

心拍数とサーモグラフィーによる運動経過の記録

山崎 健¹⁾、滝澤かほる¹⁾、岡本芳三²⁾、馬場裕子³⁾

1)新潟大学教育人間科学部 2)茨城工業高等専門学校 3)新潟大学大学院自然科学研究科

1. はじめに

運動経過の記録には様々な方法が採用されており、運動強度の推定にかかわっては心電図のR極の間隔(R-R間隔)を修正移動平均法で計測・記録する心拍数メモリーが、簡便なためよく用いられている。

正確な運動強度の推定には、呼気ガス分析法や血中乳酸濃度の測定等の採用が必要であるが、そのことは逆に、被験者の拘束や侵襲という手法をとらねばならず、定量化の可能な通常のスポーツ場面とは異なる運動条件(一定のプロトコールでの自転車エルゴメーター負荷など)が必要とされる。

この点で、腕時計型の心拍数メモリーを用いる方法は、非拘束的であるため通常の練習時や試合時にも測定が可能であるため、現在は様々な場面でよく利用されている。しかし、心拍数の記録のみでは運動経過を十分に把握することが困難なため、運動経過の記録にビデオ画像などの他の方法も併用されている。

一関と山崎ら¹⁾は、剣道の練習時の運動経過について、ビデオ画像より得られた身体の移動距離と速度を3次元DLT法で分析し、心拍数と同時記録することによりその運動量を推定した。

岡本ら²⁾は、人体の熱生産に伴う体表面温度の変化を可視化する赤外線映像装置によるサーモグラフィー法を、バイオメカニクスや運動解析の分野に応用した。滝澤と山崎ら³⁾は、人体の運動および熱足跡について、赤外線と可視画像による同時可視化について、その応用可能性を検討し、一連の知見を得た。

本研究では、運動経過の記録に心拍数メモリーを用い、運動前後の変化について赤外線サーモグラフィー法を併用することにより分析、検討を試みようとするものである。

2. 方法

(1) 被験者

被験者は、いずれも陸上競技部に所属し定期的に運動を行っている健康な中学2年生女子6名である。被験者のプロフィール及び自転車エルゴメーターによって得られた持続的能力の指標の一つである心拍数170拍/分時の作業能力(ワット)の推定値(PWC170)を表1に示す。

表1 被験者のプロフィール

	Age	Height	Weight	BodyFat%	PWC170
Sub.A	13y	168cm	50Kg	17.7%	139Watts
Sub.B	13y	153cm	52Kg	26.5%	168Watts
Sub.C	13y	157cm	51Kg	24.1%	111Watts
Sub.D	13y	154cm	47Kg	23.5%	197Watts
Sub.E	13y	150cm	44Kg	19.7%	145Watts
Sub.F	13y	159cm	46Kg	19.8%	147Watts

(2) 測定手順

測定は、表2の手順で、新潟大学第2体育館で実施し、測定中の室内温度は摂氏13度前後で推移した。

心拍数は、Polar社製S610ハートレートメモリーを用いて5秒間隔で記録し、パーソナルコンピュータに取り込んだ後表計算ソフトウェアで処理をした。

自転車エルゴメーターによる負荷 - 心拍応答は、キャットアイ社製EC1600を用いて、体操運動実施後50分間隔をあけて測定し、記録された心拍数 (bpm) と仕事量 (Watts) から一次回帰式を算出して心拍数170拍 / 分の際の仕事量をPWC (Physical Work Capacity) 170として計算した。

サーモグラフィーは、NEC社製TH7102を用いて、顔面と手掌の熱静止画像を撮影し、ノート型パーソナルコンピュータに記録、保存した。

表2 測定の流れ

時刻	内容
10:00 ~ 10:10	事前のサーモグラフィー測定
10:20 ~ 10:40	静的ストレッチング (20分)
10:45 ~ 11:20	各種のスキップ等の体操実施 (45分)
11:20 ~ 11:30	終了後のサーモグラフィー測定
12:10 ~ 12:40	自転車エルゴメーターによる負荷テスト (各自10分間)
13:10 ~ 13:20	昼食後のサーモグラフィー測定

3. 結果および考察

(1) 心拍数の推移

運動 (体操) 前後の心拍数の推移を図1から図5に示す。ただし、被験者Aは、機器のトラブルからデータが得られなかった。

準備運動として行った静的ストレッチング時の平均心拍数は、80~89拍 / 分 (beats per minute;bpm) であり、被験者Fがやや高かった。また、運動実施時の心拍数の平均値は100~111bpmであり、被験者BとFがやや高かった。

