

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XIII 積算心拍数と運動量との関係について

—第3報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和53年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XIII 積算心拍数と運動量との関係について

—第3報—

報告者 (財)日本体育協会・スポーツ科学研究所

松井美智子 黒田善雄 塚越克己
雨宮輝也 伊藤静夫 金子敬二
白鳥金丸*

はじめに

本研究は、ある時間内の総心拍動数=積算心拍数が、その時間内のエネルギー所要量・運動量の目安になるのではないかとの発想により開始した研究である。

本研究の第1報¹⁾においては、トレッドミルあるいは自転車エルゴメーターを使用し、比較的画一的な運動をある時間内行なわせた際の積算心拍数と運動量・酸素摂取量との関係を検討した結果を報告した。第2報²⁾においては、同一被検者数名に軽い労作、中程度の労作、強い労作の3段階の労作を意識させ、3日間任意にある時間研究所内の仕事を行なわせ、その際の両者の関係を検討した結果を報告した。本第3報は、運動の形体が複雑で練習量を把握しがたいスポーツ種目をとの意図より、テニスと卓球を選択し、それぞれの指導者の推測により、軽い練習、中程度の練習、強い練習の3日間の練習プログラムを作成してもらい、この3日間のプログラムを同一被検者に行なわせた際の両者の関係を検討した結果を報告する。また加えて、第2報においては、傾向を推測するにとどまった、積算心拍数より、エネルギー所要量を推定する際の回帰式の勾配と有酸素的作業能の指標 $\dot{V}O_2\max$ との関係をも、例数(被検者)

を増して検討したので報告する。

1. 研究方法

1) 積算心拍数の測定方法

積算心拍数の測定方法は、第2報に示す方法とほぼ同様である。すなわち、被検者の心電パルス(R棘)をFM送信器にて無線搬送し、これをFMラジカセにて受信、録音すると同時に、受信器の出力をパルスカウンターに導入して1分ごとのパルス数をデジタル・プリントアウトし、これを加算することにより、ある時間内の積算心拍数を求めた。なお、パルスカウンターには、アーチファクト等のノイズ成分もカウントしてしまう危険性もあるので、受信器の出力をパルスカウンターと並列して生体アンプに導入し、これをペンオシロにて記録し、アーチファクト等の有無をチェックした。

2) エネルギー所要量の測定方法

採気はダグラスバック法、分析はショランダー微量ガス分析器により積算心拍数測定中の酸素摂取量を求めることによりエネルギー所要量を求めた。

3) 被検者

a. テニス及び卓球の練習量と積算心拍数との関係についての被検者

テニス、卓球それぞれの練習量と積算心拍数との関係を検討する実験に協力を得た被検者は、い

*印・早稲田大学体育局

ずれも某大学のテニス、卓球の各部に所属している、いわゆる現役の大学選手であり、以下の通り

の特性を持つ被検者であった。

被 検 者	性	年 齢	身 長	体 重	経 験 年 数
R. M.	男	22 歳	172.1 cm	66.5 kg	テニス 11年
K. I.	男	21	169.2	58.0	卓 球 7年

なお、両被検者の競技能力は、テニスの被検者は、大学7部リーグ上位の者であり、卓球は、大学4部リーグ下位の者である。

b. 第2報の追加実験の被検者
積算心拍数よりエネルギー所要量を推定する際

の回帰式（1次式）の勾配と有酸素的作業能の指標 $\dot{V}O_2\max$ との関係を見ることを目的に、第2報に報告する実験の追加実験を行なった。本追加実験に協力を得た被検者の特性は、以下の通りである。

被 検 者	性	年 齢	身 長 cm	体 重 kg	$\dot{V}O_2\max$		職 業
					l/min	ml/kg·min	
S. T.	女	37	156.9	51.3	2.160	42.10	大学・体育教師
K. S.	男	37	164.6	71.6	3.603	50.32	大学・体育教師

なお、第2報に報告する実験の被検者は、表1に示す特性を有する被検者4名であるが、この4名に上記の2名を加えた計6名の被検者で、追加実験の目的であるエネルギー所要量推定回帰式の勾配と $\dot{V}O_2\max$ との関係を検討したのである。

体育館兼講堂で、実験中の環境温度は、26～28℃であった。

第2報の追加実験は、昭和54年6月8日～6月15日の間に行なわれ、実施時間は第2報と同様、昼休みの1時間をのぞく午前10時より午後5時までの6時間であった。実験中の環境温度は、第2報時より若干高く21～24℃であった。

