

九州体育・スポーツ学研究

第19巻 第2号

〈総 説〉

筋運動時の機械的効率

— 過去および最近の動向 —得居雅人・平木場浩二..... 1

〈原 著〉

スポーツ文化の享受に関する序論的研究

— スペクテーター・スポーツを中心に —深田忠徳..... 11

小学校児童における体育授業と心身状態との因果的関連性に関する研究

.....鈴木 理・玉江和義..... 19

高齢者における Electromechanical Delay の特性

.....高瀬幸一・田口正公・柿本真弓..... 29

ストレプトゾトシン誘発 I 型糖尿病ラットの急性運動前後による

肝臓の過酸化脂質および血中 glycated LDL, 血中脂質成分の変化

.....Hyun-Tae Kim・Chul-Ho Shin・Ji-youn Kim..... 37

〈短 報〉

荷重センサ・ジャイロセンサ・加速度センサを用いた麻痺歩行動作の計測

.....古賀智美・末吉靖宏・川平和美・満園良一..... 45

〈研究資料〉

ビデオ映像による家庭用運動プログラムの有効性

「健康ながさき21エクササイズ」の場合

.....村木里志・上別府 徹・網分憲明・田原靖昭..... 49

〈事務局ニュース〉

..... 57

「九州体育・スポーツ学研究」寄稿規定

1. 《投稿資格》本誌への投稿は、原則として九州体育・スポーツ学会会員に限る。但し、編集委員会が必要と認めた場合には、会員以外にも寄稿を依頼することがある。
2. 《投稿内容》投稿内容は、総説・原著論文・実践研究・研究資料・短報・研究上の問題提起とし、完結したものに限る。
3. 《編集委員会決定事項》投稿原稿の採択および掲載時期については、編集委員会において決定する。
4. 《著作権》本誌に掲載された論文の著作権は、九州体育・スポーツ学会に属する。
5. 《倫理規定》ヒトを対象とする研究報告は、ヘルシンキ宣言の精神に沿ったものでなくてはならない。
(「<http://www2.kpu-m.ac.jp/~jkpum/toukoukitei/herusinki.htm>」参照)
6. 原稿の作成は下記の要領による。
 - 1) 《表紙記載事項》原稿の表紙には、①題目・著者名・所属機関、②その論文の内容が主として関係する研究領域、③総説・原著論文・実践研究・研究資料・短報・研究上の問題提起の別、④代表著者の連絡先を明記する。
 - 2) 《和文原稿の書式》和文原稿は、原則としてワードプロセッサで作成するものとし、A4判縦型横書き、40字20行とする。
 - 3) 総説・原著論文・実践研究・研究資料の和文原稿には、必ず別紙として、英文による題目・著者名・所属機関と抄録(300語以内)、5語以内のキーワードを添える。さらに、抄録の和文訳と和文キーワードを添付する。
 - 4) 《英文原稿の書式》英文原稿の場合は、A4判縦型用紙にダブルスペースで印字する。総説・原著論文・実践研究・研究資料の英文原稿には、必ず別紙として、和文による題目・著者名・所属機関および抄録(600字以内)を添える。
 - 5) 総説・原著論文・実践研究・研究資料は、原則として1編につき、刷り上がり10ページ以内とする(図表・抄録などを含めて、ワードプロセッサ使用の場合約15枚。400字原稿用紙約30枚。英文原稿の場合、刷り上がり1ページは約600語である)。短報・研究上の問題提起は、刷り上がり4ページ以内とする。規定ページ数を超過した場合は、その実費を投稿者が負担する。
 - 6) 《図表》図や表には、必ず通し番号とタイトルをつけ、本文とは別に番号順に一括する。図表の挿入箇所は、本文原稿の欄外に、赤インクでそれぞれの番号によって指示する。挿入図は、図中の文字や数字が直接印刷できるように鮮明に作成する。写真は白黒の鮮明な画面のものとする。
 - 7) 《引用文献》文中での文献の記載は、原則として著者・出版年方式(author-date method)とする。また引用文献は、本文の最後に著者名のABC順に一括し、定期刊行物の場合の書誌データの表記は、著者名(発行年)論文名、誌名巻(号): ページの順とする。詳細は日本体育学会「体育学研究」投稿の手引きに準ずる(日本体育学会ホームページ「<http://www.soc.nii.ac.jp/jspe3/>」参照)。
 - 8) 《提出原稿》提出する原稿は、オリジナル原稿と著者名および所属機関を削除したコピー2部の計3部とする。
 - 9) 《提出原稿》提出する原稿は、公正な審査を期するため、謝辞および付記等は原稿受理後に書き加えることとする。短報・研究上の問題提起は、刷りあがり4ページ(図表などを含めて400字原稿用紙約12枚)以内とする。
7. 《提出原稿》掲載論文の別刷りを希望する者は、著者校正の際、その必要部数をゲラ刷りの表題のページに明記する。
この場合の実費は全額投稿者負担とする。
8. 《投稿先》原稿は、九州体育・スポーツ学会事務局に送付する。
〒811-4192 宗像市赤間文教町1-1 福岡教育大学保健体育講座内
九州体育・スポーツ学会事務局長 照屋博行

(平成15年8月30日 改訂承認)

筋運動時の機械的効率

— 過去および最近の動向 —

得 居 雅 人¹⁾³⁾ ・ 平木場 浩 二²⁾³⁾

Mechanical efficiency during muscular contractions — old and recent lessons —

Masato TOKUI¹⁾³⁾ and Kohji HIRAKOBA²⁾³⁾

Abstract

A number of approaches have been addressed to the assessment of mechanical efficiency during muscular contractions. This article will focus on mechanical efficiency during muscular contractions from the principles of bioenergetics and determine how mechanical efficiency of exercising muscle *in vivo* should be evaluated. In addition, we would like to discuss the determinant factors in mechanical efficiency during exercise regarding physiological functions.

Thermodynamic efficiency (ϵ) in a system is considered to be the ratio of actually performed work ($\dot{W}$) to maximum work ($\dot{W}_{\max}$) at an ideal state without any loss of Gibbs free energy (ΔG); $\epsilon = \dot{W}/\Delta G = \dot{W}/\dot{W}_{\max}$. However, it seems inadequate to apply this notion to man machinery because it is not an ideal state. Therefore, we should use " η " as a function describing mechanical efficiency of exercising muscle instead of " ϵ " of thermodynamic efficiency. Exercising muscle under fully aerobic condition has two aspects; one is to convert ΔG of ATP hydrolysis into heat and work (contraction-coupling process), another is to resynthesize ATP via oxidation of foodstuffs (phosphorylative coupling process). From this point of view, η could be thought to consist of contraction-coupling efficiency (E_c) and phosphorylative coupling efficiency (E_p) and to be calculated theoretically from multiplying E_c by E_p ($\eta = E_c \times E_p$). Thus it is essential to know the accurate values of E_c and E_p in order to assess η in exercising muscle. Although it is substantially impossible to make precise measurements of *in vivo* E_c and E_p during exercise, η can be calculated from the ratio of external work accomplished ($\dot{W}_{\text{ext}}$) to energy expenditure ($\dot{E}$) estimated from oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) during exercise ($\eta = \dot{W}_{\text{ext}}/\dot{E}$). The previous data on the η suggest that the mechanical efficiency of exercising muscle declines as exercise intensity is increased. This would be accounted for by $\dot{V}O_2$ slow component (excess $\dot{V}O_2$) derived from exercising muscle during intense exercise above lactate threshold, probably owing to the altered muscle fibers recruitment pattern. On the other hand, it is inferred that the η could be underestimated due to different levels of internal work in exercising muscle itself. Consequently, the

1) Department of Physical Education, Kyushu Women's Junior College, 1-1 Jiyugaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 807-8586

2) Department of Human Sciences, Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, 680-4 Kawazu, Izuka-shi, Fukuoka 820-8502

3) Division of Physiological and Biochemical Adaptation, Department of Biological Functions and Engineering, Graduate School of Life Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology, 2-4 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka 808-0196

1) 九州女子短期大学体育科

2) 九州工業大学情報工学部人間科学講座

3) 九州工業大学大学院生命体工学研究科生体機能専攻生体適応システム講座

η calculated using the above mentioned method should be interpreted with caution when one type of exercise is compared to another.

Key words: Thermodynamics, Gibbs Free Energy, Man Machinery, Internal Work, Muscle Fibers Recruitment

はじめに

身体運動の主役は骨格筋であり、その最小単位の筋原線維は“ミオシン・フィラメント”と“アクチン・フィラメント”から成ることは良く知られた事実である(山本と丸山, 1986)。ミオシンは、アデノシン三リン酸(ATP)から化学的エネルギーを取り出し、アクチンとの交互作用により力学的エネルギーに変換する“分子モーター”の役割を担っている(柳田敏雄, 2001, 2002)。この一連の分子モーターの反応の総和として筋収縮が起こり、最終的には外的仕事(身体運動)として発現することになる。この点では、筋はエネルギーの変換器であり、“筋肉エンジン”ともいわれる所以である(Margaria, 1978)。したがって、生体における筋内環境といえども熱力学の法則(第一法則: エネルギー保存の法則と第二法則: エントロピー増大の法則)に支配されているわけであり、筋収縮時の機械的効率も熱力学的原理から解釈していく必要があるだろう。

ある内燃機関における化学的エネルギーの力学的(機械的)エネルギーへの変換率は、熱力学的効率(Thermodynamic efficiency; ϵ)で表現される。これは、“遂行された仕事”と摩擦その他の何の損失もない理想状態で行うことのできる“最大有効仕事”の比率であり、真の熱力学的効率を表している(di Prampero, 1991)。

$$\epsilon = (\text{現実になされた仕事} / \text{理想状態における仕事}) \times 100$$

同様に、筋収縮による化学的エネルギーの機械的エネルギーへの変換率の評価においても、前述の熱力学的原理が適用されれば、その解釈も容易となる。しかしながら、生体の内燃機関である筋肉エンジンにおいては、基質の酸化的代謝から得られた化学的エネルギーが外的仕事として表出するまで多くの化学反応が連続して生じるという複雑なシステムにあり、またそのシステム内の環境も運動遂行とともに変動すると同時に多様な特性を有するため、真の熱力学的効率と同等であるとは言い難い。そこで、筋運動時には、筋に“入力したエネルギー”と“出力した仕事”の比率を筋の機械的効率とみなし、それを記述するために“ η ”という関数を用い、次式の通り定義される(di Prampero, 1991)。

$$\eta = (\text{機械的仕事量} / \text{エネルギー消費量}) \times 100$$

このように、筋運動時の機械的効率 η をできうる限り熱力学的効率 ϵ に近似するように、その評価法の開発と筋収縮の特性と機能を考慮した多面的解析が模索されてきている(Aura and Komi, 1987, Barclay 1994, Bangsbo et al, 2001, Coyle et al, 1992, di Prampero et al, 1988, di Prampero and Piiper, 2003, Donovan and Brooks, 1977, Ettema 2001, Furguson et al, 2002, Gaesser and Brooks, 1975, Gladden and Welch, 1978, He et al, 2000, Horowitz et al, 1994, Komi et al, 1987, Luhtanen et al, 1987, Mallory et al, 2002, Ryschon et al, 1997, Stainsby et al, 1980, Whipp and Wasserman, 1969)。

本総説論文では、生体エネルギー論から筋収縮時の機械的効率に焦点を当て、in vivoでの作業筋の機械的効率がどのように評価されるべきであるか検討するとともに、生理機能の関連から運動時の機械的効率に影響を及ぼす要因を議論してみたい。

生体におけるエネルギー変換過程

生体では生命活動維持のために、多くの化学反応が連続して起こり、これら全ての反応には化学的エネルギー量(自由エネルギー)の変化を伴っている。自由エネルギーとは、自発的变化(不可逆変化)の方向と変化の起こりやすさを示し、ある変化により得られる最大有効仕事(Wmax)を表している。生体での化学的代謝反応による反応物(reactant)の生成物(product)への変換の際に自由エネルギーの変化が生じる。すなわち、この代謝反応における反応物と生成物の自由エネルギーの差が放出されたエネルギーであり、利用可能なエネルギーということになる。通常の生理・生化学的な生体反応のような等温・等圧変化では、提唱者のアメリカの物理学者J. W. Gibbs (1839~1903)にちなんで、自由エネルギーの関数として“Gibbs free energy; G”が用いられる。熱力学的観点から、一連の化学的代謝反応に伴うエネルギー変化をエンタルピー(enthalpy)変化(ΔH)、自由エネルギー(free energy)変化(ΔG)およびエントロピー(entropy)変化(ΔS)として捉えている。一定圧の条件下における基質の総熱量の変化(ΔH)は、化学的代謝反応による反応物から生成物へのエネルギー

変化を示し、一方 ΔH の一部分は摩擦による熱エネルギーとなって周囲に逸散してしまうので (entropy の増大: ΔS とは、あるシステムにおける無秩序や不規則性の変化を示す尺度である。)、生体の機能維持に利用できる ΔG は、 ΔH の全てではなく、その一部分に過ぎない。すなわち、実際に ΔG として利用できるエネルギー量は減ってしまうことを意味している。熱力学的システム (Thermodynamic system) におけるこれら三つの関数の関係は次式で表現できる (Whipp and Wasserman, 1969)。

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad (\text{ただし } T \text{ は絶対温度; } K)$$

つまり、利用できる自由エネルギー (ΔG) は、放出される総エネルギーの変化 (ΔH) から不規則性の増大分 ($T\Delta S$) を差し引いたものである。ところが、幸いなことに筋内の酸化反応においては、 $\Delta H \approx \Delta G$ となり、筋収縮に利用できるエネルギーは ΔG にほぼ等しく、酸素から換算したエネルギーに非常に近いとみなされている (di Prampero, 1991)。筋運動時には ATP が加水分解される際に放出される自由エネルギー (ΔG_{ATP} : $\text{ATP}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP}^{-} + \text{Pi}^{2-} + \text{H}^{+} + \Delta G_{\text{ATP}}$) が直接的に筋収縮に利用できるエネルギーということになる。したがって、筋運動時の機械的効率をより正確に評価するためには、ATP の加水分解による 1 mol 当たりの ΔG_{ATP} を正確に知ることが必須となる。 ΔG_{ATP} ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) は下記の式により算出される。

$$\Delta G_{\text{ATP}} (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = \Delta G^{\circ} + RT \ln ([\text{ADP}][\text{Pi}]/[\text{ATP}])$$

