

正課体育「剣道」による学習効果について

—効率からみた打動作—

坂神通良 (*名古屋市立今池中学校教諭)

鬼頭伸和 (愛知教育大学)

寺澤健次 (愛知教育大学)

鳥海清司 (**富山大学)

Learning Effects in Curricular Physical Education "Kendo"

—Hit movement efficiency—

- | | |
|----------------------|---|
| *Michiyoshi SAKAGAMI | (Imaike junior high school in Nagoya) |
| Nobukazu KITO | (Department of Health and Physical Education) |
| Kenji TERASAWA | (Department of Health and Physical Education) |
| **Seiji TORIUMI | (Toyama university) |

I 結 言

身体運動の巧みさは、最大のエネルギーを発揮して、最大の運動成果を得ることではなく、制御・調節してエネルギーを発揮して最適かつ最大の運動成果を得ることである。このために、運動技能を習得することは、重要なことである。技能習得は、正確性あるいは再現性がある「動き」を確立していく過程である。この運動技能を習得する過程において、身体運動を最適に調節するため、神経系の情報処理機能は重大な要素である。しかし、この機能を測定する方法は、身体運動の企画の最終結果として発現した身体の動きや、それによって生じた物体の動きを視覚的に観察法などの手法からみていく以外にない。つまりこの点を明らかにするには、運動成果(performance)を見ていくのが最良の手段と考えられる。

猪飼³⁾は、 $Performance = Skill \times Physical Resources$ という公式を提唱している。この式は、身体能力(Physical Resources)と身体運動の結果としての Performance とを比較すれば、Skill を客観的に評価することが可能であることを意味している。そこで実際に運動を行っている際に発揮している Physical Resources とその結果としての Performance とを比較して、Skill がどう関与しているか見ようとするものである。

本研究においては、剣道の基本技能を習得していく授業学習過程において、授業前・後の2時点で、「跳躍素振り運動」という動作を対象として、身体運動で消費されたエネルギー量(Physical Resources)とそれによってなされた仕事量(Performance)を測定し、授業前後の効率を比較することにより、授業学習による skill (動作の巧みさ)の向上を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

1. 被 検 者

愛知県立S高校（昭和58～60年の3年間，文部省格技推進指定校），高校1年生男子で，剣道部所属男子4名（経験者群）および一般男子11名（一般群）を対象とした。被験者の身体的特性は表1に示した。

2. 測定方法および測定期間

剣道の授業にはいる前の時点が授業前とし，剣道の授業16単元（時間配当については図1参照）終了時点が授業後とした。

表1 被験者の身体的特性

Group	n	Height (m)	Body Mass (kg)
経験者群	4	1.67 (.03)	61.25 (10.44)
一般群	11	1.70 (.07)	59.67 (6.27)

Values are Mean ± (S.D)

授業観察記録期間 10/2～12/15

時間	回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10分		オリエンテーション	構え方 体さばき 正面素振			防具の脱着	跳躍素振り	体さばき 正面・上下・跳躍素振り			切り返し テスト	体さばき 正面・上下素振り 跳躍素振り					
20分	切り返し							3段打ち									
30分	小手・胴打ち							引き技・応じ技									
40分	2段打ち							パターン練習									
50分	打ち込み練習							地稽古									
		面打ち					切り返し										

図1. 正課体育「剣道」の時間配当

授業前…'89. 9/30, 10/1測定, 授業後…'89. 12/16, 17日測定

被検者は椅座位の姿勢で, 10分間安静(安静時の代謝量測定)をとった。そして, 前方約2mで各被検者の頭頂部の高さに設定した目標ラインを目安として, 70回/分のピッチで