表 1 第2報の被検者

被検者	性	年齢 歳	身 長 cm	体重 kg	$\dot{V}O_2\max$	
					l/min.	ml/kgmin.
M. M.	♀	24	160.0	53.0	2.101	39.65
K. K.	♂	25	173.0	73.0	3.654	50.06
T. A.	♂	36	165.0	67.8	3.398	50.11
S. I.	♂	29	167.0	55.8	3.445	61.73

4) 実験スケジュール

テニス及び卓球の積算心拍数とエネルギー所要量との関係を検討した実験は、昭和54年8月7日～8月29日の間に行なわれた。テニスは8月7、8、9日の3日間で、いずれも午後2時30分からの150分間の練習であった。卓球については、8月27、28、29日の3日間で、いずれも午後2時30分からの150分間の練習であった。

なお、テニス及び卓球の練習場は、地下3階の

2. 結果と考察

1) テニス練習時の積算心拍数とエネルギー所要量

a. 練習時の心拍数と酸素摂取量のレベル

1回の練習時間が同じ150分で、練習量・エネルギー所要量が軽、中、強の3種3段階になるであろうと想定した練習プログラムを、被検者R. M.が消化した際の心拍数と酸素摂取量を図1に示した。

「軽い練習」時の心拍数は、69～110拍/分に分布し、練習時間の大部分が90拍/分以下であった。酸素摂取量は、413～1,471ml/分で練習時間のほぼ80%が1,000ml/min以下であった。

