ87.5拍となる。15秒モードの場合では、70, 85, 100そして115拍という値が記憶される。それゆえ、1分間当りの平均心拍数は92.5拍となる。さらに、60秒モードでは最終の115拍のみが記憶される。そのため、心拍数の変化幅が大きい場合には、記憶時間の設定モードが長くなるほど、それだけ過大評価あるいは過小評価することになる。

したがって、忠実に運動時の心拍数変化を記憶する目的のためには、より短い記憶モードで使用することが必要となる。特に、運動強度を明らかにしようとするような研究においては、記憶時間を犠牲にしても5秒モードを使用すべきであろう。

このようにスポーツテスター P E-3000は、60秒モードで16時間にわたっての心拍数記録が可能であるが、記憶方法上の問題から、記録時に心拍数変化の増減が急激な活動が含まれている場合には、真の心拍応答を反映することはできず、かなりの記録誤差が生じてしまう。しかし、本研究の第2シリーズのように心拍数に急激で大きな変化を生じさせる運動を負荷した場合でも、心電図から得られた総心拍数（4610拍）と、スポーツテスターの60秒モードで記憶した総心拍数（4621拍）の差は11拍であった。これは1分間当りにすると0.3拍である。この差が大きいかわりに小さいかについては断言できない。しかし、日常生活ではこのような激しい心拍数変化を生じさせるような身体活動は余

りなく、またあったとしても長時間継続されるものではないだろう。したがって、誤差はもう少し小さくなるものと予想される。それゆえ、以上で述べた問題点の存在を認識した上で、長時間にわたる心拍応答の変化パターンを知ろうとするのであれば、60秒モードでの記録も有効であろう。

### 要 約

無線搬送式で小型・軽量タイプの心拍数モニターであるスポーツテスターPE-3000の信頼性を、種々の運動負荷のもとで検討し、以下の結果を得た。

- 1) スポーツテスターの60秒モードで記憶した心拍数は、心拍数の変化幅の大きい運動初期や運動直後に、実際の心拍数と比較して過大評価あるいは過小評価する傾向が認められた。この傾向は、運動強度が強くなるほど増大し、特に1分毎の激しい間欠運動では顕著となった。
- 2) 15秒モードで得た心拍数は、実際の心拍数変化に比較的近い値を示したが、過大評価や過小評価の傾向はわずかに認められた。
- 3) 5秒モードによる結果は、運動負荷の形態が異なっても、また強度の増減が激しい場合においても、実際の心拍数と同じ値を示した。
- 4) このような結果の差異は、記憶時間内の平均心拍数がメモリーされるのではなく、常にその時点での最新の心拍数が記憶されることが原因であることが明らかとなった。

以上のことから、忠実に運動時の心拍数変化を

記録することが必要な場合には、より短い記憶モードを使用すべきである。しかし、長時間の心拍応答の変化パターンが明らかになればよいという場合には、60秒モードの使用も有効であろう。いずれにしても、特性と限界を認識し、目的に応じて使用するならば、スポーツテスターPE-3000は、心拍数モニターとして非常に有益な装置である。

### 文 献

- 1) Jakob, E., Wolfahrt, B. & Keul, J. (1986) Ein neues System zur Herzfrequenzregistrierung über elektromagnetische Wellen. *Praktische Sport-Traumatologie und Sportmedizin* 2 : 39-42.
- 2) Karvonen, J., Chwalbinska-Moneta, J. & Saynajakangas, S. (1984) Comparison of heart rates measured by ECG and microcomputer. *Physician & Sportsmed.* 12(6) : 65-69.
- 3) Léger, L. & Thivierge, M. (1988) Heart rate monitors: validity, stability, and functionality. *Physician & Sportsmed.* 16(5) : 143-151.
- 4) Tsanakas, J. N., Bannister, O. M., Boon, A. W. & Milner, R. D. G. (1986) The "Sport-tester": a device for monitoring the free running test. *Arch. Dis. Child.* 61 : 912-914.

## Validity of heart rates obtained by the Sports tester PE-3000 during several exercise conditions

TAMAKI Nobukazu

*Institute of Sport Medicine, Yokohama City University*

The validity of heart rates obtained by the Sports tester PE-3000 was assessed by comparing the measuring values with simultaneous ECG recordings. One subject performed several exercise tests on a bicycle ergometer. Heart rates recorded before, during and after exercise.

Under the conditions of increasing heart rate, heart rates recorded by the Sport tester PE-3000's 60-seconds-mode were frequently higher than those measured at the same time by ECG. While, under the conditions of decreasing heart rate, heart rates obtained by the Sport tester were lower than those of ECG. This tendency was increase with increasing work load. However, heart rates recorded by the Sport tester's 15-seconds-mode were closely related to those measured by ECG. In this condition, heart rates differed at most by only 3 beats·min<sup>-1</sup>. Furthermore, heart rates recorded by the Sport tester's 5-seconds-mode were equal to those measured by ECG. These differences were caused mainly by the memory methods of the Sport tester PE-3000. Therefore, the shorter memory mode is suitable for measuring accurate heart rate and analyzing intensity of exercise.

(J. Yokohama City Univ., Seri. of Sport Sci. & Med., **17**: 1-7, 1989)