

3. 柔道練習中の酸素摂取量と心拍数

大阪体育大学 金子 公 有
岩 田 勝
富 岡 理

〔1〕研究方法と個人別の測定結果について

柔道人なら誰でも、その練習がいかに激しい運動であるかを感覚的に知っている。しかしながら、ではその強さはどの程度かと問われると、返答に困るに違いない。事実、この間に対して満足な回答を与え得る科学的資料は、残念ながらまだない。運動強度は一般に「単位時間に消費したエネルギー量または物理的仕事」によって表わされる。我が国においては古くからエネルギー代謝率（RMR）、すなわち

$$\text{エネルギー代謝率} = \frac{\text{運動代謝} - \text{安静代謝}}{\text{基礎代謝}}$$

の指標によって、各種スポーツの運動強度が調べられて来た。柔道に関しても、小川たち（1958）²⁾が基本の投技を数回試行する際のエネルギー代謝率を調べ、この種の柔道分析の口火を切っている。エネルギー消費量を測定するには、先ず被検者に蛇管を連結したマスクをとりつけ、ダグラスバッグに呼気を採集することが必要である。乱取練習のような激しい運動では、施技者の運動を制限したり、呼気ガスの連続採気がむずかしいことなどの理由によって、この種の実験が敬遠されて来たように思われる。かつて猪飼と金子（1969）¹⁾が、テレメーターで柔道練習中の心拍数（心臓の拍動数）を追跡し、その水準から間接的に運動強度を推定したのも、エネルギー消費量測定のみずかしさ故にほかならない。

この研究は前述のような施技者の運動制限等の難かしさを承知の上で、敢て酸素摂取量（酸素1l ≒ 5 kcal のエネルギー）の測定を試み、あわせて、テレメーター（無線搬送記録器）により心拍数を追跡して、柔道練習の運動強度を知ろうとした。

研究方法

(1) 被検者：8年以上の柔道経験をもつO大学柔道部員5名でその特徴は表1の通りである。

表1 被 検 者 の 特 徴

被検者	年 令 (才)	柔道歴 (年)	段 位 (段)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	胸 囲 (cm)	最大酸素 摂 取 量 (l/分)	5 分 走テスト (m/5分)
Y. S.	24	12	3	163	63	100	—	—
S. N.	22	10	3	163	64	93	3.39	1200
Y. Y.	20	8	2	168	70	89	3.87	1275
S. M.	20	8	2	168	72	90	3.06	1149
S. I.	20	8	3	173	100	108	4.22	1023



図1 心電図記録用の電極保護バンドとテレメーター送信器の装着

(2) 心拍数の測定：医用テレメーター 171B 型（三栄測器製）を使い，胸部双極誘導の心電図を追跡記録して，1分毎の全棘数を数え心拍数（拍／分）を得た。柔道練習においては電極が汗や柔道衣の摩擦によって皮膚面から剝離し易いため，サージカルテープで入念に貼布した上から，更にゴムバンドで固定するように工夫した（図1）。また送信器（600g， $10 \times 3.5 \times 8.3$ cm）のコネクター部の振動が著るしいノイズを惹き起すため充分に補強すると共に，送信器の破損と競技者への傷害を避ける為に，全体を厚くガーゼで覆い腹部に固定した（図1）。