「中程度の練習」をねらった日の心拍数は、75～172拍/分に分布し、120拍/分を越える時間はほぼ30分で全練習時間の約20%であった。酸素摂取

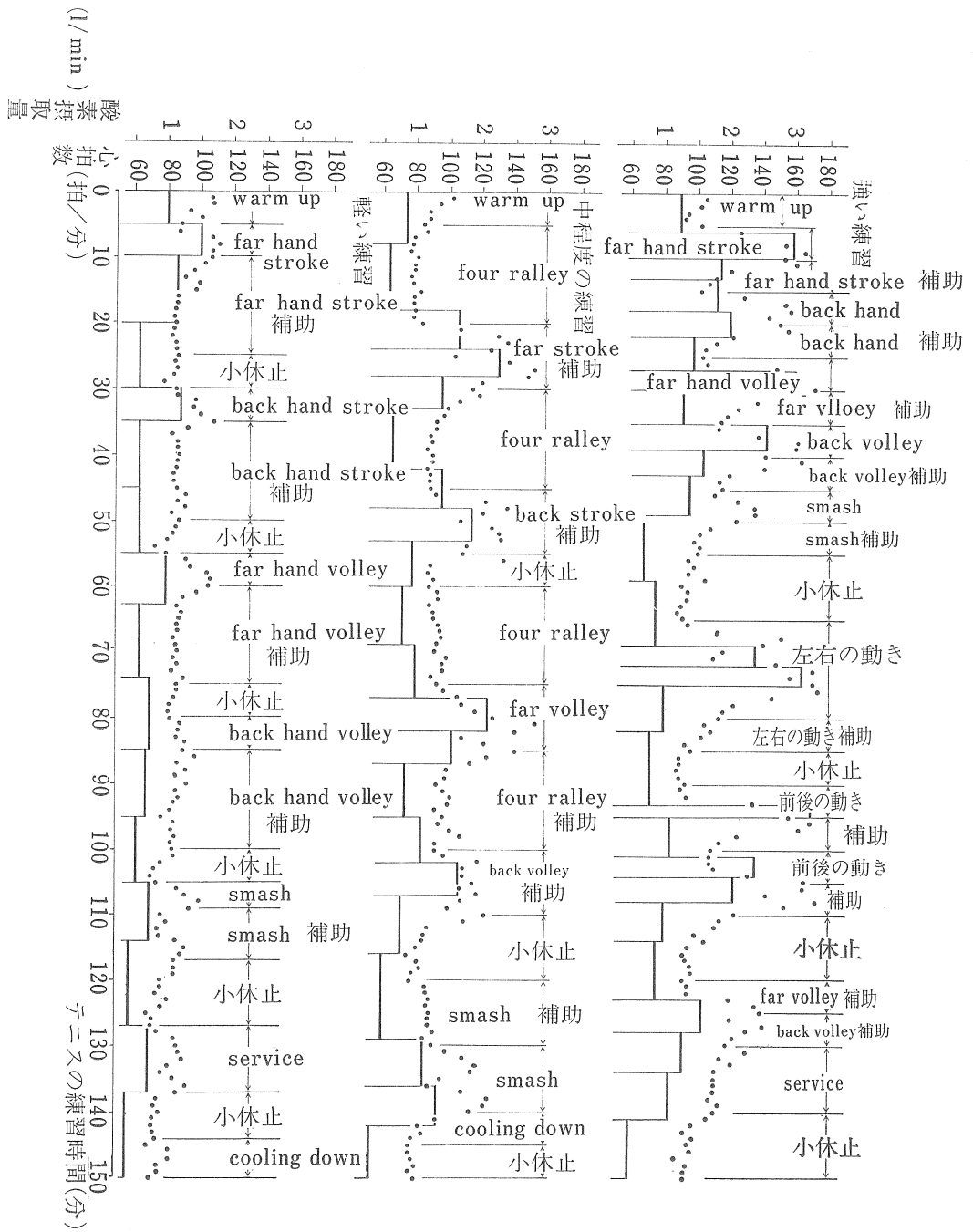


図1 テニス練習時の心拍数と酸素摂取量

量は、363~2,267ml/min で、1,500ml/min のレベルを越える時間は約40分で、全体の約27%であった。

「強い練習」をねらったプログラムを消化した際の心拍数は、88~173拍/分に分布し、練習時間の約40%・60分が120拍/分のレベルを越えていた。酸素摂取量は、491~3,238ml/min に分布し、全練習時間の約31%・46分が1,500ml/min のレベルを越え、そのうち約16分が2,500ml/min のレベルを越えた。

b. 練習時の積算心拍数とエネルギー所要量

軽、中、強3種の練習時の積算心拍数とエネルギー所要量を図2に示した。但し、図中積算心拍数のプロットは、練習開始時より5分ごとに累計していた積算心拍数であり、エネルギー所要量は、30分ごとの累計値である。すなわち、図2は、3種の練習時積算心拍数とエネルギー所要量の両者を、時間を追って加算されて行く様子を観察したものである。そして、両者の累計して行く時間を30分ごとに合せ、その定数を示したのが表2である。練習時間を150分と同じにし、練習の内容・プログラムを変え、プログラマー（指導者）の推測で練習量（エネルギー所要量）が軽、中、強の3段階になる練習を行なわせ、その際の積算心拍数とエネルギー所要量を実測した。「軽い練習」時150分と積算心拍数（ $\Sigma H.R.$ ）は12,994拍、エネルギー所要量（ Σcal ）は538.2calであり、「中程度の練習」時の $\Sigma H.R.$ は14,811拍、 Σcal は780.3calであった。また、「強い練習」時の $\Sigma H.R.$ は18,159拍、 Σcal は1,035calであった。すなわち、150分の同一練習時間内で、 $\Sigma H.R.$ 、 Σcal ともにプログラマーの推測通り軽、中、強の順に大きな値が得られた。

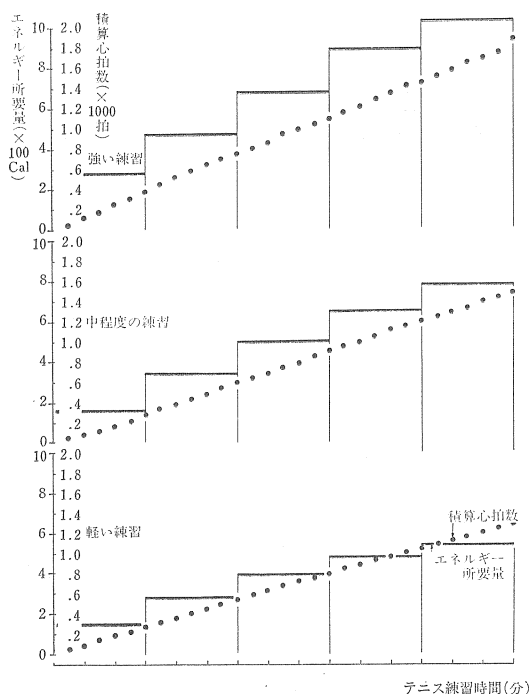


図2 テニス練習時の積算心拍数とエネルギー所要量

c. テニス練習時の積算心拍数とエネルギー所要量との相関

横軸に積算心拍数、縦軸にエネルギー所要量ととり、表2に示す実測値をプロットして、両者の相関関係を観察したのが図3である。表2に示す30分ごとに累計していた積算心拍数とエネルギー所要量15対の実測値の相関を求めると、 $r = 0.959$ の相関係数が得られ、積算心拍数からエネルギー所要量を推定する際の標準誤差（ S_{yx} ）は、 $\pm 73 cal$ であった。また、練習時間150分で、軽、中、強3日間の積算心拍数とエネルギー所要量との相関は、 $r = 0.988$ 、 $Y = 0.0939x - 651$ 、 $S_{yx} = 54.7$ であった。