ここで、 ΔG° は、自由エネルギーの基準値 (standard free energy)、 R はガス定数 (universal gas constant: $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)、 T は絶対温度 (absolute temperature: K)、 $[\text{ATP}]$ 、 $[\text{ADP}]$ 、 $[\text{Pi}]$ は、アデノシン三リン酸、アデノシン二リン酸、および無機リン酸の筋内濃度 ($\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$) である。先行研究 (Gibbs 1985, Rosing and Slater, 1972, Veech et al, 1979) では生理的条件下における ΔG° は、 $-28 \sim -32 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ となると見積もられている。これらの値を前提として、筋内の $[\text{ATP}]$ 、 $[\text{ADP}]$ 、 $[\text{Pi}]$ から推定した ΔG_{ATP} は、 $-47 \sim -64 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ の範囲内にあり、筋内の生理的条件 (pH, イオン強度、代謝産物の濃度、温度) により異なることが確認されている (Åstrand and Rodahl, 1977, Barclay and Weber, 2004, di Prampero and Piiper, 2003, Jeneson et al, 2000, Kushmerick et al, 1992, Ryschon et al, 1997, Wackerhage et al, 1998)。したがって、運動時には筋内の状況が時々刻々と変化するので、正確な ΔG_{ATP} の評価は困難とならざるを得ないと考えられる。

一方、筋内での酸化的代謝の結果得られた ΔG_{ATP} と、

そしてそれが機械的エネルギー (外的仕事、external work; $\dot{W}_{\text{ext}}$) に変換されるまでの過程を考慮すると、筋収縮全体のエネルギー変換過程は、図 1 に示すように、2 段階から成ることが指摘されている (di Prampero, 1991, Stainbsy et al, 1980, Whipp and Wasserman, 1969)。一つは、ATP を加水分解し放出された ΔG_{ATP} を機械的仕事へ変換する収縮連関過程 (Contraction-coupling process)、他方は、基質 (主に Glucose) を酸化し放出された ΔG により ATP を再合成する磷酸化連関過程 (Phosphorylative coupling process) である。運動時にはこの二つのエネルギー変換反応が同時並行的に起こっているため、両反応における過程の変換効率 (Contraction-coupling efficiency; E_c と Phosphorylative coupling efficiency; E_p) から筋運動時の理論的な η は構成されていると考えてよいだろう ($\eta = E_c \times E_p$)。したがって、この考え方を基に、いくつかの前提条件 ($\Delta G_{\text{ATP}} = 58 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 、代謝基質: Glucose = $2870 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 36 \text{ ATP}$ 、 P/O_2 比 = 6; Barclay and Weber, 2004) から、Whipp and Wasserman (1969) のデータ ($\dot{W}_{\text{ext}} = 57 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ 、安静時以上に増加した $\dot{V}\text{O}_2 = 0.55 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) を基に有酸素的条件下での自転車駆動運動時における η を試算してみたい。 E_c は、 ΔG_{ATP} の $\dot{W}_{\text{ext}}$ に変換される効率であるので、 $E_c = \dot{W}_{\text{ext}} / \Delta G_{\text{ATP}} = 3.42 \text{ kJ} / 8.50 \text{ kJ} = 0.40$ 、一方 E_p は、Glucose の自由

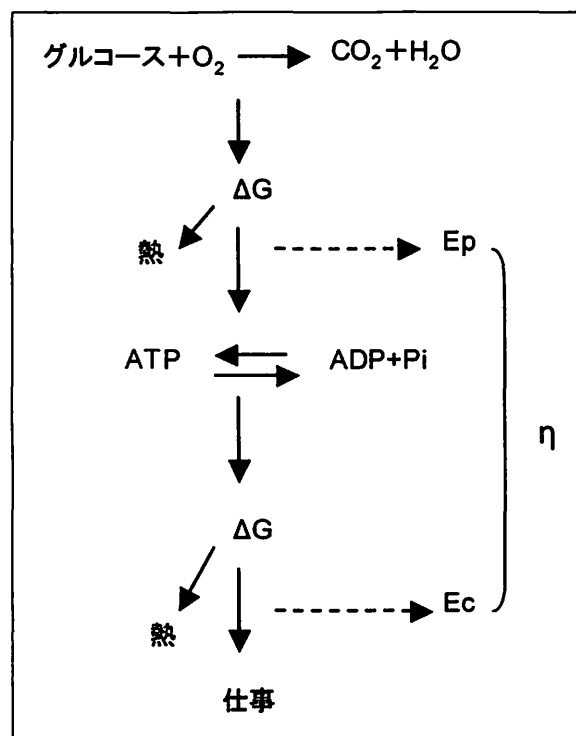


図1 生体における化学的エネルギーの機械的エネルギーへの変換過程 (Whipp and Wasserman, 1969の図を筆者改変)

エネルギー ($\Delta G_{\text{Glucose}}$) の ΔG_{ATP} に変換される効率であり、 $E_p = \Delta G_{\text{ATP}} / \Delta G_{\text{Glucose}} = 2088 \text{ kJ} / 2870 \text{ kJ} = 0.73$ の変換効率がそれぞれ得られる。このことから、筋収縮運動時の機械的効率の η は約30%程度 ($0.40 \times 0.73 \times 100 \approx 30\%$) になると推定される。ただし、筋運動時に利用される基質 (Glucose or Fat) によって P/O_2 比も変化することや、運動強度の変化に伴い基質の利用効率も変化し、同一酸素摂取水準でも ATP 産生量も変化することは避けられない。さらに、実際の運動場面において *in vivo* で作業筋内の ATP の正確な利用量・再合成量を測定することは困難であること、ATP の加水分解から得られる ΔG_{ATP} も細胞内の pH、温度、代謝産物濃度等の変化に依存して変動することを考慮すると、現実的に運動時において E_c と E_p を個別に評価することは不可能に近いことが指摘できる。

そこで、前述した $\Delta H \approx \Delta G$ の関係を基に $\dot{V}O_2$ を ΔH に換算することから、通常は基質を酸化して得られるエネルギー変化を $\dot{V}O_2$ から算出し、 $\dot{W}_{\text{ext}}$ との比率を算出することにより、筋全体の機械的効率 η を評価する多くの研究が行われてきている (Bangsbo et al, 2001, Bijker et al, 2002, Coyle et al, 1992, Crisafulli et al, 2002, Ferguson et al, 2002, Gaesser and Brooks, 1975, Gladden and Welch, 1978, Henson et al, 1989, Hintzy-Cloutier et al, 2003, Horowitz et al., 1994, Luhtanen, et al, 1987, Mallory et al, 2002, Marsh et al, 2000, Stainsby et al, 1980, Whipp and Wasserman, 1969)。

運動時の生体におけるエネルギー消費量の評価

これまで述べてきたように、運動時の $\dot{V}O_2$ の測定値から入力エネルギーを算出することに問題はないことが指摘できる。ただ、生体は機械と違って、安静時においても、また、外的仕事を行っていない状態 (負荷のない状態での筋収縮) でもエネルギーを消費している (図2)。そこで、これら外的仕事の遂行に直接関与しない安静時のエネルギーや外的仕事 0 W のエネルギーをベースラインとして分母である全出力エネルギーから差し引いて η を評価する提案がなされてきた。

Gross efficiency (η_{gross}) は、生体の全出力エネルギー ($\dot{E}_{\text{total}}$) を、Net efficiency (η_{net}) は、全出力エネルギーから安静時の消費エネルギー ($\dot{E}_{\text{rest}}$) を差し引いたエネルギー ($\dot{E}_{\text{total}} - \dot{E}_{\text{rest}}$) を、および Work efficiency (η_{work}) は、全出力エネルギーから外的仕事 0 W の運動時の消費エネルギー ($\dot{E}_{\text{nonwork}}$) を差し引いたエネルギー ($\dot{E}_{\text{total}} - \dot{E}_{\text{nonwork}}$) をそれぞれ筋運動時の出力エネルギーとする考え方に基いて筋運動時の機械的効率を評価するものである (Stainsby et al, 1980)。

$$\eta_{\text{gross}} = \dot{W}_{\text{ext}} / \dot{E}_{\text{total}} \times 100$$

$$\eta_{\text{net}} = \dot{W}_{\text{ext}} / (\dot{E}_{\text{total}} - \dot{E}_{\text{rest}}) \times 100$$

$$\eta_{\text{work}} = \dot{W}_{\text{ext}} / (\dot{E}_{\text{total}} - \dot{E}_{\text{nonwork}}) \times 100$$

以上のように、筋運動に直接関与しない $\dot{E}_{\text{rest}}$ や $\dot{E}_{\text{nonwork}}$ を差し引いて筋運動時の消費エネルギーを評価することは合理的な考えであるように思われる。しかしながら、Stainsby et al. (1980) は、運動中には血行動態の変化、内蔵の活動の変化、換気量の増大、筋収縮に伴うイオン交換、体温の上昇、ホルモン動態の変化そのものによる代謝水準の変化などが引き起こされるので、たとえ主運動直前の $\dot{E}_{\text{rest}}$ や $\dot{E}_{\text{nonwork}}$ の測定値をベースラインとして主運動に補外したとしても、外的仕事に直接関与しないエネルギー消費水準 ($\dot{E}_{\text{rest}}$ や $\dot{E}_{\text{nonwork}}$)、すなわち主運動時にベースラインが変動しないという保証はないことを指摘し、ベースラインの妥当性について問題点を提起している。したがって、このような問題点を解決するために、ある一定の外的仕事量とそれに対応するエネルギー消費量と次の外的仕事量とエネルギー消費量のそれぞれの増加分の比率 ($\Delta \dot{W} / \Delta \dot{E}$) から評価する delta efficiency (η_{delta}) および運動時における全エネルギー消費量 ($y : \dot{E}$) と外的仕事量 ($x : \dot{W}$) の関係式の slope の逆数から評価する instantaneous efficiency (η_{instant}) の評価法が考案された (Donovan and Brooks, 1977)。

$$\eta_{\text{delta}} = \Delta \dot{W} / \Delta \dot{E} \times 100$$

$$\eta_{\text{instant}} = 1 / (d\dot{E} / d\dot{W}) \times 100$$

Gaesser and Brooks (1975) は、自転車駆動時に、また Donovan and Brooks (1977) は、歩行速度や強度と各種 η について検討し、負荷なしに筋を動かすためのエネルギー (筋自体の内的仕事に要するエネルギー) を正確に評価する方法を開発しない限りは、筋運動時の

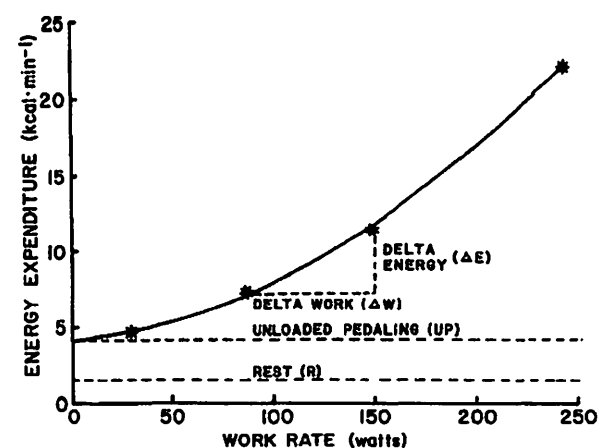


図2 自転車駆動時におけるエネルギー消費量と外的仕事量の関係、およびベースラインの定義 (Stainsby et al, 1980)

機械的効率の指標として η_{delta} や η_{instant} が望ましいと指摘している。しかしながら、この二つの η の評価法も筋の外的仕事に直接関与しないエネルギー評価の側面を解決しているとは言い難い点もあり、in vivo での筋運動時の熱力学的効率を正確に記述するものではなく、あくまでもそれに近似した尺度であることを念頭において解釈すべきであると思われる。

筋運動時の機械的効率に影響を与える要因

生体のエネルギー変換器である筋は多様な収縮特性・代謝特性を有しており、また、 η 評価にも様々な様式の運動が用いられている。これら筋と運動の特性は、 η にも様々な影響を与えるため、筋線維タイプ、運動強度、収縮様式、内的仕事の評価の観点から η に影響を与える要因を検討してみたい。

1) 筋線維タイプ

筋線維タイプは、その収縮特性や代謝特性により、Type I と Type II 線維に、さらに Type II は Type IIa と Type IIb に分類されている。Type I は収縮速度が遅く、有酸素性エネルギー供給能力に優れている。Type IIa は収縮速度が速く、有酸素性および無酸素性エネルギー供給能力に優れている。Type IIb は、Type IIa よりもさらに収縮速度が速く、無酸素性エネルギー供給過能力に優れているとされる (Wilmore and Costill, 1999)。筋線維の代謝特性に関して、Kushmerick et al. (1992) は、ネコの抽出筋を用いて、刺激に伴う $\dot{V}O_2$ の増加と PCr 濃度の減少は Type I と Type II においてほぼ同程度であったが、その回復過程に違いがみられることを示した。Type I では、それらが元のレベルを超えて回復し、細胞呼吸の調整メカニズムには Type I と Type II の量的・質的違いがあると述べている。また、Barclay and Weber (2004) は、マウスの筋を抽出し、 $\eta_{\text{net}} = \eta_{\text{initial}} \times \eta_{\text{recovery}}$ (initial efficiency, η_{initial} ; ΔG_{ATP} の W への変換効率; 前述の E_c に等しい、recovery efficiency, η_{recovery} ; 基質の ΔG_{ATP} への変換効率; 前述の E_p に等しい) と定義した上で、Type I と Type II の η の比較を行っている。それによると、両線維において η_{net} は同程度であるが、 η_{initial} は Type I で高く、逆に η_{recovery} は Type II で高値となることが示され、それは Type I におけるより多い回復熱の産生によると説明している。このように、Type I と Type II の η の違いは、その回復過程による可能性が示唆されている。

Coyle et al. (1992) は、自転車競技者の筋線維タイプと η の関係を検討している。それによると、Type I 線維の % と η_{delta} および η_{gross} の間には相関が見られ (そ

れぞれ $r=0.85$; $p<0.001$, $r=0.75$; $p<0.001$) (図 3)、さらに膝伸展運動中の η_{gross} においても同様な相関が見られた ($r=0.85$; $p<0.001$) ため、 η の違いは Type I 線維の % によると述べている。同様に、Horowitz et al. (1994) も、 $\dot{V}O_2 \text{ max}$, Lactate threshold; (LT) および一時間運動中の $\dot{V}O_2$ の維持能力が同程度のサイクリストにおいて、Type I 線維の高いグループ ($72 \pm 3\%$) は、低いグループ ($48 \pm 2\%$) よりも η_{gross} が高いことを報告している。一方、Mallory et al. (2002) は、中程度の自転車駆動運動において、 η_{delta} は peak $\dot{V}O_2$ と有意な関係があったが、筋線維タイプとは相関関係が認められなかったことを報告している。これは、Coyle et al. (1992) や Horowitz et al. (1994) が、トレーニングされた自転車競技者を対象にしているのに対して、Mallory et al. (2002) は、男女が混合された多様な体力レベルの被験者を対象にしていることによるかもしれない。