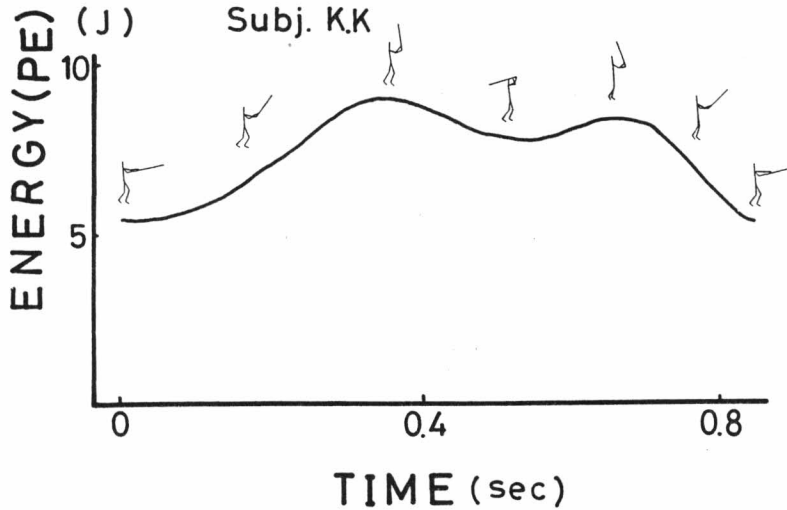


図2 「跳躍素振り運動」で, 一振りする間の竹刀の位置エネルギー (PE) の変化曲線

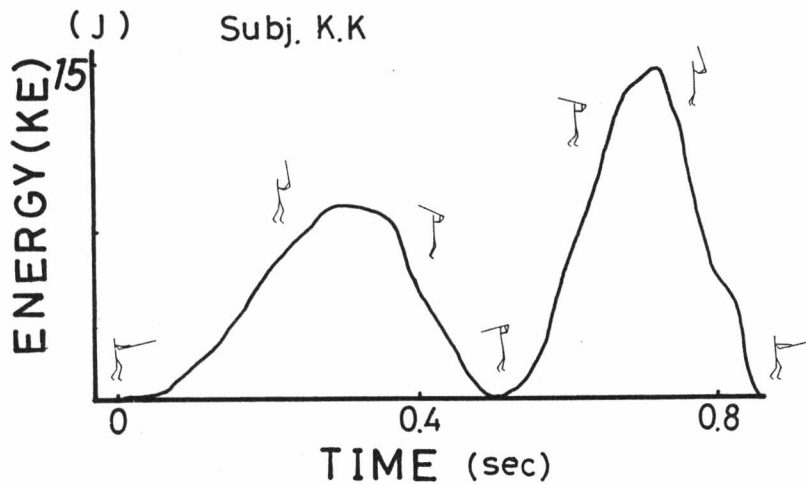


図3 「跳躍素振り運動」で, 一振りする間の竹刀の運動エネルギー (KE) 変化曲線

1分間の「跳躍素振り運動」を行った。運動終了後10分間椅座位の姿勢で回復させた。跳躍素振り運動は, 竹刀を1振りする間に2跳躍(右足, 左足を前後に入れかえての跳躍)するという動作である。

酸素摂取量の測定は, 安静時(運動前10分), 運動中(1分)及び回復時(運動後10分)の呼気をダグラスバック法にて採集し, 瞬時ガス分析器(1H-21, 日本電気三栄社製)

を用いて解析した。

機械的仕事量の測定は、側方8.5mより nac 社製のハイスピードビデオカメラ (HSV-400) で200コマ/秒のフィルムスピードで撮影した。得られたフィルムから、予め竹刀にマークされた先端部および柄頭部の座標値を得、竹刀の重心の位置変化を求めた。得られた運動力学変量 (時系列データ) より次のように竹刀の力学的エネルギーを求めた。ある瞬間の竹刀の力学的エネルギー (TE_i) を

$$\begin{aligned} TE_i &= PE_i + KE_i + RE_i \\ &= | mgh_i^2 | + | 1/2mv_i^2 | + | 1/2\ell w_i^2 | \end{aligned}$$