表2 テニスの練習開始時より30分ごとの積算心拍数（ $\Sigma H.R.$ ）とエネルギー所要量（ Σcal ）

練習開始 よりの時間 分	軽い練習		中程度の練習		強い練習	
	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal
30	2,761	148.5	2,680	157.1	3,880	282.9
60	5,739	278.1	5,985	342.0	7,429	472.7
90	8,497	385.7	8,829	503.2	11,292	679.4
120	11,094	475.5	11,716	653.4	14,966	897.9
150	12,994	538.2	14,811	780.3	18,159	1,035.0

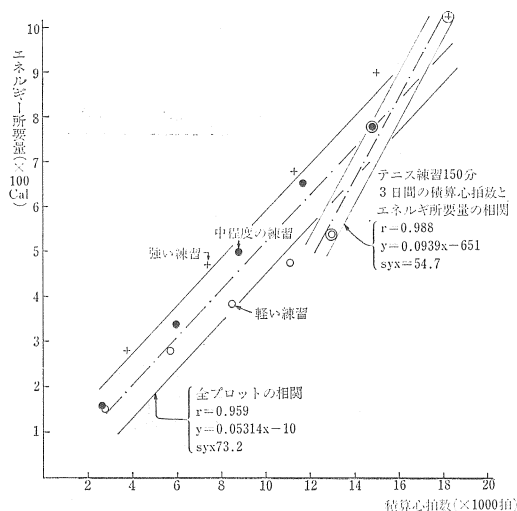


図3 テニス練習時の積算心拍数とエネルギー所要量との相関

15対の実測値より得られた相関は、いわば練習時間30分から150分までの任意の積算心拍数とエネルギー所要量についての相関であり、有意な相関が得られてはいるものゝ、例えば、積算心拍数5,000拍時のエネルギー所要量の推定値は250 cal \pm 73で、推定の標準誤差が30%近くもあり、また、積算心拍数側からみれば、 $\pm 1,000$ 拍違っても同じエネルギー所要量である可能性があり、実際には少積算心拍数、短時間の積算心拍数は使用しがたいと考えられる。一方、練習時間150分について得られた相関係数 $r=0.988$ は、個数 $n=3$ の係数なので、統計的には有意といいがたいが、推定の標準誤差は $\pm 10\%$ 程度になるので、使用できる可能性もあると考えられる。

2) 卓球練習時の積算心拍数とエネルギー所要量

a. 練習時の心拍数と酸素摂取量のレベル

150分の同一練習時間で、練習量が軽、中、強の3段階になるようにと意図した3回の卓球練習プログラムを、被検者K. I.が実施した際の心拍数と酸素摂取量を図4に示した。

「軽い練習」時の心拍数は、77~120拍/分に分布したが、110拍/分を越える心拍数を示した時間は、合せて15分程度しかなかった。酸素摂取量は、271~945ml/minに分布し、大半が、750ml/min、体重当り13ml/kg \cdot min以下であった。

「中程度の練習」時の心拍数は、96~178拍/分に分布し、140拍/分以上のレベルを示した時間が全体の40% (60分)で、そのうちの30分間は160拍/分以上の心拍数であった。酸素摂取量は、356~2,355ml/minに分布し、1,500ml/min (体重当り約26ml/kg \cdot min)以上の摂取量を示した練習時間は約47分であった。

「強い練習」時の心拍数は、70~178拍/分に分布し、140拍/分以上の心拍数を示した練習時間は、「中程度の練習」時より若干少なく52分、また160拍/分以上を示した練習時間も少なく24分であった。酸素摂取量は、395~2,453ml/minに分布し、1,500ml/min以上の摂取量を示した練習時間は約45分であった。

b. 練習時の積算心拍数とエネルギー所要量

練習開始時より5分ごとに累計した積算心拍数と、30分ごとに累計したエネルギー所要量を図5に示した。また、30分ごとに累計した積算心拍数とエネルギー所要量の実数を表3に示した。