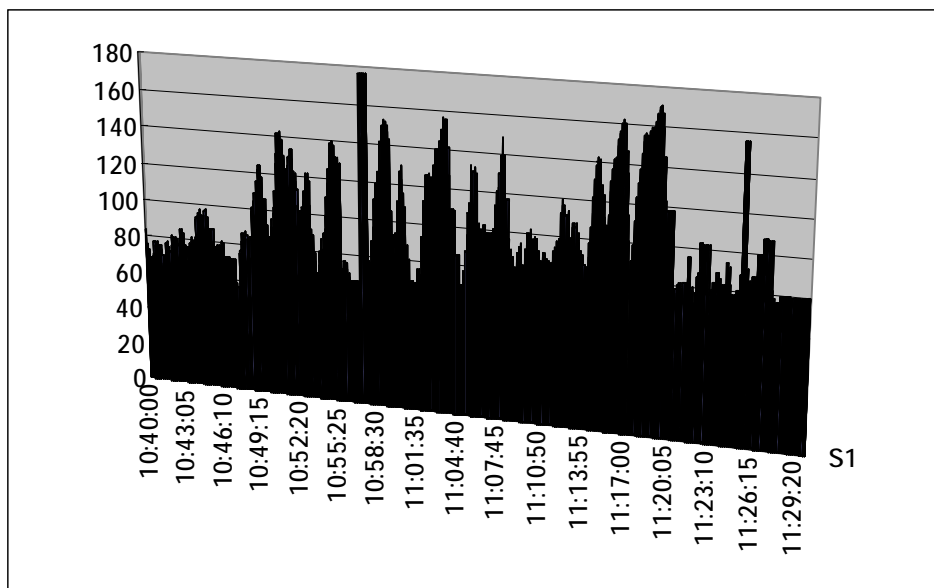


図1 運動前後の心拍数の推移(被験者B)

ストレッチ実施時の平均心拍数 81.8bpm 運動実施時の平均心拍数 109.0bpm

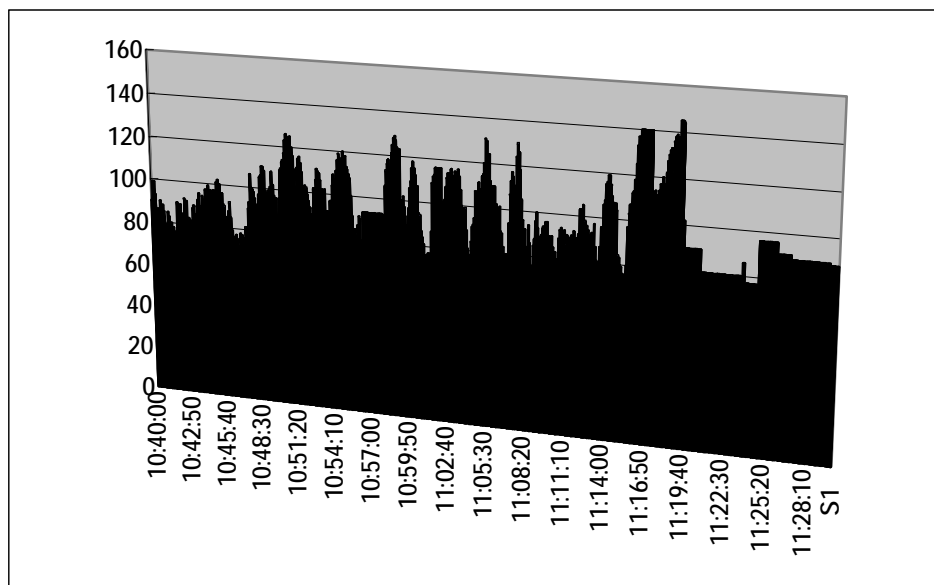


図2 運動前後の心拍数の推移(被験者C)