(3) 酸素摂取量の測定：呼気ガスの採取はダグラスバッグ法で，長さ1メートルの蛇管に三方コックをつけて連続採気が出るようにした。マスクも固定バンドを工

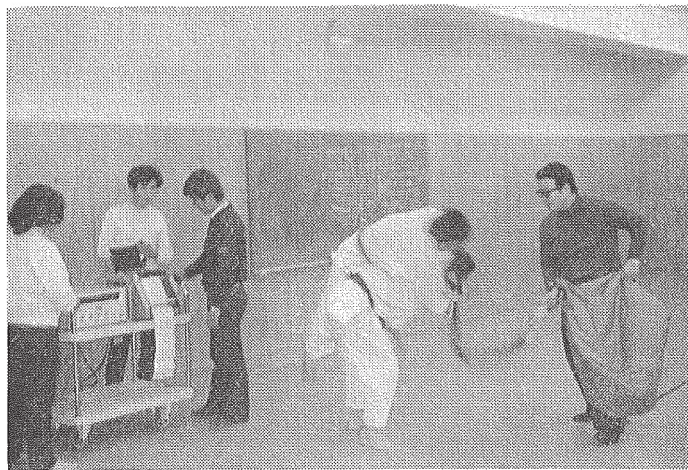


図2 実験風景：呼気ガスの採取（左）と心電図の記録

夫して入念に装着し呼気の漏れを防ぐよう留意し，また吸入口（金属管）に危険防止のゴム帯を巻いた。測定に当っては被検者が出来るだけ自由に施技出来るように，検者はバッグを持って素速く移動する様つとめた（図2）。採取された呼気ガスを乾式ガスメーターで計量して換気量（BTPS）を求め，同時に一部サンプルを労研式ガス分析器にかけて酸素含量（%）を得て，両者を乗じて酸素摂取量（STPD）を算出した。

(4) 練習方法：日頃の柔道部練習と実験の便宜を考慮して，図3のような二つのプログラムを作成した。すなわち実験 I (Exp. I) は最初の方で打込練習 (W-up) をし，乱取練習 (E) を4分づつ

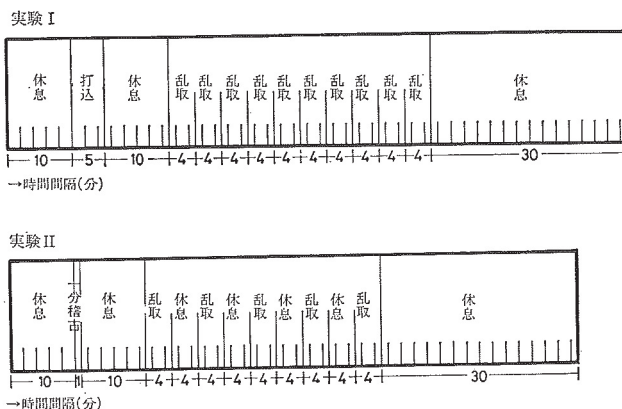


図 3 実験のための練習プログラム

10人の相手と連続的に40分間行う。実験 II (Exp. II) では、最初の部分に1分間稽古 (E') をおき、乱取練習は4分ずつの乱取 (E) の間に休息 (R) を挿んで行う方法である。打込と1分稽古に続く10分の休息や、乱取練習後の30分の休息は実験の都合 (回復経過の観察) で設けたものである。実験 I と II は異った日に実施した (1人2実験, 計10実験)。なお日常のO大学柔道部の練習では多くの場合この実験 I と II の両者が併せて実施され、更に寝技練習が実施されているが、本実験では測定の困難さから今回寝技を省略した。

このプログラムに基く実験の他に、柔道練習を他の運動強度と比較する目的で、トレッドミル走とグラウンド走を加え最大酸素摂取量などを決定した。

実験結果

〔I〕 個人別測定結果について

まず (例数も少ないこと故)

測定成績を個人別に提示 (図 4～8) し、その特徴を記述しよう。各図は先に記した練習プログラム (Exp. I II) の時間経過に伴う心拍数 Heart Rate (拍/分) と酸素摂取量 $\dot{V}O_2$ (l/min) の変