TE; 竹刀全体の力学的エネルギー, i; 時間 (film frame), PE; 竹刀の位置エネルギー, KE; 竹刀の運動エネルギー, RE; 竹刀の回転エネルギー, m; 竹刀の質量 (0.45kg), v; 竹刀の速度, ℓ; 竹刀の重心点回りの慣性モーメント, w; 竹刀の角速度とした。なお、竹刀の位置エネルギー (PE) 変化曲線と、運動エネルギー (KE) 変化曲線は、それぞれ図2, 図3に示した。

さらに、竹刀の力学的エネルギーから、次のようにして、竹刀のなした仕事量を求めた。²⁾⁵⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 竹刀のなした仕事量 (WTE) を

$$\begin{aligned} WTE &= \sum_{i=1}^n (| PE_i - PE_{i-1} | + | KE_i - KE_{i-1} | \\ &\quad + | RE_i - RE_{i-1} |) \end{aligned}$$

とした。

3. 効率 (Efficiency) の算出法

本研究においては、効率を Net E から算出した。

$$E = \text{機械的仕事量} \times 100 \div (\text{運動時エネルギー代謝量} - \text{安静時エネルギー代謝量})$$

なお、エネルギー代謝量は、酸素消費量1ℓ = 2153Jの換算率を用いて求めた。

III 結果と考察

1. エネルギー消費量について

エネルギー消費量は、一般群と経験者群を比較して、授業前・後ともに、経験者群が高い値を示した (図4)。この結果については、同じ条件下において運動を実施させているので、経験者群の方が少ないエネルギー消費量で運動すると予想されたが、反対の結果が得られた。これは、同じ条件を設定したにもかかわらず、「跳躍素振り運動」での動作の違いが両群間において生じたためによるものと思われる。未熟練者では、終始肩関節の動きが少なく、振り上げも不十分で、振り下ろし動作では腕力を主とした打撃法で叩き付けたような打撃法 (餅つき型) がなされるという報告がある。¹⁾ 本実験においても、一般群は授業前で、餅つき型の打撃動作であったと思われる。しかし、一般群は、授業前・後においてエネルギー消費量で有意な差が認められ、その値は増加した。このことは、生徒が学習過程において、「跳躍素振り運動」をよりエネルギーを用いて、言い換えれば大きい合理的な動作 (肩関節の動きが大きく、十分な振り上げから振り下ろし動作が起きる) がとれるようになり、授業効果が認められたと考えられる。

2. 仕事量について

竹刀全体のなした仕事量 (WTE) について、授業前・後の変化をみると、一般群には有意な ($P < 0.01$) 差が認められたが、経験者群ではほとんど値が変化していない (図 5)。以上のことから、一般群では「跳躍素振り運動」の仕事量が増加し、授業の学習効果が認められたが、経験者群では、動作が授業前からすでにパターン化 (自動化) されており、変化が認められなかったと思われる。

次に WTE の構成成分である、WPE (竹刀の位置エネルギー変化量に基づく仕事量)、WKE (竹刀の運動エネルギー変化量に基づく仕事量)、WRE (竹刀の回転エネルギー変化