表2に示すごとく、「軽い練習」150分間の積算心拍数($\Sigma H.R.$)は14,917拍、エネルギー所要量(Σcal)は504.3calであり、「中程度の練習」時の $\Sigma H.R.$ は20,138拍、 Σcal は916.8cal、「強い練習」時は $\Sigma H.R.=18,881$ 拍、 $\Sigma cal=923.8cal$ であった。「軽い練習」については、練習内容をプログラムしたひとの意図通り、軽、中、強3回の練習の中で $\Sigma cal=$ 練習量、 $\Sigma H.R.$ ともに一番少なかったが、「中程度の練習」と「強い練習」とを比較すると、「強い練習」の方がわずかに7cal多かっただけで、練習量の差はほとんどなかった。なお、 $\Sigma H.R.$ は「中程度の練習」の方が1,257拍多かった。

c. 卓球練習時の積算心拍数とエネルギー所要量との相関

表3に示す15対の $\Sigma H.R.$ と Σcal との相関関係を観察すると、図6の通りである。すなわち、15対全プロットの相関は、 $r=0.952$ 、 $Syx=86.5$ で、練習時間150分の3回のトータル $\Sigma H.R.$ と Σcal との相関は、 $r=0.969$ 、 $Syx=84.1$ であった。

以上、卓球練習時の $\Sigma H.R.$ と Σcal との相関は、前記テニス練習時の $\Sigma H.R.$ と Σcal との相関(図3)に比して、相関係数も若干低く、推定