ストレッチ実施時の平均心拍数 82.8bpm 運動実施時の平均心拍数 101.8bpm

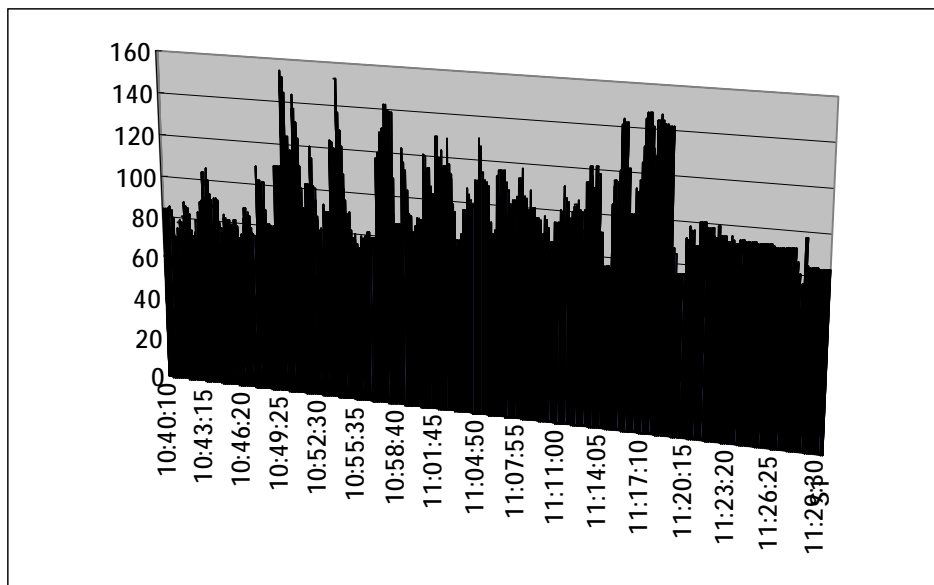


図3 運動前後の心拍数の推移 (被験者D)

ストレッチ実施時の平均心拍数 83.0bpm 運動実施時の平均心拍数 103.0bpm

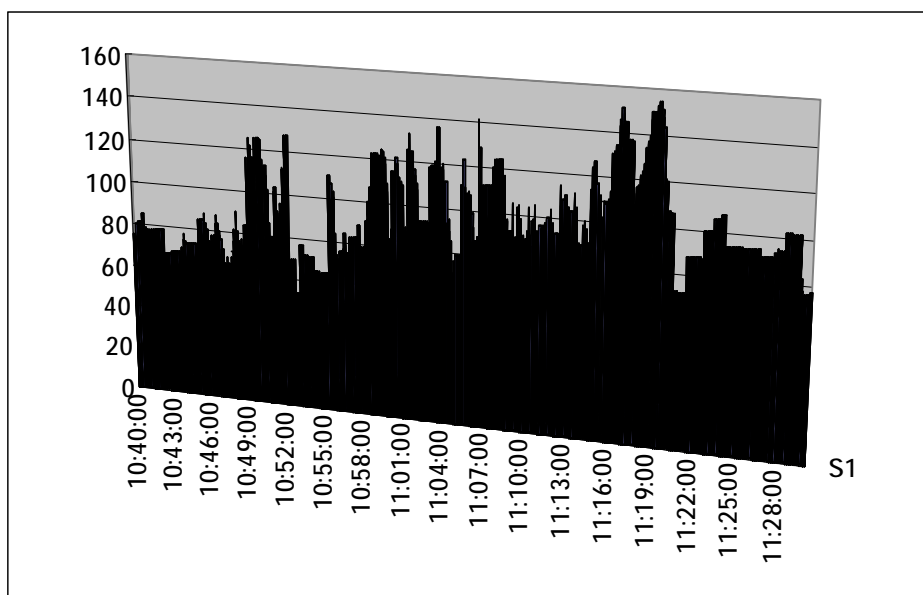


図4 運動前後の心拍数の推移 (被験者E)