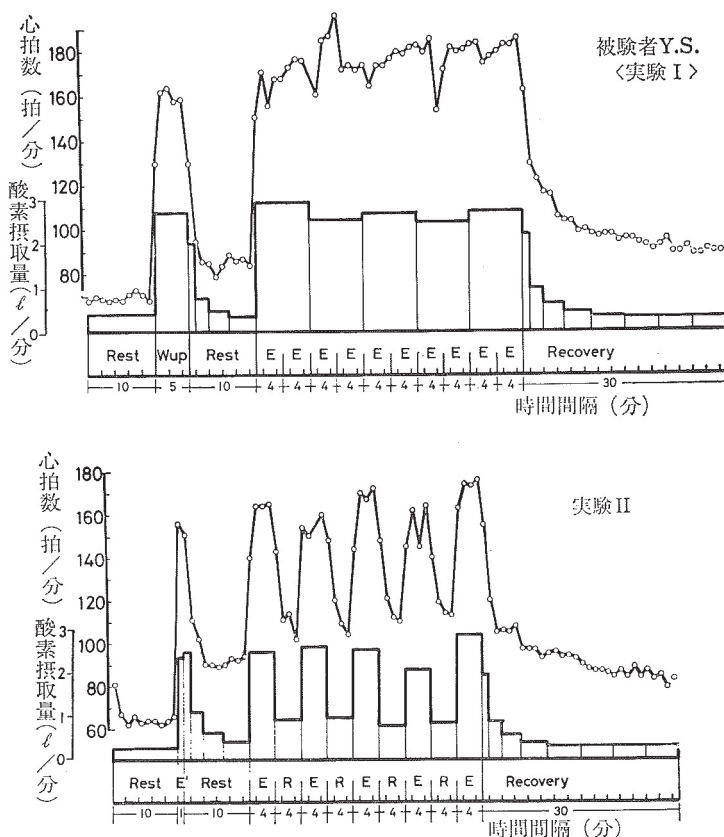


図 4 Y. S. 選手についての測定結果 (記号は3図参照)

化を示している。心拍数は正常時（人）においては脈拍数に等しいし、また酸素摂取量も酸素消費量に等しいと考えて差しつかえない。酸素1リットルの燃焼は約5キロカロリーのエネルギー消費に相当する。

(1) Y・S選手（軽量級） の場合（図4）

心拍数(—○—)に注目すると、実験Ⅰにおいて、5分間の打込練習(w-up)中に160拍/分に達し、続く10分の休息で85拍/分まで回復している。連続乱取練習に入り、前半の5本(20分間)までに約175拍/分となり、後半には殆んど終始180拍/分の水準にある。心拍数が180拍/分上るのは一般に、持久的な運動に於けるほぼ上限であるから、この意味でも連続乱取に際して極めて強い負担が心臓に加わっているとみてよい。乱取終了後の心拍数の回復は120拍/分になるのに3分、100拍/分になるのに8～10分を要している。

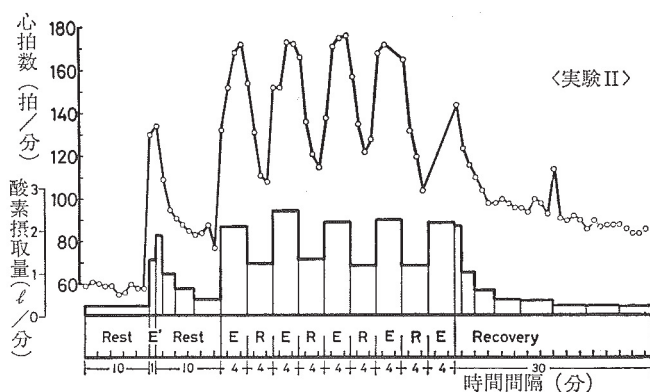
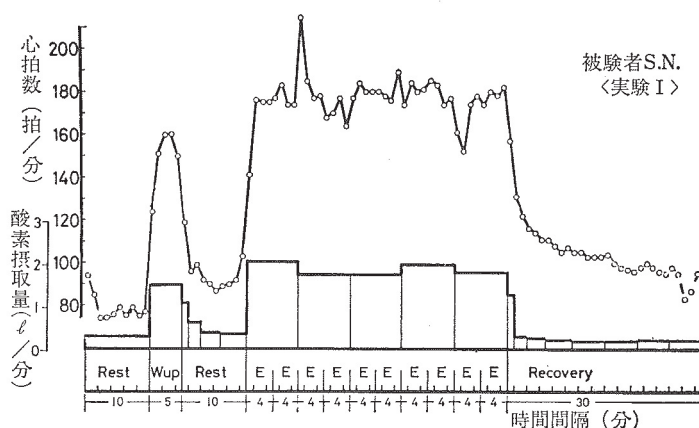


図5 S. N. 選手についての測定結果

同じく心拍数の推移を実験Ⅱについてみよう。1分稽古(E')で約160拍/分、乱取中のピークが160前後から最高でも172拍/分であって、連続乱取より(当然のことながら)かなり低い。また乱取間の休息時心拍数は、1回目から順に102, 104, 110, 113拍/分と高まり、回復が遅くなる状況がみられる。一方酸素摂取量を概観すると、実験Ⅰの打込練習が2.68l/分、連続乱取中が2.50～2.90l/分(体重当り39.7～46.3ml/kg/分)であり、その終了後は約15分ではほぼ安静時のレベルに戻る。実験Ⅱの1分稽古は運動時の酸素摂取(2.39l/分)より回復時1分目のそれ(2.52l/分)の方が高く、同様の傾向が他の被検者に共通して認められた。このことは、1分稽古の場合被検者が一方的に攻撃を繰り返す練習法であった為に、酸素の供給が追いつかず無酸素的に運動が遂行されたことを示唆している。この被検者の場合、休息を挿む乱取でも、運動時だけをみると連続乱取(実験Ⅰ)の酸素摂取量と殆んど変わらない。また乱取間の休息時酸素摂取量は平常安静時の約3～4倍である。