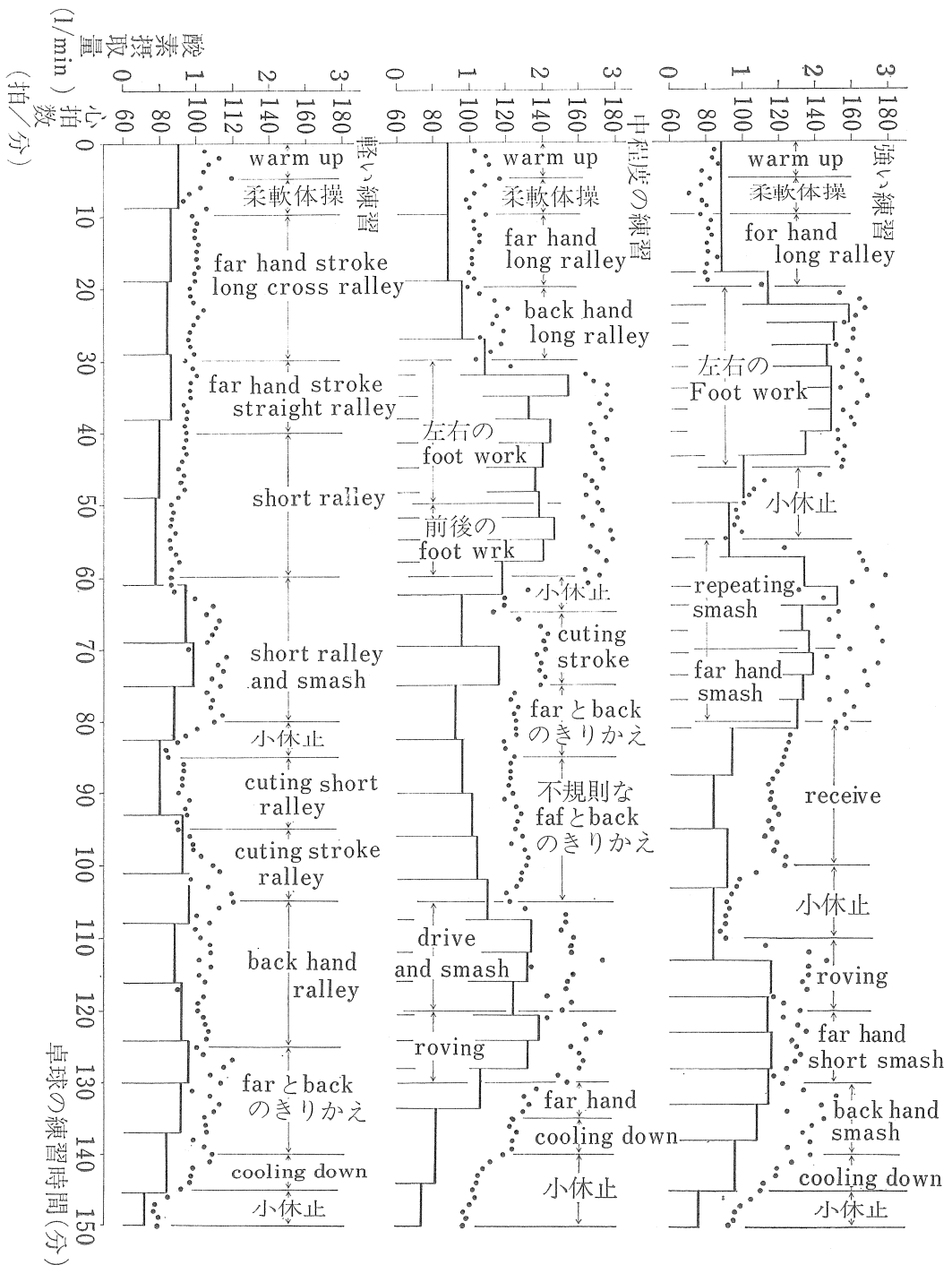


図4 卓球練習時の心拍数と酸素摂取量

表 3 卓球の練習時間開始時より30分ごとの積算心拍数 ($\Sigma H.R.$) とエネルギー所要量 (Σcal)

練習開始 よりの時間 分	軽い練習		中程度の練習		強い練習	
	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal	$\Sigma H.R.$ 拍	Σcal
30	3,018	96.7	3,476	132.6	3,341	190.3
60	5,850	180.2	7,906	402.6	7,675	418.2
90	9,092	297.3	12,107	565.9	11,643	629.9
120	12,305	416.1	16,910	808.8	14,921	752.5
150	14,917	504.3	20,138	916.8	18,881	923.8

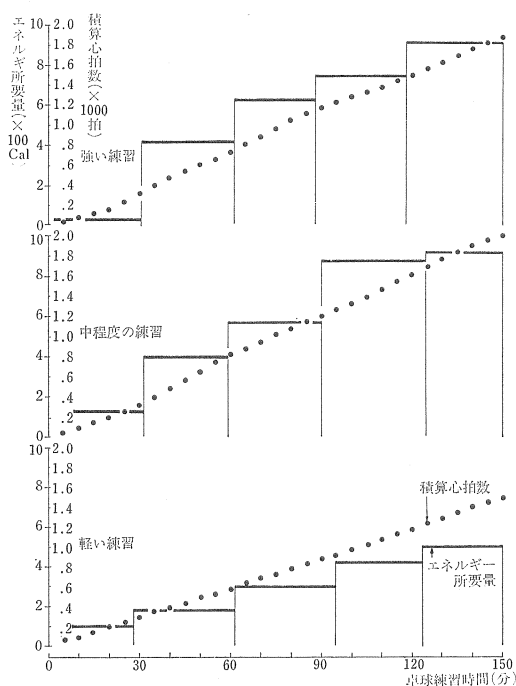


図 5 卓球練習時の積算心拍数エネルギー所要量

の標準誤差も大きかった。卓球練習時の方が相関関係が低かった原因としては、被検者の差もあると思うが、テニスの方が軽、中、強と都合よく3段階の測定値が得られたのに比し、卓球の方は、軽、強の2段階の測定値しか得られなかった統計的な都合の良し悪しも関係していると思う。また、両種目の練習時の運動強度の高低差も関係していると考えられる。図1及び4に示す両種目の練習中の心拍数、酸素摂取量の高低差を観察すると、卓球の方の高低差が大きい。すなわち、卓球の方が1回心拍出量が大きくことなる練習プログラムであったことが関係していると考えられる。

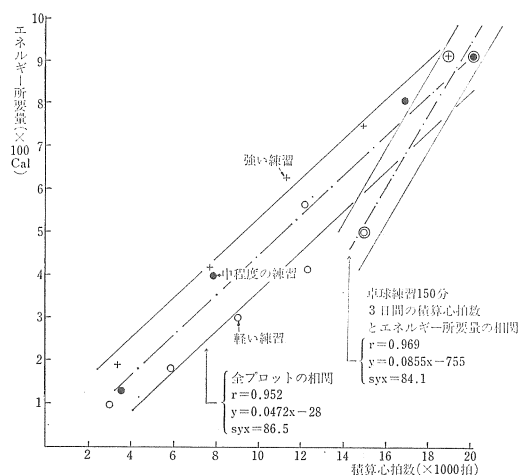


図 6 卓球練習時の積算心拍数とエネルギー所要量との相関

積算心拍数からエネルギー所要量を推定する際の問題は、心拍数のレベルにより1回心拍出量のことなることである。本研究は、この1回心拍出量の問題があるにもかかわらず、種々様々な1回心拍出量の積み重ねである長時間の積算心拍数が、実測したエネルギー所要量とどのような関係にあるか、推定の誤差はどの程度になるのか、それは実際の使用に適する否かを検討している。