一方、Sargeant (1999) により、筋線維タイプによって最適収縮速度は異なっており、Type I は Type II よりも遅い収縮速度で、逆に Type II は Type I よりも速い収縮速度で η の最大値を示すことが示唆されている (図 4)。この点を考慮すれば、 η の評価には、筋運動の速度を考慮する必要性が生じると考えられる。

2) 運動強度

前述したように、ヒトを対象にした多くの研究におい

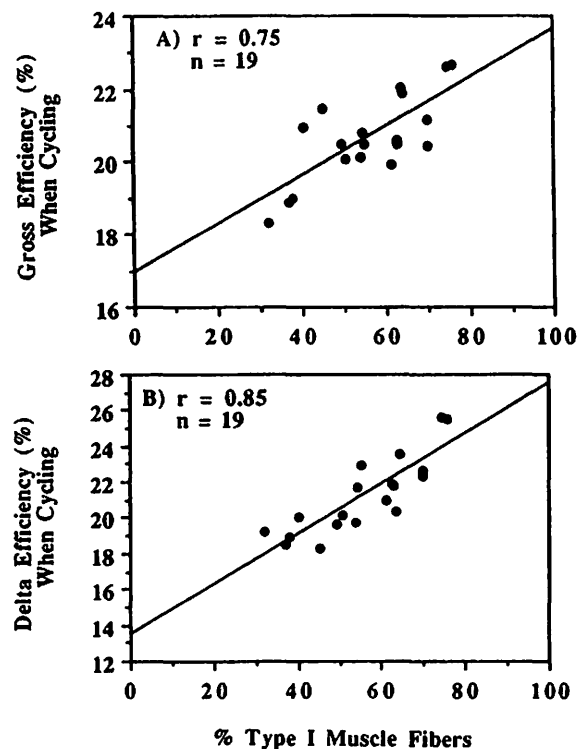


図 3 自転車駆動時における機械的効率 (η_{gross}) と Type I 線維の割合の関係 (Coyle et al, 1992)

て $\dot{V}O_2$ よりエネルギー出力を求め、 η の評価を行っている。生体のエネルギー変換過程における ATP は、有酸素および無酸素的過程 (Phosphocreatine (PCr) 分解、解糖系) から供給されるが、 $\dot{V}O_2$ は無酸素的過程からの ATP 供給量を反映しない。そこで、LT を超えるような高強度の運動において算出された η は実際より高く見積もられるため、次式の通り、筋中の乳酸蓄積量 ($\Delta[La]$)、及び $[ATP] \cdot [PCr]$ 濃度変化から無酸素性エネルギーを換算しなければならない (Medbo and Tabata, 1993)。

$$\text{Anaerobic ATP production (mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{w.m.)} \\ = 1.5 \times \Delta[La] + \Delta[PCr] + \Delta[ATP]$$

しかし、生体では *in vivo* で筋の $[ATP]$ や $[PCr]$ の測定は困難である。そこでそれに変わる簡便な方法として、血中乳酸蓄積量 ($\Delta[La]_b$) から次式による無酸素性エネルギーの換算方法が提案されている (di Prampero and Ferretti, 1999)。

$$\text{Anaerobic energy} = \Delta[La]_b \times 3.3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \times \text{body mass}$$

また、それぞれの過程には、エネルギー供給速度や供給量に大きな違いがみられ、 η にも影響すると予測される。Gladden and Welch (1978) は、最大および最大下運動中の η は、運動強度の増大に伴い減少することを報告している。Henson et al. (1989) も、ペダリング運動において、LT 強度を超えると η_{instant} が低下することを報告し (図 5)、これは LT 強度以上の負荷での $\dot{V}O_2$ slow component (excess $\dot{V}O_2$) の発現に起因すると説明している (図 6)。さらに Sargeant (1999) によると、運動強度の増大、特に LT 強度以上になると運動強度の上昇に伴い Type II 線維が筋収縮に参加するため (図 7)、筋線維動員様式も η の低下を招く要素になる

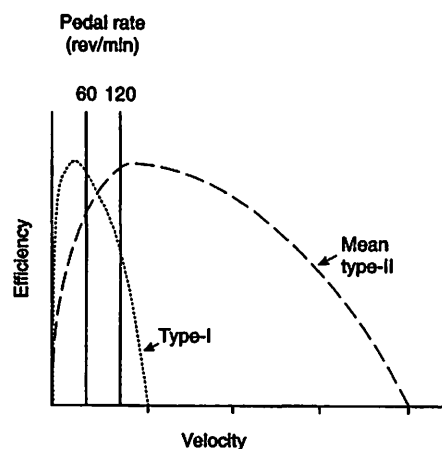


図4 筋収縮速度 (ペダル回転数) の違いに伴う Type I および Type II 線維の機械的効率の変動 (Sargeant, 1999)

と考えられる。

3) 収縮特性

筋収縮の速度と力は反比例関係にあり、筋の速度-力関係は η に影響を及ぼしていると予測される。Abbate et al. (2002) は、ラットの三頭筋 (速筋) を用いて、最大下収縮 (60, 90 Hz) は最大収縮 (150 Hz) よりも効率が高いことを報告している。di Prampero and Piiper (2003) も、犬の腓腹筋を用い、筋の収縮速度と η の関係を検討した結果、短縮速度の増大は η の低下を引き起こすが、速度の変化 ($40 \sim 120 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$) や $\dot{V}O_2$ の変

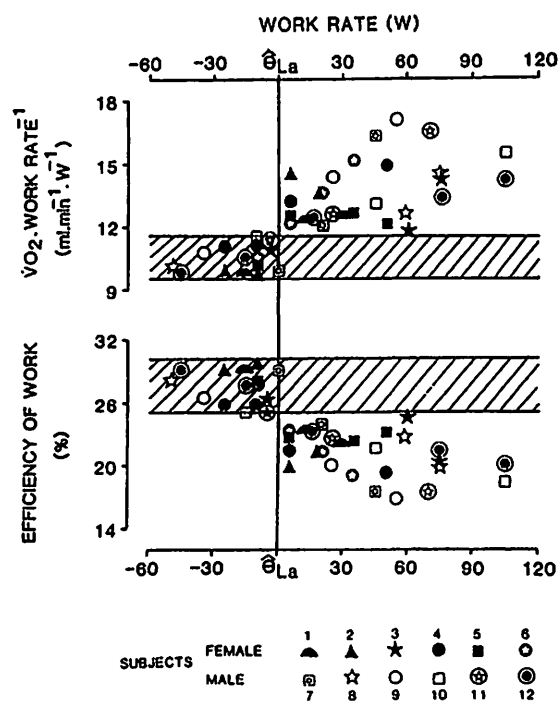


図5 LT 強度以下、LT 強度および LT 強度以上の一定負荷運動時における機械的効率と O_2 ゲイン値 ($\Delta\dot{V}O_2/\Delta W$) の変化 (Henson et al, 1989)

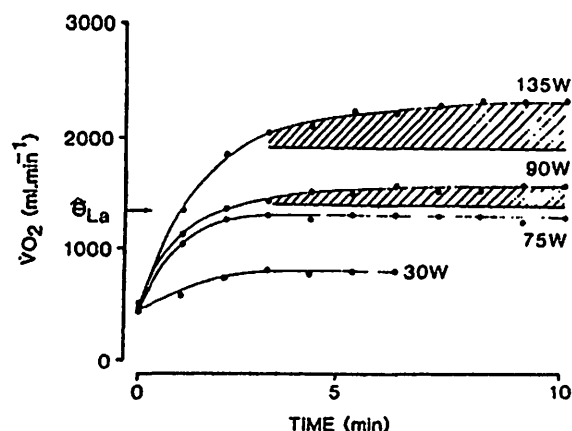


図6 LT 強度以上の一定負荷運動時における $\dot{V}O_2$ slow component の出現 (Henson et al, 1989)

化 ($10 \sim 25 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) に比較すると、 η の低下 ($22 \sim 15\%$) は比較的小さかったことを報告している。

η に関する研究は、外的仕事の定量化の容易な自転車駆動運動を用いた研究が多く、その収縮様式は concentric contraction (CON) により行われる。一方、歩・走・跳などの陸上での身体運動は、CON と eccentric contraction (ECC) の筋収縮が混在した収縮様式で行われる。Stainsby (1976) は、犬の三頭筋を用いて、CON の $\dot{V}\text{O}_2$ は負荷の増大に伴い上昇するが、ECC の $\dot{V}\text{O}_2$ は負荷の増大に伴い減少することを示した (図 8)。Bijker et al. (2002) は、ランニングおよびサイクリング中の η と腓腹筋・外側広筋・二頭筋の Electromyograph (EMG) による筋の活動水準 (積分筋電図; iEMG) を測定・検討した。その結果 η_{delta} は、ランニングの (42%) の方がサイクリング (25%) より大きいことを報告している。サイクリングでは、すべての筋で負荷増大と iEMG との間に有意な相関がみられたが、ランニングでは、負荷

(傾斜) の増大と腓腹筋の iEMG の間に低い相関が見られたのみであったため、CON と ECC の貢献の差異が両運動様式における η_{delta} の差を説明すると述べている。また、Cavagna and Kaneko (1977) によると、ランニングなどの stretch-shortening cycle (SSC) により行われる運動では、筋腱複合体の弾性要素に蓄えられた弾性エネルギーが放出されることにより、 η が増大すると考えられている。つまり、貯蔵された弾性エネルギーが ATP の加水分解により放出された ΔG に加算され仕事が行われるが、弾性エネルギーは $\dot{V}\text{O}_2$ に反映されないため、 $\dot{V}\text{O}_2$ から換算したエネルギー消費量だけでは実際の ΔG を低く見積もってしまい、評価された η は高値となる。この点に関して、Ettema (2001) は、ラットの腓腹筋を用いて、SSC のシュミレーションを行い、直列弾性要素が筋収縮の効率に非常に大きな影響を与えるとして述べている。

4) 仕事の評価

物理学で言う仕事とは力×距離で表され、 η 評価における外的仕事がそれに相当する。一方、身体運動では四肢の運動など作業筋自身における内的仕事を同時に行っている。例えば、自転車駆動時はペダルへの作用 (外的仕事) とそのための下肢自身の運動 (内的仕事) を同時に行っている。内的仕事は物理学的には仕事とは言えないが、身体運動を考える上で両者を区別することはできない。外的仕事のみによって評価された η は、過小評価されることが予想され、評価される η を筋運動の真の熱力学的効率 (ϵ) に近づけるためには、内的仕事の評価を十分に考慮しなければならない。

Girardis et al. (1999) によれば、宇宙ステーション (0 g ; $g=9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) での自転車駆動時の $\dot{V}\text{O}_2$ は、地上 (1 g) と比較して少なく、これは、 0 g 時のより低い内的仕事量を反映していると述べており、自転車駆動運動中の内的仕事が無視できない要素であることを示している。

前述のベースラインの問題に関して、Cavagna and Kaneko (1977) は、次式のように、外的仕事に内的仕事 (internal work accomplished; $\dot{W}_{\text{int}}$) を加算することにより、true mechanical efficiency (η_{true}) を評価している。

$$\eta_{\text{true}} = (\dot{W}_{\text{ext}} + \dot{W}_{\text{int}}) / (\dot{E}_{\text{total}} - \dot{E}_{\text{rest}}) \times 100$$

Luhtanen et al. (1987) は、5 段階の負荷強度での 60 rpm の自転車駆動運動における内的・外的仕事と η について検討している。それによると、 η_{gross} が $19.7 \sim 17.4\%$ 、 η_{net} が $21.8 \sim 17.5\%$ 、そして η_{true} が $29.7 \sim 21.0\%$ の範囲内にあり、評価法によって η に大きな差が生じて

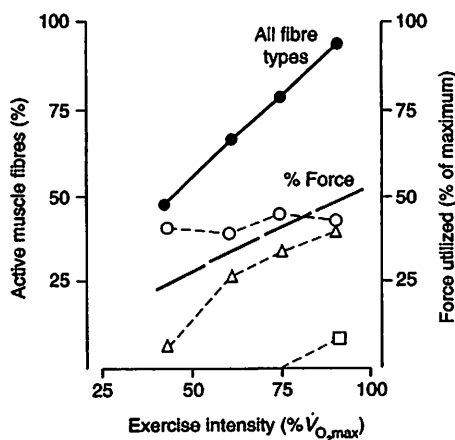


図 7 運動強度 ($\% \dot{V}\text{O}_2 \text{ max}$) の増加による筋線維動員パターンの変化 (Sargeant, 1999)

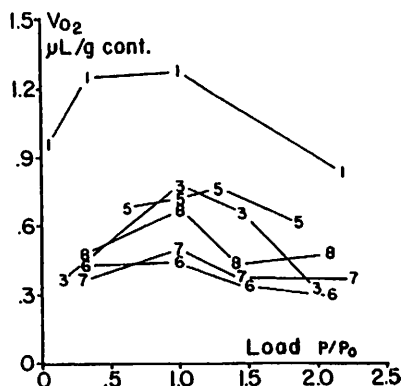


図 8 短縮性および伸長性収縮における負荷強度 (P/P_0) と $\dot{V}\text{O}_2$ の関係 (Stainsby, 1976)

$P/P_0=0$ は isometric contraction, $P/P_0<1.0$ は concentric contraction, $P/P_0>1.0$ は eccentric contraction を示す。

いる(図9)。Minetti et al. (2001)は、自転車駆動時の身体の内的パワーは、 $\dot{W}_{int}(W \cdot kg^{-1}) = 0.153$ (frequency; Hz)³により推定できると述べている。この方法を用いて、Ferguson et al. (2002)は、60 rpmと120 rpmの自転車駆動時の内的仕事を算出して、外的仕事に内的仕事を加えた総仕事量 (total work) から η_{true} を評価した結果、両ペダルの回転数の条件においては差がみられなかった (60 rpm; 22.2%、120 rpm; 22.7%) ことを報告している。ただし、Ferguson et al. (2002)らのデータを用いて、外的仕事のみから η_{net} を算出すると、それぞれ21.2% (60 rpm)、14.8% (120 rpm)となり、内的仕事を加算するかどうかによって、評価された η の値には大きな差が生じてくる。特に、比較的収縮速度の遅い60 rpmの条件では内的仕事が少ないため、 η_{true} と η_{net} の差は僅かであるが、収縮速度の速い120 rpmの条件になると両者の差は大きくなることが指摘される。したがって、条件が異なる運動を比較する場合、内的仕事の評価を適切に行うことが重要となる。

おわりに

η には様々な要因(筋線維タイプ、運動強度、筋収縮様式と速度)が影響することが指摘される。身体運動は筋運動の多様な特性が作用する、多くの関節運動の総体である。したがって、機械的効率の解明はエネルギーの供給と仕事の遂行の両者について明らかにしなければならないため、身体運動の総合的な理解につながるものである。個々の要因の影響を明確にし、筋運動の機械的効率の全体像を解明することが今後の課題と言える。その上で、身体の機能や行われた運動を適切に評価するために、最適な η の評価法を確立することが重要となる。

参考文献

Abbate, F., De Ruiter, C. J., Offringa, C., Sargeant, A. J., and De Haan, A. (2002) In situ fast skeletal

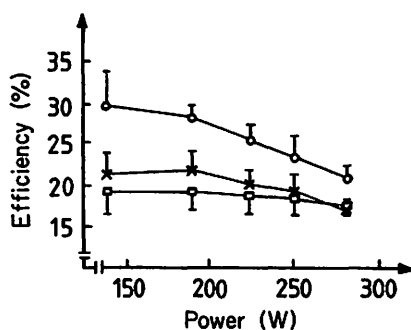


図9 一定負荷運動時における各種機械的効率(□; η_{gross} ; ×; η_{net} ; ○; η_{true})の評価(Luhtanen, 1987)

muscle is more efficient at submaximal than at maximal activation levels. J. Appl. Physiol., 92: 2089-2096.