(2) S・N選手（軽量級）の場合（図5）

心拍数が打込練習で160、連続乱取練習で約180拍/分という点では先のY・S選手と似ているが、その高まり方がこの選手の場合速く、乱取開始直後から180拍/分に達している。また8分目に214拍/分が記録されているが、このような高い心拍数は先のY・S選手にもみられ、猪飼と金子(1969)も観察している。これは恐らく、乱取という激しい運動に身体が充分適応しない為に起っ

た一過性の頻脈と考えられる。

実験Ⅱの乱取時心拍数は高々175拍/分で、連続乱取の場合より明らかに低い。最終乱取中に記録が途絶えたが、全体的傾向からみて180拍/分に達しなかったと推定される。酸素摂取量はこの選手の場合著しく低く、連続乱取と休息を挿む乱取のいずれに於ても、約2.0l/分(体重当り31ml/kg/分)程度であった。

(3) Y・Y選手(中量級)

の場合(図6)

実験Ⅰに於ける乱取時心拍数は典型的な漸増傾向を示し、約140から徐々に増加して終末時点では190拍/分に達した。しかし乱取40分間のうち38分目までは180拍/分に達しない水準にあるから、全般的にはそれほど高い心拍数ではない。実験Ⅱの乱取に於ても最初と最後が175~180拍、中間の乱取では150~160拍程度である。いずれも最後の乱取で著明な心拍数増加がみられるが、そこには疲労と「終末努力」の両者が反映したものであろう。一方の酸素摂取量は、両実験とも心拍数の変動と平行して増減している。連続乱取では1.93l/分(25.8ml/kg/分)から2.84l/分(40.6ml/kg/分)が記録され、終末時点では身体負担が著しく強かったことを物語っている。しかし休息挿入の乱取では最高でも1.96l/分である。

(4) S・M選手(中量級)の場合(図7)

心拍数の高まりが極めて著明で打込練習でも170拍/分(他の選手は160拍/分)となり、連続乱取に入ると最初から180拍の水準に上がり約30分間ほぼ同水準が続く。その後一時やや低下したが終末時に再び上昇し190拍/分に達した。実験Ⅱに於ても1分練習の平均心拍数が175まで上昇し、乱取中のピークも終始170~180拍/分にある。乱取間の休息時心拍数も比較的高い(約120~130拍/分)。酸素摂取量の変動も心拍数のそれとほぼ呼応したパターンを示しているが、その全般的水準は低い(平均1.68l/分)。連続乱取終末で心拍数が著しい上昇を示した時点で酸素摂取量はそれ程高くならず、その直後(回復時)にむしろ上昇していることは、最終乱取量が恐らく比較的無酸素的に行われたことを示すものと解される。また実験Ⅱの乱取に於て比較的高い酸素摂取量(約2.4l/分)を示したのもこの選手の特徴である。

(5) S・I選手(重量級)の場合(図8)