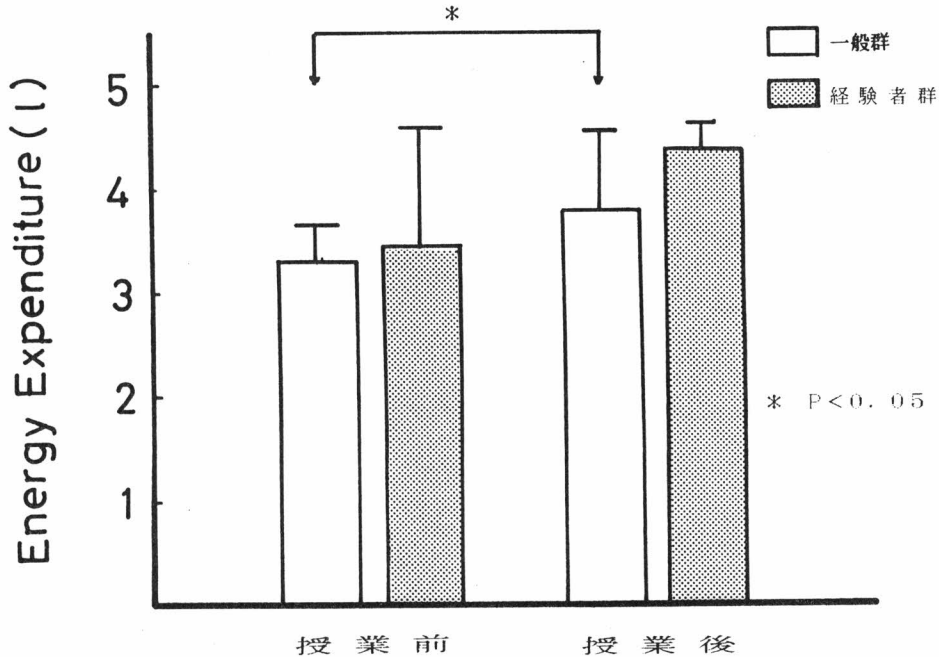


図 4 授業前後での 1 分間の「跳躍素振り運動」におけるエネルギー消費量

量に基づく仕事量) から検討してみる。授業前・後の変化を見ると、一般群では、WPE, WKE, WRE ともに有意な差が認められたが、経験者群ではどの成分も有意な差は認められなかった。以上より、授業の効果で一般群では、竹刀の仕事量を構成する全ての成分で改善が認められたのに対し、経験者群では、動作がパターン化されていたため、どの成分でも変化が認められなかったと考えられる。ここで見逃してならない点は WRE 成分である (図 6)。確かに、竹刀のなした全仕事量を構成する WRE の占める割合は数値的に低い。しかし、剣道の打撃動作において、WRE、つまり竹刀の回転運動による仕事は重要な意味を含んでいる。この点に関して次のように報告がある。⁴⁾ 鍛錬者の動きを見ると、きめ (振り下ろした竹刀をどこか適切な位置でとめる瞬間のこと) 以前においては、なるべく回転のアームを長くして、できるだけ竹刀全体のスピードが大きくなるように振り下ろしているものが、きめの瞬間から、柄頭の位置が固定され、竹刀の並進運動の要素が柄頭を回転中心とする回転運動に変わるとしている。このことは WRE の重要性を示唆するものである。本実験において竹刀の全仕事量を構成する成分の中で唯一、WRE が、授業前で