ストレッチ実施時の平均心拍数 80.7bpm 運動実施時の平均心拍数 100.6bpm

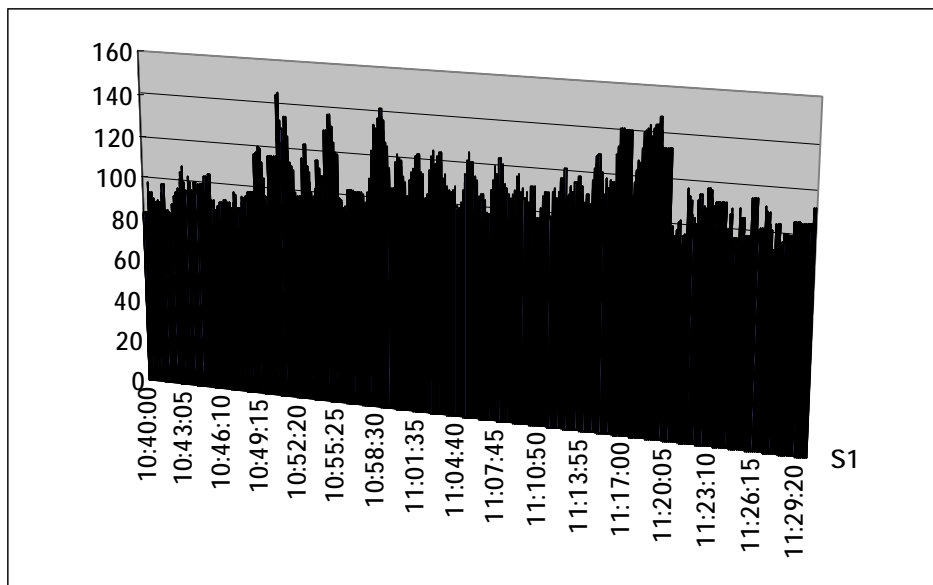


図5 運動前後の心拍数の推移(被験者F)

ストレッチ実施時平均 89.2bpm 運動実施時平均 111.4bpm

45分間の体操は、スキップやジャンプといった動きの激しいものと身体各部の伸展やポーズなど静的なものとの組み合わせから構成されており、心拍数もそれに対応して変動している。全般的には間歇的強度の運動であるが、運動前半の10:50頃の一つのピークがあり、その後一過性に低下した後、11:00以降鋸型で変動し、運動後半の11:15~11:20の間にはいずれの被験者も心拍数が増加している。

また、同一の課題であっても、身体の使い方(運動の振幅や速度、強度など)によって個人差が現れ、また、被験者の持続的能力によっても心拍数に差が現れる。

被験者Bは、持続的能力の指標の一つであるPWC170の推定値が高く、ピーク時の心拍数は10:57頃には180bpm近くまで上昇しているが、70bpm以下になる場合も観察された。

被験者Dは、PWC170の推定値が最も高いが、80bpm以下の例はあまり観察されない。これは、運動課題を大きな強度で遂行していたことが推定される。

被験者Cは、PWC170の推定値が最も低く、このことが運動中の心拍数が全般的に高いことと関連していることが考えられる。

被験者Eと被験者FのPWC170の推定値はほぼ同等であるが、運動中の心拍数は被験者Fが他の被験者に比べて高いレベルで推移しており、被験者Fの運動実施の強度が高かったことが推察される。

以上のように、体操運動では、運動課題は同一であっても、その実施方法によって運動強度の指標である心拍数に差が現れ、また、逆に持続的能力が異なる者であっても同等の運動強度で実施することができる。このことから、体操運動の実施時には、心拍数などの何らかの生理学的指標を用いて運動強度を推定することが必要と思われる。



図 6-1 運動前の TG 画像 (被験者 A)



図 6-2 運動後の TG 画像 (被験者 A)



図 6-3 食事後の TG 画像 (被験者 A)



図 7-1 運動前の TG 画像 (被験者 B)



図 7-2 運動後の TG 画像 (被験者 B)



図 7-3 食事後の TG 画像 (被験者 B)



図 8-1 運動前の TG 画像 (被験者 C)



図 8-2 運動後の TG 画像 (被験者 C)



図 8-3 食事後の TG 画像 (被験者 C)



図 9-1 運動前の TG 画像 (被験者 D)



図 9-2 運動後の TG 画像 (被験者 D)



図 9-3 食事後の TG 画像 (被験者 D)

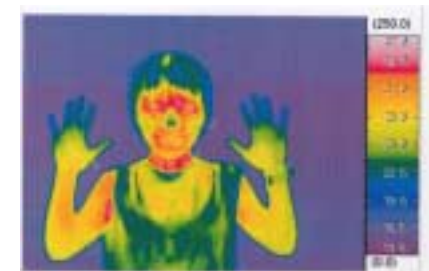


図 10-1 運動前の TG 画像 (被験者 E)



図 10-2 運動後の TG 画像 (被験者 E)



図 10-3 食事後の TG 画像 (被験者 E)



図 11-1 運動前の TG 画像 (被験者 F)



図 11-2 運動後の TG 画像 (被験者 F)



図 11-3 食事後の TG 画像 (被験者 F)