Åstrand, P.-O., and Rodahl, K. (1977) Textbook of Work Physiology (2nd ed.), McGraw-Hill Inc.

Aura, O., and Komi, P. V. (1987) Effects of muscular fiber distribution on the mechanical efficiency on human locomotion. Int. J. Sports Med. 8: 30-37.

Bangsbo, J., Krstrup, P., Gonzalez-Alonso J., and Saltin, B. (2001) ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. Am. J. Physiol., 280: E956-E964.

Barclay, C. J. (1994) Efficiency of fast- and slow-twitch muscles of the mouse performing cyclic contractions. J. Exp. Biol., 193: 65-78.

Barclay, C. J., and Weber, C. L. (2004) Slow skeletal muscles of the mouse have greater initial efficiency than fast muscles but the same net efficiency. J. Physiol., 559: 519-533.

Bijker, K. E., de Groot, G., and Hollander, A. P. (2002) Differences in leg muscle activity during running and cycling in humans. Eur. J. Appl. Physiol., 87: 556-561.

Cavagna, G. A., and Kaneko, M. (1977) Mechanical work and efficiency in level walking and running. J. Physiol., 268: 467-481.

Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., and Beltz, J. D. (1992) Cycling efficiency is related to the percentage of Type I muscle fibers. Med. Sci. Sports Exerc., 24: 782-788.

Crisafulli, A., Melis, F., Tocco, F., Laconi, P., Lai, C., and Concu, A. (2002) External mechanical work versus oxidative energy consumption ratio during a basketball field test. J. Sports Med. Phys Fitness, 42: 409-417.

di Prampero, P. E., Boutellier, U., and Marguerat, A. (1988) Efficiency of work performance and contraction velocity in isotonic tetani of frog sartorius. Pflügers Arch., 412: 455-461.

di Prampero, P. E. (宮村実晴, 池上康男訳). (1991) スポーツとエネルギー—パワーの限界と記録—. 真興交易医書出版.

di Prampero, P. E., and Ferretti, G. (1999) The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. Resp. Physiol.,

- 118: 103-115.
- di Prampero, P. E., and Piiper, J. (2003) Effects of shortening velocity and of oxygen consumption on efficiency of contraction in dog gastrocnemius. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90: 270-274.
- Donovan, C. M., and Brooks, G. A. (1977) Muscular efficiency during steady-rate exercise: II. Effects of walking speed and work rate. *J. Appl. Physiol.*, 43: 431-439.
- Ettema, G. J. C. (2001) Muscle efficiency: the controversial role of elasticity and mechanical energy conversion in stretch-shortening cycles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 85: 457-465.
- Ferguson, R. A., Ball, D., and Sargeant, A. J. (2002) Effect of muscle temperature on rate of oxygen uptake during exercise in humans at different contraction frequencies. *J. Exp. Biol.*, 205: 981-987.
- Gaesser, G. A., and Brooks, G. A. (1975) Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.*, 38: 1132-1139.
- Gibbs, C. (1985) The cytoplasmic phosphorylation potential. Its possible role in the control of myocardial respiration and cardiac contractility. *J. Mol. Cell Cardiol.*, 17: 727-731.
- Girardis, M., Linnarsson, D., Moia, C., Pendergast, D. R., and Ferretti, G. (1999) Oxygen cost of dynamic leg exercise on a cycle ergometer: effects of gravity acceleration. *Acta Physiol. Scand.*, 166: 239-246.
- Gladden, L. B., and Welch, H. G. (1978) Efficiency of anaerobic work. *J. Appl. Physiol.*, 44: 564-570.
- He, Z.-H., Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Ferenczi, M. A., and Reggani, C. (2000) ATP consumption and efficiency of human single muscle fibers with different myosin isoform composition. *Biophys. J.*, 79: 945-961.
- Henson, L. C., Poole, D. C., and Whipp, B. J. (1989) Fitness as a determinant of oxygen uptake response to constant-load exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 59: 21-28.
- Hintzy-Cloutier, F., Zameziati, K., and Belli, A. (2003) Influence of the base-line determination on work efficiency during submaximal cycling. *J. Sports Med Phys Fitness*, 43: 51-56.
- Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., and Coyle, E. F. (1994) High efficiency of Type I muscle fibers improves performance. *Int. J. Sports Med.*, 15: 152-157.
- Jeneson, J. A. L., Westerhoff, H. V., and Kushmerick, M. J. (2000) A metabolic control analysis of kinetic controls in ATP free energy metabolism in contracting skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, 279: C813-C832.
- Kammermeier, H. (1987) Why do cells need phosphocreatine and a phosphocreatine shuttle. *J. Mol. Cell Cardiol.*, 19: 115-118.
- Komi, P. V., Kaneko, M., and Aura, O. (1987) EMG activity of the leg extensor muscles with special reference to mechanical efficiency in concentric and eccentric exercise. *Int. J. Sports Med.* 8: 22-29.
- Kushmerick, M. J., Meyer, R. A., and Brown, T. R. (1992) Regulation of oxygen consumption in fast- and slow-twitch muscle. *Am. J. Physiol.*, 263: C598-C606.
- Luhtanen, P., Rahkila, P., Rusko, H., and Viitasalo, J. T. (1987) Mechanical work and efficiency in ergometer bicycling at aerobic and anaerobic thresholds. *Acta Physiol. Scand.*, 131: 331-337.
- Mallory, L. A., Scheuermann, B. W., Hoelting, B. D., Weiss, M. L., Mcallister, R. M., and Barstow, T. J. (2002) Influence of peak $\dot{V}O_2$ and muscle fiber type on the efficiency of moderate exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34: 1279-1287.
- Margaria, R. (金子公宥訳). (1978) 身体運動のエネルギー. ベースボールマガジン社.
- Marsh, A. P., Martin, P. E., Foley, K. O. (2000) Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1630-1634.
- Medbø, J. I., and Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J. Appl. Physiol.*, 75: 1654-1660.
- Minetti, A. E., Pinkerton, J., and Zamparo, P. (2001) From bipedalism to bicyclism: evolution in energetics and biomechanics of historic bicycles. *Proc. R. Soc. Lond.*, 268: 1351-1360.
- Rosing, J., and Slater, E. C. (1972) The value of ΔG° for the hydrolysis of ATP. *Biochim. Biophys. Acta*, 267: 275-290.
- Ryschon, T. W., Fowler M. D., Wysong, R. E., Anthony, A.-R., and Balaban, R. S. (1997)

- Efficiency of human skeletal muscle in vivo: comparison of isometric, concentric, and eccentric muscle action. *J. Appl. Physiol.*, 83: 867-874.
- Sargeant, A. J. (1999) Neuromuscular determinants of human performance. In: *Physiological Determinants of Exercise Tolerance in Humans*, Whipp B. J., and Sargeant A. J. eds., pp 13-28, Portland Press Ltd.
- Stainsby, W. N. (1976) Oxygen uptake for negative work, stretching contractions by in situ dog skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, 230: 1013-1017.
- Stainsby, W. N., Gladden, L. B., and Barclay, J. K. (1980) Exercise efficiency: validity of base-line subtractions. *J. Appl. Physiol.*, 48: 518-522.
- Veech R. L., Lawson, J. W. R., Cornell, N. W., and Krebs, H. A. (1979) Cytosolic phosphorylation potential. *J. Biol. Chem.*, 254: 6538-6547.
- Wackerhage, H., Hoffmann, U., Essfeld, D., Leyk, D., Mueller, K., and Zange, J. (1998) Recovery of free ADP, Pi, and free energy of ATP hydrolysis in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, 85: 2140-2145.
- Whipp, B. J., and Wasserman, K. (1969) Efficiency of muscular work. *J. Appl. Physiol.*, 26: 644-648.
- Wilmore, J. H., and Costill, D. L. (1999) *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics Pub., pp26-51.
- 柳田敏雄. (2001) ブラウン運動を巧みに使う筋肉分子. 日経サイエンス (特集: 生物に学ぶナノモーター), 10月号, pp30-37.
- 柳田敏雄. (2002) 生物分子モーター —ゆらぎと生体機能—. 岩波書店.
- 山本啓一, 丸山工作. (1986) 筋肉 (Bioscience Series), 化学同人.

(平成17年2月14日受付)
(平成17年2月14日受理)

スポーツ文化の享受に関する序論的研究

— スペクテーター・スポーツを中心に —

深 田 忠 徳 (九州大学大学院人間環境学府)

A study on the enjoyment of sports culture

Tadanori FUKADA

Abstract

The purpose of this paper is to focus on the way to enjoy spectator sports and to suggest a new direction of the study on "the enjoyment of sports culture" through the analysis of the present condition.

When the people watch a game, their styles are various. What sort of sport they should watch and how they should watch it are decided by the individual judgment of value. Then adopting Mita's theory, this paper classified the enjoyment of spectator sport into "type of the orientation toward sensitivity" and "type of the orientation toward reason".

The former is confined to "instant" satisfaction by then and on that occasion, consequently it is inclined to result in a momentary enjoyment. On the other hand, the later has a bias toward the knowledge and theory and it is apt to lack excitement

Therefore, in order that the enjoyment of sport culture may mature and be placed in lifestyle, the view that integrates "reason" and "sensitivity" would be important. Then this paper finds this view that makes much of a particularity of sport culture in "the appreciation of Kata (type)"

Key words: sports culture, spectator sports

序

本研究は、スペクテーター・スポーツの楽しみ方に注目し、その現状の分析を通して「スポーツ文化享受」に関する研究の新たな方向性を示唆することを目的とする。「見るスポーツ」に関する先行研究は、数多く行われている。高橋[1993]は、「スポーツ観戦者」を「スポーツ消費者」と定義し、スペクテーターと間接的スポーツ観戦者、スペクテーターとスポーツファンの違いを述べている。前者では、獲得される情報量、メディアの統合機能（視聴者同士の親和的・社会的経験）および覚醒機能（快楽的・刺激的経験）における差異を、後者では、選手やチームあるいはそのスポーツへのコミットメントの度を解明している。

池田ら[1984]は、質問紙を用いて「スポーツ消費行動」

（スポーツへの間接的参加）を規定する社会的・心理的な説明変数（学習、娯楽、社会化、好奇心、美的追求、逃避、攻撃性、郷土性、カタルシス、緊張感の追及、帰属および同一化）を抽出した。

斎藤[1991]は、これまでの先行研究から、観戦行動を鑑賞行動、応援行動、学習行動、および賭けの4つのパターンに分類し、その動機の解明を通じて、イベント経営のための具体的なマーケティング戦略の考案を試みた。丸山[1977]は、スペクテーター・スポーツの社会的機能として「娯楽」と「儀礼」を挙げた。前者では、観客のプレーヤーやチームとの同一化、ギャンブルにおいて顕著である常軌性からの逸脱と主体性の回復を挙げ、後者では、感情の高揚と集団との一体感のなかで、人々が人間実在の根源に触れることを明らかにしている。

これらは、スペクテーター・スポーツの機能に関する

社会心理学的研究であるが、加えて大相撲やサッカー、野球など、特定のスポーツにみられるファン観戦行動を明らかにした研究もある。例えば、上瀬・亀山[1994]は大相撲ブームの心理的背景とファン意識の形成過程を、流行関心、イノベーター、変化欲求、同調欲求、ユニークネス欲求の5つの尺度を用いて、ファン層別に分析した。

木佐貫・江刺[1996]は、鑑賞、応援、学習、賭け、流行追随、変化、同調性、独自性の8つの視点からサッカー観戦の動機にみられる性差を検討している。

藤善[1994]は、プロ野球ファンの心理を行動面から分析し、その行動カテゴリーを応援行動、野次行動、プレーに対する情緒的反応、選手に対する反応、その他の観戦行動の5つに分類している。

以上のように先行研究は多様な内容を持つが、概してそこに共通してみられるのは、スポーツ観戦者の特性や動機構造といった「主体の側の要因」の解明に焦点が当てられていることである。スポーツの文化的特質といった「客体の側の要因」を配慮し、「見る」主体と「スポーツ」という客体との相互関連に着目した研究は見られない。ここに、スポーツ文化の本質に根ざした享受のあり方を探求する研究の必要が生じてくる。

本研究では、観戦行動の多様な側面を、見田の価値意識の理論を用いて整理することを通して、スポーツの文化的特質を重視した「スポーツ享受」研究の新たな方向性を探っていくことにしたい。

1. 研究の枠組み

佐伯[1979]は、感性が理性によって抑圧される「聖一俗」のパースペクティブからの文化研究の弱点を克服するために、「遊戯ースポーツ」のなかに、感性と理性、あるいは欲求充足の個性性と一般性を統合する弁証法的性格を見出している。この佐伯の見解を援用したとき、スポーツ文化の本質に根ざした享受は、「感性」と「理性」の統合によって成立すると考えられる。

スポーツの享受スタイルは、多様であり、どのような種目のスポーツをどのように見るかは、それぞれの個人の価値判断によって選択される。見田は、「単なる『好み』とは区別される『価値判断』は、行為者のパースペクティブがくいま、ここにある自分」をのりこえ〈未来〉

にむけて、〈社会〉にむけてひろがっていくことによって、自己の直接的な衝動をいったん客体化するとき、はじめてあらわれるものである。』[見田, 1974]と述べ、価値判断における根元的な問題を「時間的パースペクティブ」と「社会的パースペクティブ」の2つの次元に分類している。本稿では、この2次元の価値類型のなかから「時間的パースペクティブ」に注目する。