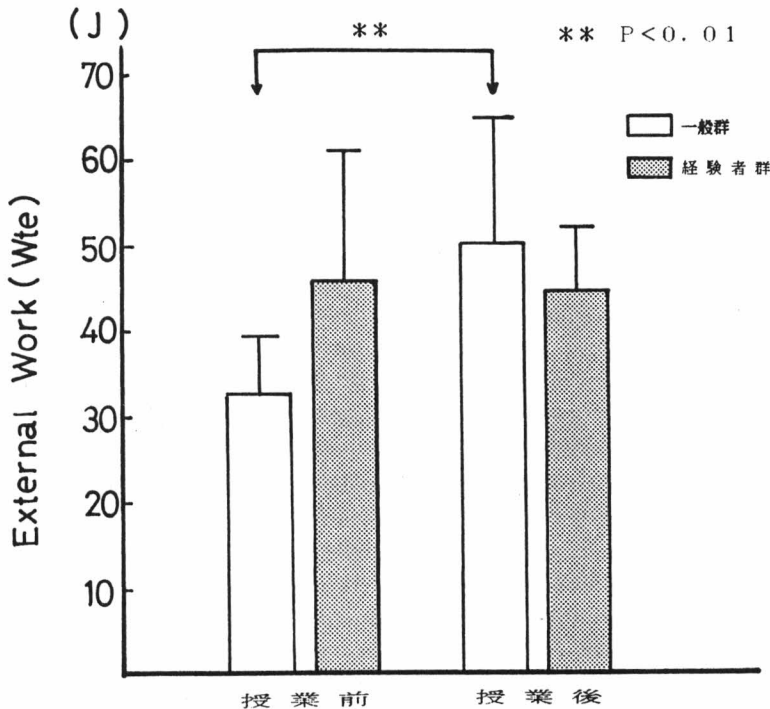


図5 竹刀が一振りする間に発揮した仕事量

両群間に有意な差 ($P < 0.01$) が認められたが、授業後では、両群間に有意差は認められなくなった。このことは、一般群では、授業の効果により竹刀の回転を促す動作の改善があったのかは明かにはできないが、興味ある結果と言えよう。

3. 効率について

両群間を比較すると、授業前において一般群の方が低い値を示し、有意な差 ($P < 0.05$) が認められたが、授業後では有意差は認められなかった。また一般群だけに授業後の値が増加し、授業前・後で有意な差 ($P < 0.001$) が認められた (図7)。これは一般群は、授業の学習効果で剣道の基本動作が効率の点からみると改善されたと言える。一方経験者群では効率の改善がみられなかった。これは、経験者群では、授業前から「跳躍素振り運動」をパターン化していたので授業前・後で変化が認められなかったのに対し、一般群では、この技能について学習過程で、筋・神経系を含め、何らかの機能的変化が出現したのではないかと推察される。一般群が、授業での学習を通じて、動作をパターン化する⁹⁾レベルに到達したかは疑問であるが、学習過程の初期の段階にみられるフィードバック制御が働き、動作の調整が良くなったと考えられる。また、本実験での「跳躍素振り運動」は、連続的に跳躍しながら竹刀を振るといふ、筋肉の収縮・弛緩によってなされるリズムカルな動作である。したがって、このような動作においては、相反神経支配が重要であり、この働きが良くなり、筋活動の協調 (coordination) が機能的に行われるようになったとも考えられる。これを裏づけるものとして、筋電図研究からみた報告がある。小野ら⁹⁾は、熟練者は打撃に際して上腕三頭筋を有効に使用し、しかもその瞬間に上腕二頭筋は十分に弛緩させ、未熟練者では上腕二頭筋と三頭筋が同時に収縮することが珍しくないとしている。この点