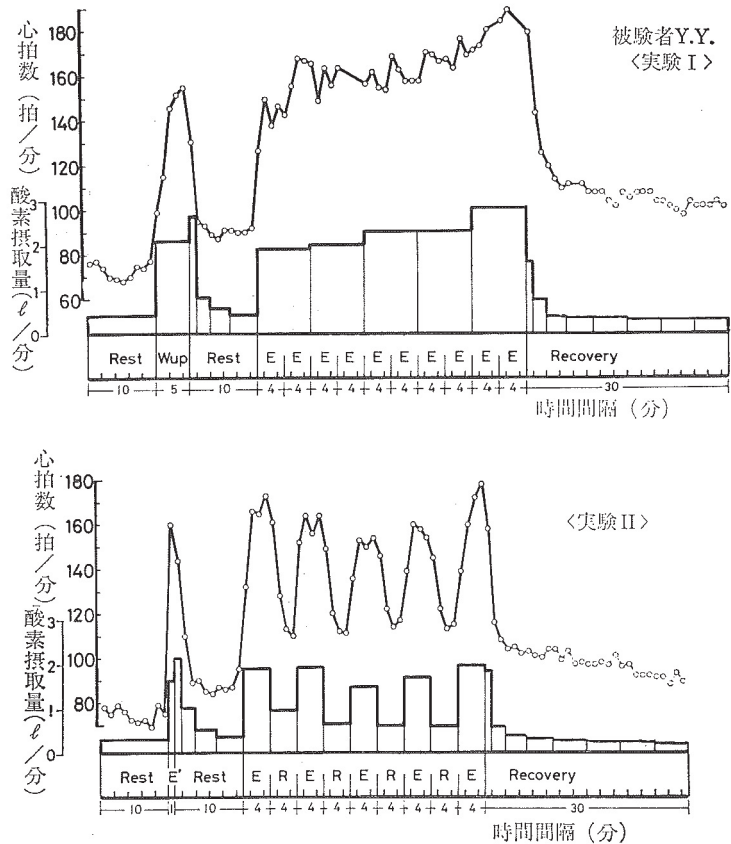


図6 Y・Y選手についての測定結果

唯一の重量級被検者である。実験Ⅰの連続乱取における心拍数は140～180拍／分の間で3つの大きな周期的変動を見せている。このように一定間隔での心拍数低下（運動強度の低下）が見られるのも、恐らく体重100kgという重量級選手故に出来たマイペースの徴候ではないかと思われる。実験Ⅱの乱取時心拍数も150拍／分前後で、他の選手より著しく低い。連続乱取時の酸素摂取量は体重が大きいので2.10～3.20l/分とかなり多いが、体重当りにすると21.0～32.0ml/kg/分となり他の選手と変らない。休息挿入の乱取では約2.0l/分（20.0ml/kg/分）であるからむしろ他のケースより低い。

以上、僅かな測定事例である為に、先ず個人別にその特徴を記述した。次にこれら結果を基に、果して柔道練習がおおよその程度の運動強度であるかを、他の運動や相対値を用いて比較検討する。

〔2〕 運動強度についての考察

実験結果

〔Ⅱ〕 柔道練習の運動強度について

前述の個人別特徴に続いて、今回は柔道練習の強度（intensity）に注目し、それがおおよその程度であるかを考察したい。心拍数と酸素摂取量の水準を全体的に把握し易くする為に（特に運動時の）値を平均化して観察しよう。

(1) 心拍数からみた運動強度：図9～11は、各練習方法における心拍数の経過を示している（各点は全被検者についての平均値、継線は標準偏差）。1分稽古（図9左：12秒間隔で時間の縮尺を拡大）と打込練習（図9右）では、ほぼ160拍／分になる。但し後者の方が高まり方が遅くこの水準に達するのに2～3分を要する。変差も比較的小さく、高々±10拍とみてよい。心拍数の上限は一般に180～190拍／分であるから、この程度の心拍数で心臓機能にそれほど大きな負担がかかっているとは言えない。図10に於て、40分間の連続乱取（4分×10人）の心拍数をみると、殆んどの時間