彼は、この「時間的パースペクティブ」のなかで、上述の「感性」対「理性」、すなわち「欲求の即時的な充足」対「将来の結果への顧慮」について言及し、それぞれの「志向的側面」「動機的側面」「状況的側面」を表1のように表している。

この「感性」と「理性」の関係は、人々が「スポーツを見る」という行為の際に、人々を突き動かす価値基準に成り得ると考えられる。そこで、「見るスポーツ」の現状を「感情包絡型」（身最真主義、応援パフォーマンスによる一体感志向、ヒーローイズム）と「理性志向型」（解説者的な見方）に分類し考察を行う。しかしながら、スポーツ文化の本質に根ざした享受は、「感性」と「理性」の統合からなることを念頭に置いて論を展開する。

2. 享受スタイルの現状

1) 感情包絡型

① 身最真主義

夏になると全国高等学校野球選手権大会（以下「甲子園大会」と略す）が始まり、毎年この大会を楽しみにしている人は少なくない。甲子園大会は、終戦記念日や原爆記念日と、日本中が神妙な雰囲気になるなかで開催され、そこに、時期的にお盆が重なることもあって、帰省した人々が家族と一緒にあって郷土の代表校を応援するといった、どこか日本人を煽り立てるような要素が揃ったなかで開催される。玉木が「大学野球はもちろん、企業中心の都市対抗野球も全国人気の巨人中心のプロ野球も『地域性』が希薄で、野球で地元を応援するなら高校野球しかない」[玉木, 1999]と述べているように、甲子園大会は郷土愛を確認しうる機会を我々に与えてくれる場所である。

甲子園大会のテレビ中継では、必ずといっていいほど各代表校のプロフィールの紹介とともにその地域の様子が映し出される。視聴者にとっては、「わが街」が画面に登場することにより、「わが街の代表」として選手たちをより身近な存在として強く意識することができ、自然と応援にも力が入る。勿論、メディアサイドにも、そうした視聴者側の心情を念頭に置いた製作の意図があり、このことは地域感情を掻き立てるのに十分作用している。

また、人々はその地域特有の戦い方を好む傾向がある。

表1 時間的パースペクティブ

	感 性	理 性
志向的側面	即時的関心	長期的関心
動機的側面	感情性	感情中立性
状況的側面	個別主義	普遍主義

このことは、何も甲子園野球に限ったことではなく、冬に行われる全国高等学校サッカー選手権大会（以下「高校サッカー選手権」と略す）等にも見受けられる。鹿児島県代表校などは、力強く、走るサッカーを戦術とした戦い方をする。このことは、丸坊主頭で筋骨隆々の姿がマンガの世界でも描写されるように、鹿児島県代表校の全国的共通のイメージとして捉えられている。この戦い方は、勿論、監督の意向によるものだが、「チェスト」¹⁾の掛け声の下、相手を力でねじ伏せる薩摩藩独特の剣術の一派である示現流を想像させる。このことは、鹿児島の質実剛健の伝統と代表校の戦い方が合致して、そこに人々は魅せられ、選手たちに共感していると考えることができないだろうか。換言すれば、人々はそれぞれの地域に裏付けられた戦い方を志向する傾向があるということが言える。この場合、地域特有の戦術が理解できるということは、すでに理性的な見方がなされていることを意味するが、そこにはまた、戦い方が郷土の精神的伝統と相互作用することにより情動を引き起こすような「感情」注的な側面もうかがえるのである。それは、自身を中心とした個別的な繋がりを求めていることから、感性重視の状況としての「個別主義」を表していると言える。

その個別的な繋がりの欲求は、たとえ自身の応援するチームが敗れたとしても消えることはない。甲子園野球や高校サッカー選手権等はいずれもトーナメント方式で開催されるので、早い段階で姿を消すチームがでてくるが、応援する地元のチームを失った人々は、勝ち残った代表校のなかから新たに同一化できる対象を見つけ出す。例えば、郷土の代表に勝利したチームや近隣県の代表校を応援する。この応援形態は、地域から県、さらに東・西日本へと拡大していく。応援者が声援の対象を拡大していくその様は、まさに作田[1995]のいう、自己の範囲が家族から地域、そして国家、さらに民族へと広がっていく「拡大体験」と同じである。この自己を外界へと拡張していく拡大体験には壁が存在すると作田[2001]が指摘したように、新たに見出したチームとの間には「壁」があり、完全なる思い入れができない。しかし、彼らは、郷土の代表に替わる新しいチームを応援することで新たな楽しみを得ているのである。

② 応援パフォーマンスによる一体感志向

Jリーグが開幕して11年になる。開幕当初、チームを応援することが第一の目的であったが、現在では、次第に応援のパフォーマンス自体を楽しむことへと観戦のスタイルが変化してきた。Jリーグには、各チームにサポーターと呼ばれる熱狂的集団がいる。彼らは独自に各チー

ム固有の応援スタイルを形成し、それに従って、一般の観客もその応援に参加するようになっている。甲子園球場でも、選手ごとに決められた応援歌を歌ったり、チームカラーのメガホンをリズムよく打ち鳴らしたりして、7回にはジェット風船をあげたりと、球団独自の応援形態に従って、観客はそのパフォーマンスを楽しんでいる。

ところで今日、こうしたスタジアムでの観戦に加えてテレビなどのメディアによる観戦も人々のスポーツへの参与を規定する要因として無視しえない社会現象となっている。テレビは、我々がスタジアムでは到底見ることのできない場所を映し出し、もう一度見たい場面を拡大してスローで再生してくれる。こうした機能は、スタジアムでは得られない満足を与えるものである。しかし、スポーツファンとして皆と一体となることも新たな楽しみ方として重要な位置を占めるようになってきたと言える。これは、実際にスタジアムに出向かなければ味わうことのできない体験である。

2002年のワールドカップでは、チケットの入手ができず、スタジアムに入れないサポーターが数多くいた。会場周辺には、違法と知りながらも「チケット譲ってください」と記した紙を掲げている人々が目に付いた。それでもチケットを入手できない人々の行動は、実に興味深いものであった。彼等は、競技場周辺でスタジアムに入らなかったファンと一体になってポータブルテレビを見ながら競技場内と同じ観戦すなわち応援スタイルを展開していたのである。彼らは、フェンスを一つ隔てただけで、すぐそこにいるプレーヤーと同じ時空間を共有していることに喜びを見出そうとしていた。このような行動に彼らを駆り立てたのは、「身体的一体感」である。それは、競技場の内と外を隔てる人工物を越えて、中に居るサポーターと身体的な感覚として一体化しているのである。その他にも、国立競技場や福岡ドームといったパブリック・ビューイングに行き、大画面を見ながら競技場内と同じ雰囲気を楽しむというサポーターもいる。さらに、スポーツバーのような、テレビのある居酒屋で皆と一緒に応援のパフォーマンスを楽しもうとする人たちもいる。いずれも、皆で応援のパフォーマンスを楽しむということには変わりはない。それは、時には暴走して、大阪道頓堀や博多中洲の川に飛び込むような事態を惹起するが、それもサポーター同士の一体感がなければ、起こりえない現象である。

そこにおいては、応援のパフォーマンスが、その空間に居合わせた者同士を繋げていくコミュニケーション・ツールとなっていくのである。なかには、サッカーのルールをよく知らない者もいる。しかし、そのことは、そこから排除される要因とはならない。なぜなら、応援のパ

パフォーマンス自体が人々を繋ぎ、ファンとしての一体感を生み出すものだからである。

③ ヒーローイズム

新聞やテレビを見る限り、スポーツ選手に関連した情報を目にしない日はない。いまや、BS・CS放映やインターネットによる選手の個人情報、または選手個人が開設するホームページ等で常に情報を入手することが可能になった。人々は、ある特定の選手に注目することで何を楽しんでいるのであろうか。

特定のスターやヒーローはいつの時代でも存在してきた。それは、国民的なヒーローであったりイベントやゲーム毎に誕生したりするヒーローである。石川は「昔は、国としての意識の高揚を主たる目的として放送が行われました。そのために、スポーツ放送によって国民的なヒーローやヒロインが生み出され、皆が共通に注目する焦点を作り出しました。現在はどちらかといえば、ヒーロー・ヒロイン作りそのものに力点があります。人々が注目するスターがいると、放送への注目度がまします。ナショナルレベルでのスターを放送が作り出せば、放送事業自体も潤います。現在のテレビとスポーツの関係は、『ヒーロー・ヒロイン作りの時代』といえるのです。」[石川, 2000]というように、メディアによるヒーロー作りを指摘する。ヒーローが誕生する際には、必ずといっていいほどその選手のプロフィールが紹介される。身長・体重、年齢、代表歴、過去のけがの内容や所属クラブといったプレーに関する要素だけでなく、家族構成、出身校等も扱われる。人々は、そのような選手のプロフィールと自分の今置かれている境遇とを照らし合わせ、そのなかから共通項を見出すことによって特定の選手に「感情」を移入する。同世代のベテラン選手の奮闘や、選手のけがの克服、さらには新天地での活躍を自身の人生観あるいは人生一般の挫折や再起に置き換え、それらに感情移入する。つまり、特定の選手と「個別主義」的に同一化することによりスポーツを楽しむという側面が浮き彫りになる。このヒーロー誕生は、メディア・ロジックと深く関わっており、重大な問題領域を生み出している。

また松田 [2001]は、「バタイユの理論」²⁾を用いて、ファンが特定の選手に勝利や威信や名誉を託すのは、「至高性」を体験するためであると主張する。彼は、人はあたかも苦勞して積み上げた「積み木」を崩すことに衝撃的な快感を感じるのと同様に、目的に従属しルーティン化してしまった日常生活＝有用性を破棄し、何にも役に立たない危険な瞬間＝至高性を求めるのだが、その際、勝負にすべてを賭けてきた比類なき至高者（プレイヤー）に威信や名誉を託し、「勝負をめぐる奇蹟的な出

来事」を通して、至高性の世界を体験するのであるという。確かに我々は、日々の様々な制約のある日常生活の中で、芸術家や宗教家のように至高の活動に従事することは難しい。そこで、我々は至高性そのものを体現する比類なき者をスポーツ選手のなかに見出し、彼らを通して間接的に至高性を体験するのである。

以上、感性に重きを置いた享受スタイルの現状を分析したが、そこでは、それぞれのスポーツ種目の競技特性について、どれほど理解がなされているだろうか。「最終予選」という言葉がつけば、そのイベント性にすぐに飛びつく人々や、バレーボールの大会期間中に、華麗に舞うアイドルグループを目的に観戦あるいは視聴する人々は極端な例であるが、感性に重きを置くばかりでは、「見るスポーツ」の文化的成熟は有り得ない。それぞれのスポーツ種目を「楽しむ」ということを念頭に置かなければ、単に流行に踊らされてスポーツを見たり、スポーツ以外の目的で観戦したりするのではなく、実際に観戦するスポーツが独自に持つ特性やルール・戦術等の理解や認知を通して、「長期的関心」に基づいた見方も加味される必要があろう。

そこで、次項では、理性的な視点からゲームを観戦する解説者的な見方について考察する。

2) 理性志向型（解説者的な見方）

これは、それぞれのスポーツ種目の特性やルール・戦術を十分に理解した者の見方である。彼らは、個別主義的に特定の者あるいは特定の戦術などを志向することから感情的に発した即時的満足を求めることはない。プレーヤーや戦術を選び好みせず、理性的に長期的展望のもとにゲームの展開（流れ）を追い、それを評価あるいは予測する。例えば、彼らはゲーム中に行われた一つのプレーに対して評価を下すことができる。それは、そのプレー後の瞬間的に起こった結果ではなく、試合の流れからその一つのプレーがゲームにどのような影響を与えたかを読み取ることである。ゲームには常に試合の流れが存在する。それは、一瞬であれ必ず訪れるものである。その流れをつかむあるいは自チームの側に引き戻すワンプレーが試合のなかで発生する瞬間がある。その一瞬を彼らは見落とさない。そのワンプレーにどのような要素があったかを読み取ることができる。このようなことは、当該スポーツに関する専門的知識がなければなしえない。彼らには、両チームの情報をいち早く獲得し分析できる能力が備わっている。具体的には、両チームのシステムや戦術的特徴、それぞれのチームの核となる選手のポジション、さらに個々の選手の特徴や癖などが挙げられる。こうした情報の把握や経験的に獲得された戦術眼、さらに

はスカウティング能力を通して、一瞬のワンプレーが持つ意味を正確に読み取ることが可能となる。

このような能力は、他の場面でも活用される。彼らは自身の経験をもとに、目では捉えることのできない、選手間で行われている水面下での駆け引きをも読み取ることが可能である。例えば、ピッチャーとバッターの駆け引きやゲームの流れによって変化するネット越しの心理戦、相撲の立ち合い、サッカーにおけるペナルティーキックの際のゴールキーパーとキッカーとの駆け引きがそれである。これらは、いずれも実際のプレーの「合間」に行われる行為である。この駆け引きによって勝敗が決まることを経験的に認知している彼らは、ゲームを見る際に、その場にいる両選手の心理的状态をも読み取ることができる。

さらに彼らは、自身をプロの中でも一流競技者といわれる選手に投影することができる。感情に流される観客が、スポーツ以外の外的要素（ファン自身が背負っているもの、人生観等）を取り入れて一流競技者（ヒーロー）に自分を投影するのは異なり、彼らは一流競技者のプレーそのものに自身を投影する。つまり、経験的にテクニカルな難度を十分に把握できる彼らは、一流競技者の華麗なるプレーを見て、多少なりともイメージのなかでそのプレーを実践あるいは再現することで、あたかも自身がプレーしているかのような感覚を味わうことができる。あるいは逆に、自分の持つ技術と比較し、そのプレーがどの程度のレベルにあるのかを判断することによって、「スーパープレー」と呼ばれる高度なテクニックを評価することができる。

以上のように、専門的知識を持つ彼らは、感情中立的立場からゲームそのものの質や内容を理性的に観戦している。感情的にならず、長期的展望のなかでゲームの流れを予測し、その展開に眼を凝らして見る。一つひとつの動作、一挙一動をその展望のもとに意味づけているのである。彼らは、スポーツに対して即時的欲求の充足を要求することなく長期的関心を抱くのである。

3. 「スポーツ文化享受」に関する研究の新たな方向性

— 「型」の鑑賞 —

これまで、観戦者の享受スタイルの現状分析を行い、「理性」と「感性」どちらか一方に偏った見方の範疇を明らかにした。しかし、先に記したように、スポーツ文化の本質に根ざした享受は「理性」と「感性」を統合したものである。そこで、「理性」と「感性」を統合した見方として「型を鑑賞する」といった見方の考察を試みたい。