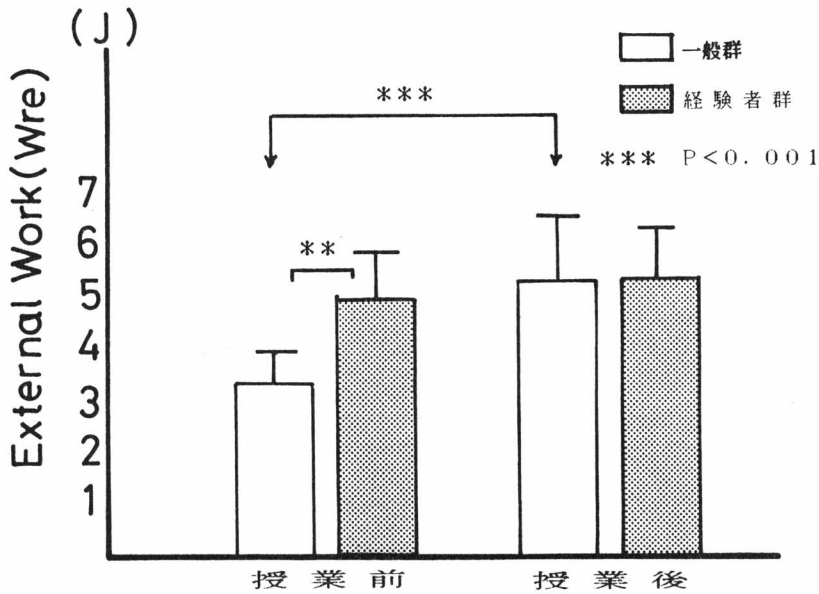


図6 竹刀が一振りする間に発揮した回転エネルギー変化量もとづく仕事量

から、経験者群が神経系による筋活動の協調(coordination)が機能的に行われているのに対して、一般群では、ぎこちない動作が発現するのは、筋の同時収縮に起因すると考えられる。さらに一步進んで、授業前において、「跳躍素振り運動」のスキルの低い一般群では、筋運動を α 運動単位(alpha motoneurons)で誘発していたものが、スキルが向上した授業後では、 γ 運動単位(gamma motoneurons)が共同して機能する α - γ 連関の働きが関与して、動作が変容した³⁾とも解釈できる。

今回は「跳躍素振り運動」を対象として、打撃動作の効率から学習の効果を検討しようと試みた。授業前後における個別の効率変化から、個人内において、この動作のエネルギー利用の経済性の変化は見る事ができる(表2)。しかしどの程度この動作が習熟したか、あるいは授業指導の方法論の良否については明確ではない。ただ、剣道では「気・剣・体の一致」という表現が用いられるように、動作の協調性がきわめて重要で、調整力の果たす役割は大きい。今回の実験では、打撃動作の効率を指標として、正課体育「剣道」の学習効果の一面(動作の協調性)を、客観的に評価したものと思われる。

IV. 総 括

本研究では、剣道の「跳躍素振り運動」の効率を指標として、高校の正課体育「剣道」の授業前・後を比較し、学習効果を明らかにすることを目的として、次のような結果が得られた。