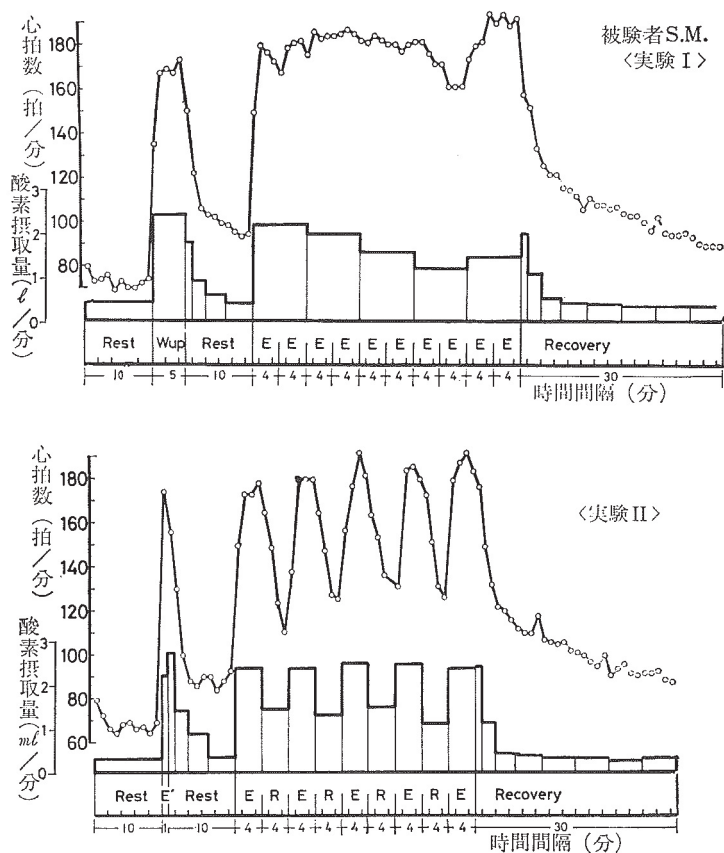


図7 S. M. 選手についての測定結果

170 拍/分前後にあって、終末時点で 180 拍/分になる。しかし、標準偏差の上限や先に記述した個人別結果が示すように、個人によっては乱取の初期から 180 拍/分またはそれ以上にも達していることに注意する必要がある。一方休息を挿入しつつ行う乱取練習(図11)では、その平均値が160~165拍/分であって、連続乱取に比べると5~10拍/分低い。しかし、個人によっては毎回の乱取で175~180拍/分を記録した例もある。このように連続乱取に於て、数10分にも及ぶ高頻度の心拍数持続はすでに猪飼と金子(1969)¹⁾が指摘しているように、柔道練習の物理的負荷が幾分かは調節し得る(トレッドミル走などでは一定負荷が強制される)ためにあり得ることと解したい。いずれにしても、心拍数からみて、柔道練習が極めて強い刺激を心臓に与えていることは確かである。

(2) エネルギー消費からみた運動強度：

各練習時の酸素摂取量の平均値と標準偏差を図12に示し、乱取中のそれは表2に数値を記した。1分稽古(E')では2.28l/分、打込み練習(W-UP)では2.08l/分の平均酸素摂取量で、標準偏差は共に約±0.5l/分である。図12と表2で乱取中の経過をみると、最初と最後が高く中間がやや低い。これを更に平均化すると、連続乱取が2.28l/分、休息を含む乱取が2.17/分となる(尤も前者には0.4~0.6分の、後

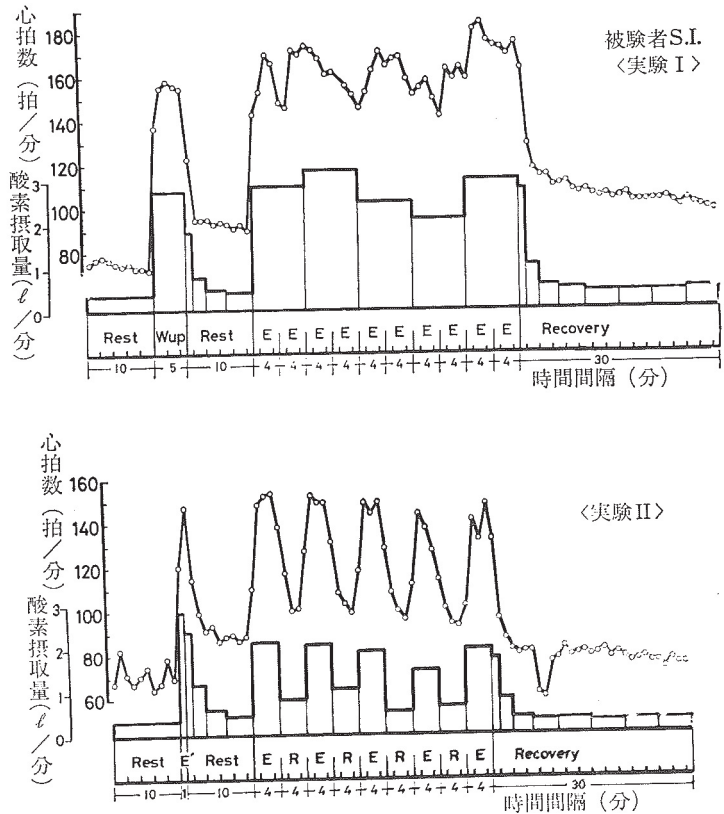


図8 S. I. 選手についての測定結果

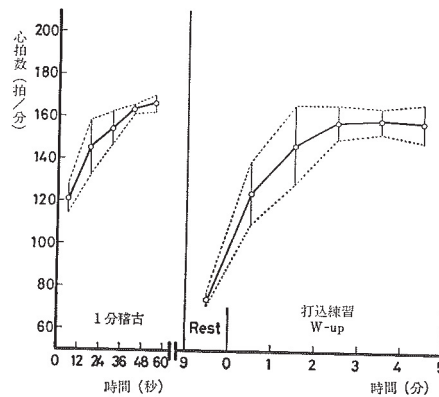


図9 1分稽古と打込練習中の心拍数(平均と標準偏差)