池上⁴⁾は、運動強度の表し方について、心拍数の10分の1に対応するボルグの主観的運動強度(Rating for Perceived Extention)は、全身的で定常的な運動によく合致するとしている。このPREは、レベル7の「非常に楽である」から、レベル13の「ややきつい」、レベル19の「非常にきつい」にいたる優れた指標であると考えられるが、本研究での体操運動時の心拍数の推移を観察すると、「定常性」に若干の問題を含むように思われる。

(2) サーモグラフィー画像

各被験者のサーモグラフィー画像を図6-1から図11-3に示す。各図の右側の校正值の違いにより、同一温度であっても色調に違いがみられる点に注意されたい。

運動前後の心拍数変動には個人差が見られたが、顔面と手掌部の表面温度の変動についても、各被験者に一定の傾向は見られなかった。これは、ランニングなどの定常的定量的運動による持続的熱生産と異なり、体操運動は、平均心拍数が100-111bpmの間歇的運動であり、運動実施時の強度や持続的能力によっても個人の反応が異なる可能性があり、摂氏13度前後で推移した室温の影響を受けたものとも推察される。

被験者Aは、運動後、前額部と頸部で約2度上昇しているが手掌部には変化が見られない。被験者Bは、逆に手掌部が2~3度上昇しており、被験者Cはいずれの部位もあまり変化が見られない。被験者Dは、PWC170が高く運動実施中も高い強度であったと推察され、手掌部が2~3度上昇している。被験者Eと被験者Fは、心拍数の推移には違いが見られたが、表面温度にはあまり差異が見られなかった。

現在、サーモグラフィーは、1000分の1秒単位での周波数分析(高速フーリエ変換; FFT)も可能であり、今後心拍数と対応した経時的な変動(「ゆらぎ」の問題の検討も含めて)を併用しながら分析を進めてゆくことが重要と思われる。

鈴木⁵⁾は、運動と食事摂取にかかわって「食事誘発性体熱生産(diet-induced thermogenesis;DIT)」の増大反応が、自律神経系の反応と代謝系の反応の2つからなりたっており、自律神経反応の活性によりDIT反応に影響を与える可能性を指摘した。

本研究では、運動実施後、別室(20度前後の室温)での食事摂取後のサーモグラフィーに、全被験者に顔面部の体温上昇が認められた(図6-3、図7-3、図8-3、図9-3、図10-3、図11-3)。特に自律神経系の副交感神経系の活動を反映するといわれている鼻根部が、運動実施時は23~24度であったものが、食事後はいずれも摂氏30度以上を記録した。このことは、運動実施が自律神経系の交感神経系の活動を促進し、そのことの反作用として、運動後の食事摂取後に副交感神経系を活性化させている可能性が示唆されたものと考えられる。

4. 要約

体操運動実施前後の運動経過を記録するため、心拍数とサーモグラフィーを用いて分析、検討し以下の知見を得た。

- (1) 体操運動実施時の心拍数変動は、同一動作課題であっても、個人の持続的能力や運動実施時の振幅や速度、強度によって差が見られた。

- (2) このことから、体操運動は、個人の持久的能力や運動実施強度の違いにも対応しうる特性をもっているものと考えられ、個人の運動強度の把握が必要なものと思われる。
- (3) サーモグラフィーによる静止画像での体表面の温度変化については、体操運動のような間歇的な運動ではあまり明確な傾向は観察されなかった。
- (4) サーモグラフィー法では、高速フーリエ変換のような手法を用い、心拍数と対応した分析が必要なものと思われる。
- (5) 運動後の食事摂取後、顔面部の表面温度の上昇が見られたことは、食事誘発性体熱生産反応と関連しているものと考えられる。

本研究は、平成12～14年度文部科学省科学研究費「心と体の統合をめざした体育プログラムと実践的な評価方法の開発（研究代表者：滝澤かほる）」の研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 一関紀子、山崎健、杉本英夫、牛山幸彦、剣道練習時における運動量の推定、新潟体育学研究第15巻、pp.3-8
- 2) 岡本芳三、鴨居新生、滝澤かほる、M.ザビエル、サーモグラフィー検査技術の現状、検査技術第6巻4号、2001年、pp.4-7
- 3) 滝澤かほる、山崎健、岡本芳三、M.ザビエル、運動体の解析とイメージ診断技術、検査技術第6巻4号、2001年、pp.35-41
- 4) 池上晴夫、運動処方の実際、大修館書店、1987年、pp.151-161
- 5) 鈴木正成、スポーツの栄養・食事学、同文書院、1986年、pp.61-63