「型」は、芸道文化の研究のなかでしばしば論じられる概念である。特に学習者が芸を習得する過程を説明する際に用いられる概念である。これは、日本と欧米の学習形態を比較分析することを通して明らかになる。日本舞踊には、西欧芸術とは異なる教授方法が見られる。西欧の芸術は、段階を踏んで体系的に教えられるが、舞踊の場合は、まず、形を模倣することから入る。師匠が先に踊って見せ、弟子がそれを真似るのである。入門して間もない学習者が師匠を真似ても、これは単に外形的なものをなぞっているに過ぎない。しかし、稽古を重ねていくうちに形の模倣から型を習得していく。生田はその型の習得について、「『形』の意味を解釈しながら、また自らより上位の、より開かれた目標を生成しながら、『形』の模倣を超えて自らの主体的な動きにしていくこと、すなわち『形』をハビトス化していくことこそが『型』の習得に他ならない。」[生田, 1987, p38]と述べている。さらに、「そうした『形』の模倣は、『個々の模倣者に対して秩序立ち、権威のある、証明された行為をなす者の威光』を当の模倣者が認識していることが前提となっている」[生田, 1987, p27]と論じ、模倣者が師匠の示す「形」を「善いもの」として認識した上で、その模倣の対象に専心することを示唆している。このように、「型の鑑賞」には、対象への思い入れという「感性」が深く関わっていることが理解できよう。

芸道では、究極の技を「型」として形式化してきた。演者は、その伝承された型を実践する。観客の関心は、まさにその型を鑑賞することにある。型は、普遍的な規則ではなく、則る手順であり、それゆえ、演者の個々の感情（美的情緒等）によって作り変えられていくものである。そのことは、西山が「守・破・離」という言葉で表している。彼によると「守というのは、伝統の『型』を伝え守ること。破は、その伝え守った伝統を破って、みずからの独自の芸境を展開すること。離はさらにそのかなたの芸境、つまり、破といえども、守と同時に、いずれもまだその芸を離れてはいない。芸そのものを離れた至極の境というのが、離である。」[西山, 1984, p70]という。観客は、その常に新しく変わりつつある型を期待して、その型を鑑賞している。そのことは、尼ヶ崎が「観衆は、新たな『型』がたえまなく生成しかかっている突き崩されるという遊びの現場に立ち会うのである。」[尼ヶ崎, 1990]と述べているように、演者が理性とともに独自の感性を加えて新しく生み出す「型」に、観客の目は向けられている。

また、西山 [1984, pp153-154] は、型の中には、日本人独特の空間認識や「間」と呼ばれるものも含まれるという。その「間」に関して、剣持は「ヨーロッパ人が

『時間』という観念と『空間』という観念に分析してものを考えるのにたいして、『間』の観念は、時間をも空間をも示していて、ヨーロッパ的に二つの観念に分かちがたい」[剣持, 1978, p34]と述べ、そうした「時空間」的な「間」を「叙情空間」[剣持, 1978, p32]と呼んでいる。例えば、相撲では、立ち合った瞬間から非常に速い「わざ」の応酬が展開するが、それまでは仕切りが何度も繰り返され、ゆったりとした時間が流れる。制限時間が一杯になると、気の充実した両者が中央に歩み寄る。「さあ、やるぞ」と言わんばかりに気合を入れる高見盛関のパフォーマンスや、手にした特盛の塩を高々と振り撒くかつての水戸泉関の姿などは、観客を土俵に注視させるには十分である。行司を中心に左右対称に腰を下ろし、阿吽の呼吸で立ち合う。その絶妙な「間」に、人々は様々な感情を読み取る。まさに、剣持のいう「感覚空間」[剣持, 1978, p32]としての時空間的な「間」に人々は魅せられるのである。このように、「型」の鑑賞とは、「理性」のみではなく「感性」を付帯した見方である。換言すれば、「理性」と「感性」が統合された鑑賞形態である。このことは、何も芸道に限ったことではない。

各スポーツ種目には、ルールが規定されており、いかなるプレーヤーもその競技規則に則ってプレーすることが義務付けられている。観客もまたルールを認知しているからこそスポーツを見て楽しむことができる。そのためルールをある程度理解した者は、競技者のプレーの予測が可能であり、したがって、競技者とゲームの世界を共有して、結果的にゲームの世界に主体的に参加することができるのである。しかし、中立かつ平等な条件下で行われるゲームの世界では、結果は不確定なものであり予測不能である。競技者の思い描く通りにはいかず、観客の期待も裏切られる場面が多々見受けられる。たとえ思惑通りに事が運び、期待が見事に成就されても、それは一時的なことに過ぎない。次の瞬間から再度、予測と期待、成功と失敗が繰り返され、勝敗が決するまでそのサイクルは回り続ける。この結果の予測不能性が絶えず緊張を生み出し「見るスポーツ」の魅力の源泉となる。しかし、さらに深くスポーツを見て楽しむためには、ルールの理解は勿論のこと、当該スポーツ種目に関する予備知識（詳細な技術や戦略等）を深めることが重要である。人々は、予備知識を獲得することによりスポーツをさらに深く楽しむことができるようになる。予備知識のない者は、その時その場の刺激による「即時的」満足に留まり、長期的展望を持ち得ない。他方、予備知識のある者はそのスポーツの深み（奥深さ）を味わうことが可能であり、結果として繰り返しスポーツを観戦し、長期に渡ってスポーツに関心を抱く。

わが国では、ある物事に精通している者をその道の「通」と称する。麻生は、「通」について「その事に對して知識が隔々まで行きわたっていること」[麻生, 1951, p105]と説明している。「通人」は、ある物事に対して深い知識を持ち、その道のことはすべて知り尽くしている「理性」的な者であるということが言える。しかしながら、「通」は、単に「理性」だけを重視するのではない。麻生[1951, p109]は、真の「通」は単に流行や風俗を模倣する「野暮」とは異なり、知識と心意気にも優れていると説いている。それは、思い入れにも似た、自身の思いを貫こうとする意気地を指し、「理性」のみならず「感情」にも重きを置いた者であると解釈できる。また、彼は、「己れを過信したり、相手にこだわったりしないで、赤と出れば赤に辨じ、黒と出れば黒と辨ずる。その場合に應じて適當にとりさばくというような聰明な振舞」[麻生, 1951, p108]が、通には要求されると述べている。このことは、「個別主義」的な思い入れを持ちながらも、そのことに一切拘泥することなく、ものごとの「普遍主義」的な理解へと転じていくことを意味している。

このように、スポーツに精通している者がスポーツを観戦する場合、彼らは、自身の感情を駆り立て、思い入れのあるチームや選手を選択して、対象の型（戦術・パターン）を予期しながらスポーツ観戦を楽しむ。その際、観客は、肩入れするチームの勝敗の如何にかかわらず、ゲームの質や内容を純粹に味わうことができる。換言すれば、「理性」と「感性」を統合したスポーツの観戦をそこに実践していると言えよう。横綱は、如何なる相手であろうと立ち合いに横にかわしたり、引いたり、叩いたりすると観客からマイナスの評価を受ける。常に真正面から受けて立ち、前に出ることが要求される。一見、不利とも思われる戦い方ではあるが、通は、それを横綱の「型」として捉えるとともに、立ち合いという時空間的な「間」に感情を沸き立てる。知識や理論のみのスポーツ観戦では、どこか味気なくエキサイトメントに欠ける。やはり、感情や情動が入り込むことでスポーツ観戦がヒートアップする。逆に、感情のみでは、「刹那的」な享樂に終わり、真の享受はなしえない。まさに、「理性」と「感性」を統合し、両者の介入を適切に行う「通」の見方こそが、観戦する際の見方の広がりとしの深みを味わうことのできる享受スタイルであると考えることができる。

そのような意味で、「スポーツ文化享受」を芸能文化の「型」の概念に基づき、「理性」と「感性」の関係性から読み解くことを以って、本研究をその研究序説と位置づけるものである。

注

- 1) 詩吟・演説などの高潮した際に、聴衆から発する声援の掛け声。(主として明治期に使われた、鹿児島地方で使い始めたという) 広辞苑 第5版
- 2) 人はあたかも、苦勞して積み上げた「積み木」を崩すことに衝撃的な快感情を覚えるのと同様に、目的に従属しルーティン化してしまった日常生活＝有用性に対して、そのような呪縛から解き放たれ、何の意味も持たず、何にも役に立たない危険な瞬間＝至高性を求める。勝負にすべてを賭けてきた比類なき至高者(プレイヤー)を認め、その輝きに照らされた「勝負をめぐる奇蹟的な出来事」を通して、至高性の世界へと、ファンはある瞬間導かれている。スポーツファンに見られる超越的な他者との関係は、このようなプロセスを経て生み出される、至高性の体験である。

引用文献

- 尼ヶ崎彬 (1990) ことばと身体, 勁草書房, p180
- 麻生磯次 (1951) 「通・いき」 青野季吉 編著, 日本文学講座第7巻, 河出書房, p105, 109, 108
- 藤善尚憲 (1994) 「スポーツファンに関する心理学的研究」 天理大学学術研究会, 天理大学学報第45巻第3号, pp1-12
- 池田克紀・北洞誠一・波多野義郎・室星隆吾 (1984) 「スポーツ消費行動の社会心理的要因」 東京学芸大学, 東京学芸大学紀要第5部門芸術・体育第36集, pp133-145
- 生田久美子 (1987) 「わざ」から知る, 東京大学出版会,
- 石川 旺 (2000) 「テレビの中のスポーツ」 山本理人・鈴木 守 編著, スポーツ文化の現在, 道和書院,
- p61
- 上瀬由美子・亀山尚子 (1994) 「大相撲ブーム」 松井 豊 編著, ファンとブームの社会心理, サイエンス社, pp73-90
- 剣持武彦 (1978) 「間」の日本文化, 講談社,
- 木佐貫久代・江刺正吾 (1996) サッカー観戦動機に見られる性差の検討, 日本スポーツ社会学会編, スポーツ社会学研究第4巻, 法政大学出版局, pp106-114
- 丸山富雄 (1977) スペクテーター・スポーツの社会機能に関する考察, 体育社会学会研究会編, 体育社会学研究 6, 道和書院, pp213-224
- 松田恵示 (2001) 交叉する身体と遊び, 世界思想社, pp181-187
- 見田宗介 (1974) 価値意識の理論, 弘文社, p26
- 西山松之助 (1984) 「近世芸道思想の特質とその展開」 西山松之助著作集第6巻, 芸道と伝統, 吉川弘文館,
- 佐伯聰夫 (1979) 「文化論における遊戯論的パースペクティブの重要性について」 丹羽劭昭編著, 遊戯と運動文化, 道和書院, p168
- 齊藤隆志 (1991) 「観戦行動の分類と要因」 筑波大学体育科学系紀要第14巻, pp39-53
- 作田啓一 (1995) 三次元の人間, 行路社, pp7-8
- 作田啓一 (2001) 生成の社会学をめざして, 有斐閣, pp111-112
- 高橋豪仁 (1993) 「スポーツ観戦についての考察」 徳島文理大学研究紀要編集委員会, 徳島文理大学研究紀要第45号, pp35-48
- 玉木正之 (1999) スポーツとは何か, 講談社, p97

(平成16年10月30日受付)
(平成17年3月16日受理)

小学校児童における体育授業と心身状態との 因果的関連性に関する研究

鈴木 理 (宮崎大学教育文化学部)

玉江 和義 (宮崎大学教育文化学部)

A study on causal-relationships between systematic PE lesson and psychosomatic status among a sample of public elementary school children

Osamu Suzuki and Kazuyoshi Tamae

Abstract

To find the progressive design to facilitate “Team Building” induced by newly materials (physical challenge and challenge move), we conducted systematic PE lessons (1 unit=5 sessions) with observation of psychosomatic status among a public elementary students (N=36) in Miyazaki prefecture. Effective response rate were 80.6% (N=29).

Psychosomatic status of children were measured using Center for Epidemiologic Studies-Depression scale (CES-D) at pre and post unit. Children also answered to questionnaire of the formative evaluation instrument modified to the Visual Analog Scale at the end of every session except for the orientation (1st. session). All sessions were videotaped. Pre and post CES-D data were subjected to cluster analysis with K-means procedure. A four-cluster result in CES-D score changed from pre to post emerged, which were named as follows: Healthy (68.9%), Medium (13.8%), Healthy-up (13.8%), Unhealthy (3.4%). Distributions were generally comparable across the groups, the time-series transition of formative evaluations score showed different pattern in each group. That is, these patterns indicated that “Team Building” made progress generally, in agreement with systematic PE lessons, while the patterns differ from group to group. These data were verified by ANOVA and Paired T-Test ($p<0.05$). SPSS was applied for analysis.

Results obtained are the following:

- 1) Perceived psychosomatic status accelerated at post unit more than at pre unit.
- 2) Significant associations observed between CES-D score and formative evaluation score at post unit.
- 3) Distribution pattern of formative evaluation scores of each CES-D based group converged in the later sessions.

In concluding, the causal-relationships between systematic PE lesson and psychosomatic status were observed. It suggests that study design consisted of traditional evaluating system and second criterion require on considering the analyzed data as yielded real-deal of children, from this time. Therefore, methods to improve the accuracy of reporting and techniques to adjust for bias, with respect to analysis of PE lessons should be devised.