は0.2~0.4/分の偏差がある)。この結果からみると、どの運動形式においてもその時間内に酸素によって賄った(単位時間当りの)エネルギー量は余り変わらないということになる。ではこの程度の酸素摂取量は、グラウンドを走った場合に、どの程度のスピードで走ることに相当するであろうか。この課題を金子と豊岡(1973)³⁾によるノモグラムを利用して考えてみよう。このノモグラムでは、5分走テスト(5分間に走り得る距離を測る)の平均スピード(V_0)を100%として、任意のスピード(% V_0)で走ると、その時の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)の最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)に対する値に一致するというものである。たとえば、 V_0 の50%のスピードで走ると酸素摂取量も $\dot{V}O_{2max}$ の50%になる。幸いこの為の資料は前述の表1に示したように、すでに調べてあるので、これを基に計算してみると、柔道練習中の酸素摂取量は最大酸素摂取量の約55~65%になり、また走るスピー

ドに換算するとおよそ130~150m/分となる。但し連続乱取のように40分もこの水準の運動が持続する場合は、酸素によるエネルギー消費総量が他の場合と著るしく異なることは言うまでもない。

一般に(我が国では)運動強度の示標として、エネルギー代謝率がよく用いられる。この指数は、単位時間内に運動に費したエネルギー代謝が基礎代謝の何倍であるかを意味する。運動に費すエネルギーには先の運動時酸素摂取量の他に、無酸素的反応のエネルギーがあって、その量は回復時の酸素摂取量(酸素負債:無酸素エネルギーの復元)から知ることが出来る。この研究の実験条件では酸素負債量を知るにはやや回復時間が不充分であるが、目安をつける為にその量を計算し、エネルギー代謝率の算出を試みた(表3)。その結果(平均)は、1分練習が31.6で最も高く、次に打込み練習(10.8)連続乱取(8.5)休息含みの乱取(6.6)の順となった。一般に持続時間の短かく激しい運動ほどRMRが高いことが知られており、この結果もその例にもれない。小川たち(1958)²⁾の報告によると基本投技のRMRは20近い値を示しているが、それは数本の投技におけるもので本実験のように相当な時間持続する練習の場合と一概に比較することは出来ない。他のスポーツ練習(又は試合)のRMR⁴⁾ではラグビー、バスケットが柔道の連続乱取と類似した値を示している。

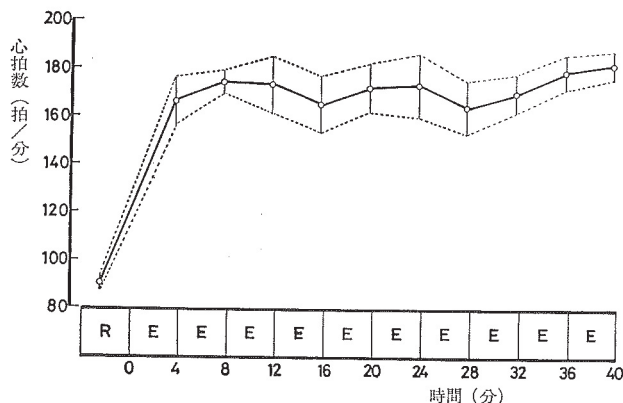


図10 連続乱取中の心拍数(平均と標準偏差)

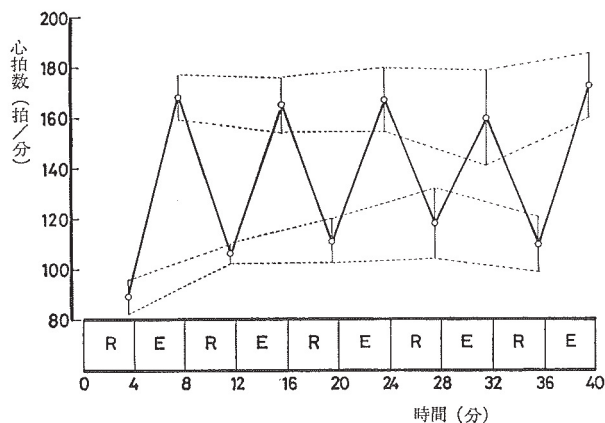


図11 休息を挿む乱取中の心拍数(平均と標準偏差)