今回、比較的運動の形態が複雑なテニス及び卓球の練習を具体例としてとりあげ、練習時間内の積算心拍数と対応する実測のエネルギー所要量との関係を検討すると、両者に有意な相関が得られるものゝ、30分程度の短時間、5,000拍程度の小積算心拍数では、推定するエネルギー所要量の誤差が大きく、実際の使用には適さないと考えられる。しかし、2時間、15,000拍程度の積算心拍数になれば、 $\pm 10\%$ 前後の誤差で、エネルギー所要量が得られるものと考えられる。

3) 第2報の追加実験— $\dot{V}O_2\max$ とエネルギー所要量推定1次式の勾配との関係—

a. 6時間の積算心拍数とエネルギー所要量
第2報と同様、被検者S. T. 及びK. S. 両名に同一研究所の労作で軽い労作、普通労作、重い労

作の3段階を意識させ、1日6時間の3日間につき積算心拍数($\Sigma H.R.$)とエネルギー所要量(Σcal)とを測定した。両被検者の測定結果は以下の通りである。

被 検 者	軽 い 労 作		普 通 労 作		重 い 労 作	
	$\Sigma H.R.$	Σcal	$\Sigma H.R.$	Σcal	$\Sigma H.R.$	Σcal
S. T.	26,648	416.9	30,566	500.2	35,516	867.1
K. S.	22,629	500.6	25,927	727.8	28,141	1,031.3

第2報の実験で得た4被検者の値は、軽い労作の日は、 $\Sigma H.R.$ が22,356~2,675拍、 Σcal は375~648cal、普通労作の日は、 $\Sigma H.R.$ 22,802~27,356拍、 Σcal 607~931calで、重い労作の日は $\Sigma H.R.$ 30,201~33,808拍、 Σcal 1,024~1,294calなので、今回得た被検者S. T.の普通労作と重い労作の値は、第2報に比して若干低いが、本研究のねらいである被検者の酸素摂取能と、 $\Sigma H.R.$ から Σcal を推定する際の回帰1次式の勾配との検討については、支障があるとは考えられなかった。すなわち、第2報の結果に上記両名の結果を加えて検討してよいと考えられた。

b. 積算心拍数からエネルギー所要量を推定する回帰式

第2報に記す通り、1日6時間で3日間の $\Sigma H.R.$ と Σcal から、1時間値、2時間値、3時間値の $\Sigma H.R.$ と Σcal とを取りだし、被検者別に $\Sigma H.R.$ から Σcal の回帰式を求めると、以下の通りであった。

被検者T. A. $Y=0.0366x-44$

M. M. $Y=0.0272x-47$

K. K. $Y=0.0297x-22$

S. I. $Y=0.0377x-83$

同様の方法で、今回の実験の両被検者につき回帰式を求めると、以下の通りであった。

被検者K. S. $Y=0.0304x-2$

S. T. $Y=0.0215x-55$

c. 回帰式の勾配と $\dot{V}O_2\max$ との相関

第2報の被検者4名と追加実験の被検者2名の積算心拍数からエネルギー所要量を推定する際の回帰1次式、 $Y=ax+b$ のa、すなわち直接式の勾配と酸素摂取能 $\dot{V}O_2\max/w$ を記すと、以下の

通りである。

被検者	a	$\dot{V}O_2\max/w$ (ml/kg·min)
T. A.	0.0366	50.11
M. M.	0.0272	39.65
K. K.	0.0297	50.06
S. I.	0.0377	61.73
K. S.	0.0304	50.32
S. T.	0.0215	42.10

そして、aと $\dot{V}O_2\max/w$ との相関関係をみたのが図7である。図7に示す通り、回帰1次式の勾配aと被検者の酸素摂取能 $\dot{V}O_2\max/w$ の間には、 $r=0.814$ で5%水準の相関が得られた。すなわち、第2報で推測したことが、統計的にも考えられることになった。