Key words: PE lesson, team building, psychosomatic status

1. 緒 言

学習指導要領体育科（保健体育科）の目標に「心と体を一体としてとらえ…」という文言が付加されたことに象徴されるように、今日、わが国では運動と心の健康との関連を重視した学習指導が標榜されるようになってきており、その目玉商品として体ほぐしの運動が登場した。ここでは、体への気付き、体の調整、仲間との交流という3つのねらいが相互に関連し合って具体的な活動が導き出されるのだが、特に仲間との交流は、友達との身体接触を通して心身をほぐすという意味で、すべての活動に関わる重要な要因とされている（村田，1999）。

これに関して、近年、米国で開発された、仲間づくり（Team Building）をターゲットとする「チャレンジ運動」と称するプログラム（Glover & Midura, 1992）がわが国にも紹介され（ミドウラほか，2000）、これを適用した授業実践が精力的に展開されるようになった（稲田，2002；小林ほか，2002；高谷，2002）。さらには、チャレンジ運動で強調される特定のねらいや内容（集团的・協力的なかかわり合い活動）に焦点を当てた授業評価法も開発された（小松崎ほか，2001）。他方、体育授業における肯定的な人間関係の形成が学級経営にもプラスの影響をもたらすことが報告されている（日野ほか，2000）。このことは、体育の学習成果を授業の枠組みの中だけでなく、子どもの全般的な生活場面に拠って吟味していくことの必要性を示唆している。

しかしながら、前挙したチャレンジ運動の実証的研究は、総じて仲間づくりが促進されたという事実を記述することに留まっており、そのことが現代的教育問題の解決、とりわけ心の健康の回復や増進にどれほど貢献しているのかを詳細に説明しているわけではない。したがって、単元前後の子どもたちの心身状態を客観的に把握し、チャレンジ運動による仲間づくりとの因果関係について精緻に検討を加える作業が必要である。

これら未着手の課題を解明していくためには、心身の健康を標的とする学問分野の知見を動員することが有効であろう。例えば、学校保健学や公衆衛生学等の分野では、近年深刻化している不登校、いじめ、薬物濫用、性非行などの問題解決を見据え、とりわけ心の健康の重要性を実証してきた。特に思春期対象における質問紙調査法による精神健康レベルの測定は多く行われ、その成果が蓄積されている（青木ほか，1974；森ほか，1987；岩田ほか，1988；大貫ほか，1988；竹内ほか，1989；玉江ほか，1997）。

しかしながら、このテーマにおける主要所見の多くは、全対象集団の平均値および標準偏差を基準にして考察し

たものである。そのため、標準偏差や線形関係の範囲内に収まらない異質な小集団の見落としは否定できない。児童・生徒の実情を現実問題として捉えた場合、即効性ある知見を導くためには、対象集団の特性を浮き彫りにすることが必要であり、異質な集団にこそ、これら教育的アプローチが必要である。

この点を鑑み、高倉ら（1999）は、心身状態を詳細に検討するため、集団の特徴づけを経た上で比較・検討を行っている。あるいは、玉江ら（2000）は、症状の特徴からグループ分類し、心身症状の要因分析を行っている。これらは、標準偏差内において不可視であった実態を可視的に検討しようとしたものである。

これら先行研究は、研究対象集団の横断的特徴を明らかにして検討を試みようとするものである。すなわち、調査時点における対象者の心身の実情を浮き彫りにすることにより、母集団の健康レベルを詳細に推定し、研究知見のさらなる意味づけを行なうものである。そもそも研究対象集団に横断的差異（地域や学校による違いなど）が存在することは否定できず、この偏り（Sampling-Bias）を可能な限り除去することは、わが国の児童・生徒一般に適用できる知見を探索していく上で極めて重要な手続きとなる。これにより、その研究知見はその後の類似研究においても比較対照としての意味を更に持つこととなり、ケーススタディによる知見蓄積の重要性を増すことに結びつくと考えられる。

他方、体育科教育学分野においては、1970年代後半以降、組織的観察法を適用した経験的・実証的体育授業研究が量産されてきた。しかし、多くのサンプルから得られた数量データの解析からは、実際の行動に内包されている総合的な意味性が十分には捉えきれず、さらには「授業の内容的条件」の適否を明確に判断することも困難であるといわれている（高橋，1992）。そこで近年では、特定の事例を取り上げて、授業の目標・内容とこれに対応した教師行動・生徒行動を総合的に解釈しようとする気運が高まってきている（Werner & Rink, 1989; Pellett & Harrison, 1995；大友ほか，1999）。

以上を踏まえると、特定の学級を事例的に取り上げ、体育授業がもたらす学習成果が子どもたちの心身の健康に与える影響を詳細に把握していくことには大きな意義が認められる。また、このことは、学習指導要領に謳われている「運動領域と保健領域を一層関連させて指導する」ための具体的方策を提示することにもつながる。

そこで、我々は、体育授業評価と心身健康レベルは因果的な比例関係を呈するとの仮説を設定した。この仮説に基づいた本研究の目的は以下のとおりである。すなわち、①心身状態を標的とする質問紙調査票により、介入

前（単元前）と介入後（単元後）における対象集団の症状保有程度の変動を確認すること、②仲間づくりを目的とする体育授業の形成的授業評価の推移を確認すること、③双方の因果的関連性を検討することである。

2. 方 法

2.1. 対 象

宮崎県内A小学校6年生の1学級（N=36、男子17名、女子19名）を対象とし、授業者（37歳、男性教員）に研究の意図を十分に説明した上で、2002年9月中旬から下旬にかけて、授業および調査（後述）実施への協力を得た。

2.2. 単元の概要

本研究で実施されたのは、仲間づくりを目的とする5時間扱いの授業である。教材は、我々が原案を作成した後、授業者と協議を重ね、学級プロフィールを配慮した上で、表1のように設定した¹⁾。授業はオリエンテーション（第1時間目）の後、第2時間目に「棒渡し」「むかでジャンプ」、第3時間目に「ジャンピング・マシン」「ラインナップ」「ザ・ロック」、第4時間目に「ウォーキング・モンスター」「エレクトリック・ワイヤー」、第5時間目に「グランドキャニオン」「トラスト・フォール」が、それぞれ教材として適用された。

2.3. データの収集

2.3.1. CES-D 調査とその適用妥当性

単元開始前、および終了後に、Center for Epidemiologic Studies-Depression scale (Radloff, 1977) の日本語版 (CES-D) を適用して調査を行った。CES-Dは、うつ病の疫学研究のために米国の National Institute of Mental Health において開発された20項目4回答選択肢²⁾ からなる自己評価尺度であり、米国では、思春期についてもその妥当性が確認されている。わが国でも、成人対象において妥当性・信頼性が確認されているほか、思春期への適用例も報告されている。

小学生対象のCES-D適用に関しては、小学生仕様の抑うつ評価尺度が乏しいことを勘案する一方で、対象者が小学校6年生という青年期前期（思春期）直前の発達段階に位置していることを考慮した。これらを検討の上、近年、多くの思春期適用例においてその適用妥当性および信頼性が確認・報告されているCES-Dによって心身状態を測定することが、最も偏りの少ない心身状態評価に結びつくと考えられた。これに関し、鈴木と玉江（2003）は、すでに小学生を対象にCES-Dを適用し、当該の尺度および下位尺度のスコアならびに各項目の回答様態について統計的に吟味・検討を行ない、その結果

表1 教材の概要

<棒渡し> 7人のメンバーが男女交互となるよう円になる。各自1本ずつ、体操用の棒（長さ90cm）を床に立て、倒れないよう手の平で上から押さえる。リズムに合わせて一斉に時計回りに移動し、前の人が残した棒が倒れないように押さえる。
<むかでジャンプ> 7人のメンバーが男女交互となるよう縦1列に並ぶ。先頭の人には手を腰に、後ろに続く人たちは前の人の肩に手をかける。タンブリンのリズム（16カウント）に合わせ、はじめの位置から「前→戻る→後ろ→戻る→左→戻る→右→戻る」の順で一斉にジャンプする。
<ジャンピング・マシン> 7人のメンバーが男女交互に横一列に並び手をつなぐ。両端の者は外側の手で縄を前回しする。メンバー全員で連続して10回跳ぶ。後ろ回しでも同様に行う。
<ラインナップ> 7人のメンバーが男女交互に平均台上に並び、両端の者同士でジャンケンする。勝った方の端から、名前の50音順となるように並びかわる。床や平均台の支柱に触れてはいけない。
<ザ・ロック> 7人のメンバー全員が岩（木製のボードで代用）の上で、あるいは床から離れてバランスをとり、ゆっくり1から5までカウントする。
<ウォーキング・モンスター> 7人のメンバーの床に接する体の部分が合計5箇所になるようにして、9mの距離を一体となって移動する。
<エレクトリック・ワイヤー> 7人のメンバーが手をつないだまま、高さ90cmの高圧電線（バドミントンのネット）に触れないようにして越える。
<グランドキャニオン> クライミング・ロープの振幅を利用し、7人のメンバー全員が床面のスタート地点から着地点の跳び箱へと渡る。
<トラスト・フォール> 9～10人のメンバーのうち1人が舞台の縁に閉眼後ろ向きで立ち、体を硬直させて後方に倒れていく。他のメンバーは、左右から手を伸ばしてセーフティーネットをつくり、倒れてくる人を受け止める。

の妥当性・内的整合性に問題がなかったことを報告している。

調査にあたっては、授業者が無記名自記式の質問紙³⁾を配付して説明を行なった後、児童に記入させてその場で回収した。なお、その際、授業者が当該質問紙を構成する質問内容について随時わかりやすく解説した。分析には、欠損値がなく、かつバイアスが認められないケースを対象とした結果、有効回答者は29名となった。

2.3.2. 児童による形成的授業評価

オリエンテーションを除く毎回の授業終了後、すべての児童に高橋（ミドウラほか、2000, p.24）が紹介した仲間づくりに関する形成的授業評価票を改変したものを配付し、当該授業を評価させた。改変の要領は以下のようである。

従来、この調査票は、各質問項目に対して3回答選択肢（「はい」「どちらでもない」「いいえ」）のうち一つを選択させるものであった。この回答選択肢は、1～3点

の重みが与えられており、この点を集計することによって当該尺度および下位尺度のスコアが算出されてきた。しかしながら、本研究においては、次の理由によって、順序変量ではなく連続変量による授業評価の抽出を試みた。すなわち、授業成果の特徴を抽出するためには、対象者間の共通点と相違点をより鋭敏に検出することが必要になる。ところが、対象者数が少ない本研究にて3段階回答選択肢を適用すると、統計上のみならず、実測値にも相違点が見出しにくくなる。この点を改善する上で、変数に対する回答選択肢の自由度を幅広くすることが当該集団の傾向と特徴を見出す上で有用と考えられた。

そこで本研究では、Visual Analog Scale (Flachenecker, et al., 2002) によって回答データを得ることとした。これは、各質問項目について、どれくらい「そう思うか」を調査票上に設けたスケールに区分線を引かせることで表現させるものである。区分線は、事後、定規で実測することによってパーセンテージとして表されることから、当該項目に対する間隔値が反映されると考えられるものである。

一方で、この変量によると0～1500 (0～100%×15項目) までの数値で授業評価が反映されることとなる。この変量データから統計的特徴を妥当性ある形で検出するためには、正規分布に従う変数を作ることが必要と考えられた。たとえば、一元配置分散分析などの統計技法を適用するならば、標準偏差は平均値に比例するので、算出値の分布や分散にばらつきがある場合、正規分布および等分散性に近づけることが必要である。そのための手続きとして、本分析では、得られた回答値を対数に変換した。なお、データの中にゼロがある場合には $\log(X+1)$ という方法をとって変換した。この分析の適用妥当性についても、すでに分析・確認がなされている(鈴木・玉江, 2003)。

ここで変換した変量の内的整合性を統計的に算出し、3件法を用いた先行研究(小松崎ほか, 2001)にて示されている内的整合性との比較確認を行った。表2に示すとおり、本研究で得られた間隔値は、尺度および下位尺度の α 係数(Cronbach)とも先行研究との隔たりを示

表2 Visual Analog Scale 適用における形成的授業評価尺度の内的整合性†

	尺 度	1 因子	2 因子	3 因子	4 因子	5 因子
第1回調査	0.82	0.71	0.65	0.66	0.75	0.74
第2回調査	0.87	0.77	0.73	0.73	0.77	0.80
第3回調査	0.76	0.64	0.69	0.70	0.72	0.73
第4回調査	0.80	0.65	0.65	0.60	0.59	0.59

†Cronbach の α 信頼性係数

すものではなかった。むしろ本研究対象者数を踏まえると、高い内的整合性をもっているといえる。したがって、本研究において Visual Analog Scale を用いて得られた変量の分析精度には、一定水準以上の内的信頼性があることが示された。

なお、4回にわたる調査において、分析に偏りを与えないケース(欠席等を含む)を選別した結果、ほぼ100%の有効回答であった。そして、本研究においては、より精度の高い分析結果を抽出するために、すべての調査票(CES-Dを含む)で完全回答を示した29名を分析対象とした(有効回答率80.6%)。

2.3.3. VTR 収録

授業者にワイヤレス・ピンマイクを装着し、授業中の行動と言語活動を同時に VTR に収録した。これを研究室に持ち帰り、授業展開の特徴を視察・分析した。

2.4. データの分析

本研究で設定した「系統的体育授業の評価は漸増し、それに伴って心身状態レベルは因果的に関連する」との仮説に則ると、本対象者における精神健康度の経時変動と形成的授業評価の縦断的分布との結びつきを浮き彫りにすることが、本研究課題を明らかにする最適な方法であると考えられる。ところが、単純合計得点に基づくこれまでの授業評価では、突出した傾向を示した者に対する考察を可能にするデータを抽出するに至らなかった。本研究では、その点を解消していく手だてとして、①授業評価は一樣ではなく多様なパターンが存在すること、②授業評価に基づいた授業成果は、対象者の心身状態に結びついていること、③授業成果を多角的に俯瞰できる分析デザインの適用可能性を示すこと、の3点を分析方法を決定する視点とし、以下のような手順で分析を行った。

- 1) 単元前後に測定した CES-D スコアを算出した。
- 2) CES-D スコアを用いての探索的クラスター分析により、CES-D スコアの単元前後の変化値に依拠したグループ分類を行った。ここでは K-Means 法を適用し、単元前後とも精神健康度が不良な群および良好な群、単元後に良好になった群および不良になった群の4グループを仮定し、そのクラスター数を中心にしての分析を繰り返し、最も妥当性のあるクラスター数を決定した。
- 3) 形成的授業評価においては、Visual Analog Scale 値に基づいた尺度合計得点を算出した。これに伴い、各項目レベルでの回答パターンも確認した。
- 4) CES-D スコアに基づいたグループ別に形成的授業評価得点を比較した。

以上の分析には SPSS を用い、グループ間の差異を 5 % 水準で有意と定め、検定方法には一元配置分散分析 (ANOVA) および Paired T-Test を適用した。

3. 結 果

3.1. CES-D 成績

単元前後で、CES-D スコアは表 3 のように変化した。すなわち、全体の平均得点、ネガティブ項目、さらにその中でも身体症状尺度において、有意な減少がみられた。また、対人関係尺度およびポジティブ項目においては、有意性は認められなかったものの、単元後に改善が窺われた。

3.2. CES-D 成績と形成的授業評価との関連性

上記 CES-D スコアと形成的授業評価得点との関連性は表 4 のごとくである。単元前においては、ポジティブ項目のみが形成的授業評価得点と有意な相関を示していた。ところが、単元後には一転して、CES-D スコアの全体平均ならびにネガティブ項目、抑うつ尺度、身体症状尺度、対人関係尺度が形成的授業評価得点と有意な負の相関を示した ($P<0.01$)。また、単元後では、ポジティブ項目に有意な相関は認められなかった。

表 3 本対象者における CES-D 成績の単元前後の比較

	単元前		単元後		変化値	P †
	平均	SD	平均	SD		
CES-D スコア	14.83	8.01	11.93	6.76	-2.90	0.010**
ネガティブ項目	9.35	8.18	5.00	6.81	-4.35	0.000***
抑うつ尺度	3.14	3.86	1.69	3.20	-1.45	0.883
身体症状尺度	5.38	3.68	2.93	3.18	-2.45	0.000***
対人関係尺度	0.83	1.61	0.38	1.08	-0.45	0.068
ポジティブ項目	5.48	2.34	6.93	2.74	1.45	0.096