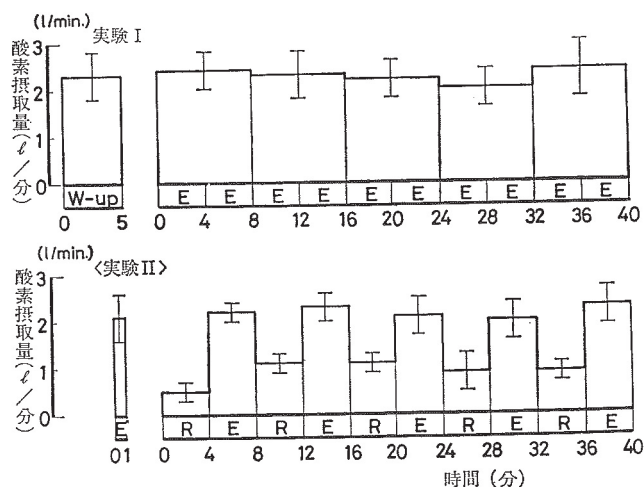


図12 各練習中の酸素摂取量 (平均と標準偏差)

W-upは打込練習, E'は1分稽古,
Eは乱取, Rは休息

表2 柔道練習中の酸素摂取量 (平均±標準偏差: 1/分) の時間経過

時間間隔(分)	実験 I	実験 II
0 ~ 4	E	R
4 ~ 8	E	E
8 ~ 12	E	R
12 ~ 16	E	E
16 ~ 20	E	R
20 ~ 24	E	E
24 ~ 28	E	R
28 ~ 32	E	E
32 ~ 36	E	R
36 ~ 40	E	E
打込稽古	2.28±0.45	—
1分稽古	—	2.08±0.53

＜まとめ＞

大学柔道部員5名を被検者に、柔道練習中の心拍数と酸素摂取量を連続的に測定した結果、運動強度に係する示標は次のようであった。

(1) 心拍数は打込練習と、1分稽古において約160~170拍/分に達する。連続乱取(4分×10人=40分)では180拍/分~190拍/分にも上昇し、180拍/分の心拍数水準が約30分余も続くことがある。休息(4分づつ)を挿む乱取(4分×5人)では、連続乱取時より約5~10拍/分低い。

(2) 酸素摂取量は、各種練習方法の平均値に大差なく約2.1~2.3l/分(体重当り28~31ml/kg/分)である。しかし連続乱取中には約3l/分(体重当り39ml/kg/分)に達する(3名)ことがある。

(3) 柔道練習中の酸素摂取量(平均は最大酸素摂取量の55~60%の水準にあり、130~150m/分のスピードのグランド走に相当すると推定される。

(4) エネルギー代謝率(RMR)は1分稽古が31.6で最も高く、打込練習(10.8)、連続乱取(8.5)、休息挿入の乱取(6.6)の順である。連続乱取(40分)はラグビー、バスケットボールと

表3 柔道練習におけるエネルギー代謝率(RMR)

被検者	打込練習	1分稽古	連続乱取*	休息挿入** 乱取
Y. S.	13.3	37.4	11.3	8.1
S. N.	7.6	28.3	7.3	8.0
Y. Y.	10.8	24.8	8.5	4.0
S. M.	11.0	39.3	5.7	7.8
S. I.	11.4	28.1	9.8	4.3
平均	10.8	31.6	8.5	6.6
標準偏差	1.8	5.7	1.9	1.7

* 4分×10人の連続 ** 4分づつ休息を挿む乱取(休息時を含めて計算)

類似した運動強度を与えるものと推定される。

参考文献

- 1) 猪飼道夫, 金子公宥: 柔道練習中の心拍数変動—テレメトリによる— 講道館・柔道科学研究会紀要 3: 63~68, 1969
- 2) 小川新吉他: 柔道基本的投技におけるエネルギー代謝 講道館・柔道科学研究会紀要 1: 67~73, 1958
- 3) 金子公宥, 豊岡示朗: 運動処方の作成〔Ⅱ〕フィールド走による負荷強度の設定 体育の科学 23(3): 157~159, 1973
- 4) 山岡誠一: スポーツと栄養「スポーツ医学」231~262 体育の科学社 1964