- 1) 一般群はエネルギー消費量において、授業後に有意な($P < 0.05$)増加が認めら

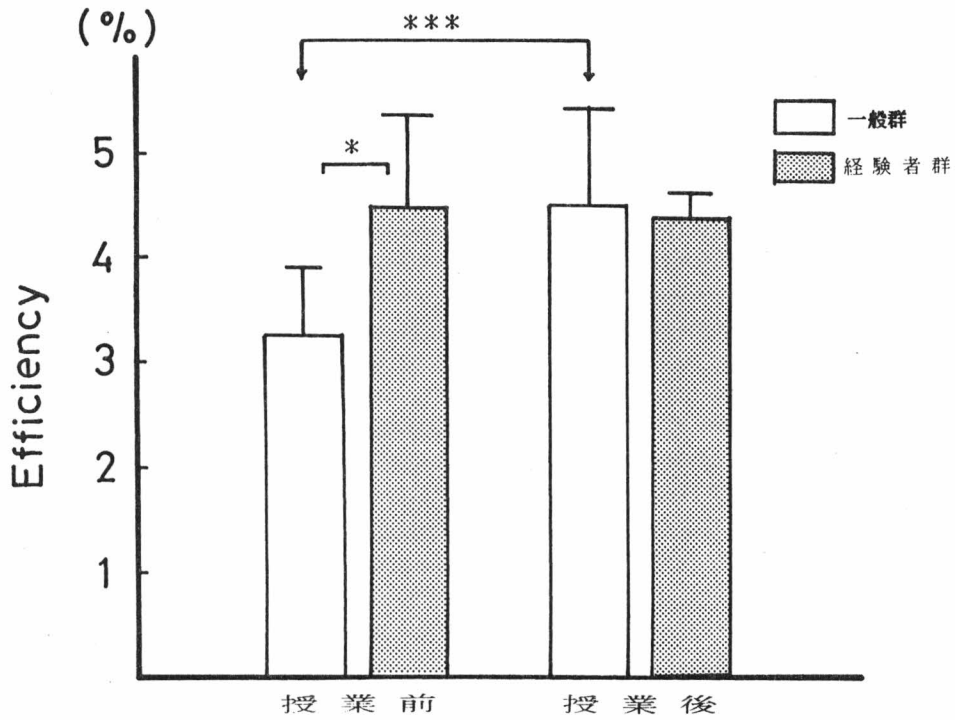


図7 授業前後での「跳躍素振り運動」の効率

表2 「跳躍素振り運動」における個別の効率変化
一般群 経験者群

NAME	授業前の効率 (%)	変化	授業後の効率 (%)
M. H	2.48	↑	5.04
H. T	3.27	↑	5.01
D. M	2.86	↑	4.76
S. K	2.51	↓	2.35
H. F	3.65	↑	5.47
K. O	3.05	↑	3.55
M. M	2.26	↑	3.98
K. K	4.22	↑	5.76
Z. N	3.92	↑	4.83
W. M	3.95	↓	3.81
N. K	3.77	↑	5.03
MEAN	3.26		4.5
S. D	0.64		0.94

NAME	授業前の効率 (%)	変化	授業後の効率 (%)
K. I	3.42	↑	4.47
T. O	3.75	↑	4.18
T. M	5.34	↓	4.71
N. F	5.43	↓	4.14
MEAN	4.48		4.37
S. D	0.9		0.23

↑ ; 増加 ↓ ; 減少

れた。

- 2) 一般群は各仕事量(WTE, WPE, WKE, WRE)において, 授業後に有意な(WTE ; $P < 0.01$, WPE ; $p < 0.01$, WKE ; $P < 0.01$, WRE ; $P < 0.001$)増加が認められた。
- 3) 一般群は効率において, 授業後に有意な ($P < 0.001$) 増加が認められたが, 経験者群では変化が認められなかった。
- 4) 以上のことから, 一般群は授業の学習を通して, 打撃動作において, 体内のエネルギーをより高く消費するようになったが, それ以上に竹刀の仕事量を増加される様な動作に改善された。そして相反神経支配の改善などによる調整力が働き, 円滑な動作が行えるようになり効率が良くなったと推察される。高校の剣道の正課体育授業は, 学習内容によって, その目標とするところは多くあるが, 効率の面からみると, 一般生徒は, 動作の改善が期待できると思われる。

本研究を遂行するにあたり, 愛知県立昭和高等学校保健体育科教諭中川治彦氏および生徒の皆様にも全面的な御協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 青山憲好, 「剣道競技の打撃動作の分析的考察」, 山形大学紀要 (教育科学), 第4巻, 第3号 (1968)
- 2) Cavagna, G and M. Kaneko : Mechanical work and efficiency in level walking and running, *J. Physiol.*, 268: 467-481 (1977)
- 3) 猪飼道夫編, 身体運動の生理学, 杏林書院 (1973), P296, 300-301
- 4) 小林一敏, 「剣道における打撃について」 *体育の科学*, 16 (1966)
- 5) Margaria, R 著 (金子公有), 身体運動のエネルギー, ベースボールマガジン社 (1978)
- 6) 宮下充正編著, スポーツとスキル, 大修館書店 (1978), P262
- 7) Norman, R. W., and Komi, P. V. : Mechanical energetics of world class cross-country skiing. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3,353-369 (1987)
- 8) Norman, R., Ounpuu, S, Fraser, M and Mitchell, R : Mechanical power output and estimated metabolic rates of nordic skiers during olympic competition, *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 169-184 (1989)
- 9) 小野三嗣他, 「剣道競技者における調節能力について (第1報)」, *体力科学*, 17-1, P 1-13 (1968)
- 10) Pierrynowski, M. R., Norman, R. W. and Norman R.W : Mechanical energy transfer in treadmill walking, *Ergonomics*, 23 : P147-156 (1980)
- 11) Winter. D. A : A new definition of mechanical work done in human movement, *J. Appl. Physiol.* 46,78-83 (1979)

(平成3年9月14日受理)