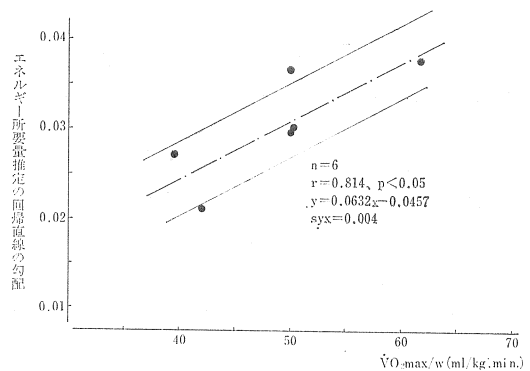


図7 $\dot{V}O_2\max/w$ とエネルギー所要量推定の回帰直線 ($Y=ax+b$) の勾配 (a) との相関

3. ま と め

1) 経験年数11年、年齢22歳の某大学男子テニス選手1名、及び経験年数7年、年齢21歳の男子卓球選手1名を被検者とし、テニス及び卓球の

練習時の積算心拍数 ($\Sigma H.R.$) とエネルギー所要量 (Σcal) との関係を検討した。

- 2) 被検者が行なったテニス及び卓球の練習は、いずれも練習時間が150分で、推測により練習量(エネルギー所要量)が軽、中、強の3段階になるようにとプログラムされた3回の練習であった。
- 3) テニスの「軽い練習」時の $\Sigma H.R.$ は12,994拍、 Σcal は538calで、「中程度の練習」時の $\Sigma H.R.$ は14,881拍、 Σcal は780calであり、「強い練習」時の $\Sigma H.R.$ は18,159拍、 Σcal は1,035calであった。
- 4) 卓球の「軽い練習」時の $\Sigma H.R.$ は14,917拍、 Σcal は504calで、「中程度の練習」時の $\Sigma H.R.$ は20,138拍、 Σcal は917calで、「強い練習」時の $\Sigma H.R.$ は18,881拍、 Σcal は924calであった。
- 5) テニス練習時の $\Sigma H.R.$ と Σcal との間には、 $r=0.959$ 、あるいは $r=0.988$ の相関係数が得られ、卓球練習時の $\Sigma H.R.$ と Σcal との間には、 $r=0.952$ 、あるいは $r=0.969$ の相関係数が得られたものゝ、練習時間が30分、 $\Sigma H.R.$ が5,000

拍では、 $\Sigma H.R.$ から Σcal を推定することは誤差が多く危険であると考えられた。しかし、練習時間が2時間、 $\Sigma H.R.$ が15,000拍程度になれば、テニスあるいは卓球のような運動の形態が複雑な練習においても、 $\pm 10\%$ 前後の誤差で $\Sigma H.R.$ から Σcal を推定できる可能性があると考えられた。

- 6) $\Sigma H.R.$ から Σcal を推定する際の回帰1次式 $Y=ax+b$ の a と、被検者の酸素摂取能 $\dot{V}O_2 \max/w$ との関係を検討する目的で、第2報の追加実験を行なった。
- 7) 回帰1次式の勾配 a と被検者の $\dot{V}O_2 \max/w$ との間には、 $r=0.814$ 、5%水準の相関が得られ、第2報では推測したことが統計的にも立証された。

参 考 文 献

- 1) 積算心拍数と運動量との関係について、黒田善雄、北嶋久雄、他。昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. X。
- 2) 積算心拍数と運動量との関係について一第2報、黒田善雄、塚越克己、他。昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. X。

昭和53年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学委員会

委員長	黒田 善雄 (東京大学教養学部)	委員	鈴木慎次郎 (国立栄養研究所)
委員	朝比奈一男 (中京大学体育学部)	〃	名取 礼二 (慈恵会医科大学)
〃	東 俊郎 (順天堂大学附属病院)	〃	松井 秀治 (名古屋大学)
〃	浅見 俊雄 (東京大学教養学部)	〃	松田 岩男 (筑波大学体育科学系)
〃	石河 利寛 (順天堂大学体育学部)	〃	飯塚 鉄雄 (東京都立大学)
〃	小野 三嗣 (東京学芸大学保健体育科)	〃	宮下 充正 (東京大学教育学部)
〃	桑野 豊 (筑波大学体育科学系)	〃	村山 正博 (東大附属病院第2内科)
〃	高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院整形)	〃	福山 信義 (㈱中央食品)
〃	塚脇 伸作 (早稲田大学)	〃	山川 純 (日本女子体育大学)
〃	中嶋 寛之 (関東労災病院整形)	〃	醍醐 敏郎 (警察大学)

日本体育協会 スポーツ科学研究所

研究員 塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 松井美智子
伊藤 静夫

昭和53年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究報告 Vol. 2, 1978

編集代表者 黒田 善雄

発行者 鈴木 祐一

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育館

TEL (03) 467-3111