† Paired T-Test (** $P<0.01$ *** $P<0.001$)

表 4 単元前後における CES-D スコアと形成的授業評価得点との関連性

	形成的授業評価得点	
	単元前	単元後
CES-D スコア	0.2049	-0.6080**
ネガティブ項目	0.0824	-0.6737**
抑うつ尺度	0.0600	-0.6908**
身体症状尺度	0.1640	-0.4960**
対人関係尺度	-0.1006	-0.7412**
ポジティブ項目	0.4137**	0.1764

† Pearson の積率相関係数 (** $P<0.01$)

†† CES-D スコアと形成的授業評価得点は、「単元前」においては単元前の値を、「単元後」においては単元後の値をそれぞれ計算に用いた。

3.3. 精神健康度に基づくグループ分類

単元前後に測定した CES-D スコアを基にしてクラスター分析によるグループ分類を試みたところ、健康群 (良好—良好、20 名: 68.9%)、中等度群 (中等度—中等度、4 名: 13.8%)、健康向上群 (中等度—良好、4 名: 13.8%)、不健康群 (不良—不良、1 名: 3.4%) の 4 群に分類された (図 1)。このクラスター数がグループ分類として最も解釈するに妥当であった。ここで、不健康群は 1 名のみによる構成となるが、この 1 名による縦断的授業評価は、本研究の主要目的である「仲間づくり」の動向を詳細に観察する上で不可欠であると考え、分析対象に組み入れた。

なお、通常、クラスター分析などの多変量解析を適用する際は、最低 100 名以上のデータ量が必要とされているが、本研究ではケーススタディとしての質に重点をおいたため、対象者は少なくなっており、さらに回答バイアスなどを除去したため、分析対象者は 29 名となった。しかしながら、CES-D スコア分布やその記述統計量を視察することによってグループ分類を行うよりも、クラスター分析による統計的基準に依拠する分類のほうが、データの客観性を損なわないと解釈された。

3.4. 形成的授業評価得点の推移

先の各クラスターにおける形成的授業評価得点の推移について、2 つの図に示している。

はじめに図 2-1 についてみると、第 1 回調査 (第 2 時間目) においては、各群間において顕著な隔たりはみられなかった。第 2 回調査 (第 3 時間目) においては、不健康群が大きな落ち込みを示し、その他の 3 群は明らかな上昇を示した。第 3 回調査 (第 4 時間目) においては、それまでとは異なり、群間で傾向に差異がみられた。すなわち、不健康群と健康向上群は顕著な授業評価の増加を示したが、健康群と中等度群は減少していた。第 4 回調査 (第 5 時間目) においても群間に相違がみられ、不健康群がやや下降を示したのに対し、それ以外の群では

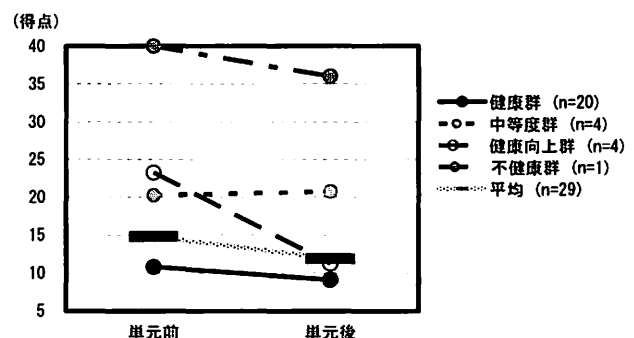


図 1 単元前後におけるクラスター別 CES-D 得点の分布

上昇を示していた。なお、全体としての平均は、第1回から第4回調査まで漸増の傾向を示していた。

ところで、高橋（2003a）は、形成的授業評価得点は単元の進行とともに高くなると述べている。本研究においても、図2-1に示したように、対象者全体の平均値は漸増傾向を示している。しかしながら、クラスター別の得点推移を比較すると、異なる傾向が示されている。この点に関し、小松崎と高橋（2003）は、当該調査票を適用した場合の有効なデータ活用のための手だてとして、個別のグループや個人レベル、あるいは各構成因子レベルに着目した分析が必要であると指摘している。そこで本研究においても、クラスター間でみられた差異をより明瞭に表現するため、授業成果が最も反映されていると考えられる対象者を基準とし、その他のクラスターとの差異を比率得点によって示した。すなわち、単元前後とも精神健康度が良好であった健康群の形成的授業評価得点を1として、クラスター別による比率値を算出した（図2-2）。

調査ポイント毎に比率値の推移をみると、第1回調査においては、著しい相違はみられない。しかしながら、第2回調査以降は、クラスター間で異なる変動を示している。また、全体平均の比率値も漸増傾向ではないこと

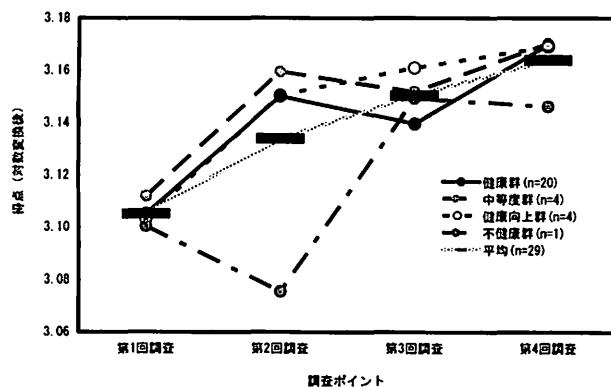


図2-1 クラスター別にみた形成的授業評価得点の推移 (対数変換後)

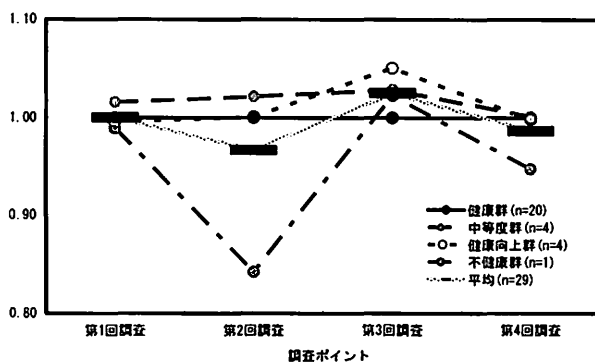


図2-2 クラスター別にみた形成的授業評価得点の推移 (健康群の得点を1としての比率)

から、形成的授業評価得点の推移はクラスターの特性によって異なるパターンを示すことが窺われる結果となった。

4. 考 察

4.1. 仲間づくりを目的とする体育授業の成果

まず、児童の精神健康度が単元前に比して単元後で向上したこと（表3）。しかも、単元後には、CES-Dスコアと形成的授業評価得点との間に強い相関が認められたこと（表4）。これらより、本対象授業は児童の精神健康度の向上に大きく寄与したといえる。特に、単元後の対人関係尺度に -0.7412 という顕著な負の相関がみられたことは、仲間づくりを目的とする本対象授業が児童の人間関係ストレスの低減に強く影響したことを示している。そのほか、抑うつ尺度とともに身体症状尺度に著しい好影響がみられたことは、体育授業が児童の精神心理のみならず身体的健康レベルの向上にも寄与する可能性を強く窺わせるものである。いわば、体育授業は、児童への教育的健康維持増進を多く担っており、児童の健康生活設計上、極めて有益であることが示唆される。これにより、体育授業が本来持ち得ていながらも不可視であった教育的可能性が浮かび上がるようで、学校教育上、誠に興味深い。したがって、体育授業と心身状態変動との関わりを検討することは、体育授業成果を論じる際の重要な視座になると思われる。

次に、精神健康度に異なる傾向を有するグループにおいて、それぞれの形成的授業評価得点をVTRのObservational Inspectionから得られた知見も交えて考察する。

まず、第2時間目は、運動を中心とする学習の最初の時間であった。このことを配慮し、授業中の意思決定の多くを教師が担う学習指導スタイルが適用された。教材は「棒渡し」と「むかでジャンプ」が適用された。いずれの教材も、活動の仕方はあらかじめ決まっており、これをチーム毎に正確にモデリングすることが主要な課題であった。

これに対し、第3時間目以降は、各チームで課題解決の方法を話し合っ決めてなど、学習指導スタイルが児童の意思決定を中心にしたものへと転換された。とはいえ、特に第3時間目は、児童がチームで活動すること自体にまだ十分に対応しきれない状況であった。また、ここに適用された教材は「ジャンピング・マシン」「ラインナップ」「ザ・ロック」の3つであったが、欠席者の関係でチームによって人数が異なり、容易に課題を達成するチームとそうでないチームが発生した。これらが相まって、形成的授業評価の得点分布に大きな差異が生じ

たものと推察される。

ところが、第4時間目には得点パターンが一転した。不健康群の得点が著しく向上するとともに、健康向上群も上昇し、さらに中等度群もわずかに上昇した。すなわち、各群の得点は、向上を示したこととなり、各得点分布の隔たりが少なくなったことを意味している。ここで適用された教材は「ウォーキング・モンスター」と「エレクトリック・ワイヤー」である。いずれの課題においても、チャレンジしている間は継続的な身体接触が求められる。しかも、単に手をつないだり相手の体に触れるばかりでなく、踏み台になったりおぼったりと、他者の体を全身で支えるようなかなり密着した身体接触を余儀なくされる。これらの課題は独力で解決することが困難であり、仲間との強力な助け合いが必要となる。この状況において、課題の成功や失敗が自分自身の問題というよりも「仲間の問題」として認知・共感されたことは明らかであろう。以上のような授業成果が、形成的授業評価得点の向上という効果をもたらしたものと推察する。

一方、第5時間目の「グランドキャニオン」や「トラスト・フォール」においては、課題解決の鍵を握るのはチャレンジャー本人の決意である。仲間のサポートや励ましはあるものの、課題に挑戦する際には「よし、いくぞ」と自ら決めてスタートしなければならない。ここで児童が感受するのは、「仲間の力」よりも、むしろ勇気を出してチャレンジした「自己の力」であろう。そのため、児童は課題を成し遂げた自己の姿に強く印象づけられながら形成的授業評価票に回答し、このことが「集团的・協力的なかわり合い活動」を標的とする形成的授業評価得点の下降を招いたのだと推察される。

しかし、第5時間目においても、形成的授業評価得点の推移は、グループ間で引き続き類似している。たしかに、先述したように得点は下降しているが、このことよりもむしろ4群のすべてが同様の得点変動を示したことが重要である。すなわち、授業を想起する際、対象者間で共通の傾向を示していることは、いわば「他者への共感」を反映するものであろう。単元末期において「他者への共感」が浮き彫りになっていることは、仲間づくりという所期の目的が達成に向かっていることを示しているといえよう。

なお、VTR データから、第3時間目以降の、児童の意思決定を中心にした学習指導スタイルの授業においても、教師は極めて頻繁に個々の児童と相互作用を営んでいたことが確認された。仲間づくりを促す教師の意図が繰り返し児童に伝えられたことが、学習成果に大きく寄与していることは明らかである。

4.2. 本研究の主要知見

従来の授業評価は、専ら当該調査票の単純合計得点に基づいて行われていた。しかし、平均値を基にした考察は、必ずしも対象集団の代表性を反映しない。授業成果を詳細に分析する上で、具体的にどのようなタイプの児童がどのような回答を示したのかを詳細に探索・検討することがとりわけ求められよう。

そこで本研究では、CES-D スコアを用いての探索的クラスター分析により、精神健康度の経時的変動パターンに基づくグループ分類を行い、各群における授業評価得点の縦断的变化を把握した。これにより、授業評価の得点平均によってただちにその授業の成否を判断するのではなく、児童の精神健康度の変動パターン毎に当該授業の成果を考察することが可能となった。

平均値の縦断的变化から、仲間づくりという目標が単元を通して系統的に達成されていったことが窺われる一方で、心身健康度に依拠したグループ別に授業評価得点を比較した場合、その分布パターンは必ずしも一様なものとはいえなかった。このことは、授業評価得点の推移を高いレベルに収束させるためには、特性の異なる個人やグループに注視する必要があることを窺わせるものである。この点を改善することが、系統的に行われる体育授業の効果を判断する上での形成的授業評価票適用にさらなる意味をもたせると推思される。

高橋（2003b）は、総じて子どもに高く評価される「よい授業」であっても、技能の低い児童に照準を合わせて観察すると、今までの授業研究では見えなかったものが見えてくると述べている。高橋の言葉を借りれば、本研究は、従来の授業研究では「見えなかったもの」を見取ろうとしたものである。これまで行われてきた形成的授業評価が平均値に依存していたことを踏まえると、本研究で数値によってグループ間の相違を浮き彫りにしたことは、まさしく授業成果の中に潜む不可視の部分への接近を意味するものであり、今後の体育授業研究を講じる上できわめて有用性の高い研究デザインであるといえる。

ここで、授業成果について検討を加えるために、授業評価票以外の尺度を適用することの意義について以下に記しておきたい。形成的授業評価法が開発されて以来、多くの研究報告がなされてきた。これにより、本来、集約が困難であった授業成果に関わる変数をより定量的に検討できるようになった。しかしながら、それらはあらかじめ規定された（表出しやすい）事象や現象によって内容（変数）が構成されているため、抽出された授業成果（データ変量）が可視的な部分に偏っていることは否定できない。授業成果には不可視の部分が少なからず存

在することも事実である。体育授業が教育的な営みの一つである以上、厳密な意味での授業成果とは、当該授業直後のデータ変量のみではなく、諸個人のあらゆる生活場面にもたらした効果をもって検討されるべきであろう。このことを、我々はあえて授業効果と呼びたい。

我々は、授業時間外での授業効果を反映する指標として、心身状態レベルを授業評価のための基準として設定した。そもそも心身状態レベルは、諸個人の生活状況を反映する指標であるが、特に児童・生徒の場合は、二大生活圏である家庭と学校の生活全般の影響が反映されると考えられる。とりわけ、心身状態の芳しくない者の中でも、対人関係に悩む児童や生徒は著しいことが問題とされている。これらは、学校教育において解決が急務とされるものである。

一方、運動が精神心理状態の改善に役立つことが、大規模コホートにおける縦断的疫学デザインによる先行報告(友田ほか, 1996)にて実証されている。本研究においても、単元後の心身状態に顕著な改善を示している。この点は、いわゆる「よい体育授業」は児童の心身状態を向上・改善させる、という我々の仮説を支持する分析結果といえる。

少なくとも、体育授業の成果が良い方向性を諸個人に与えるものであるならば、単元の進行にともなって心身状態の改善がなされることが希望的に推測される。本研究に引き寄せて言えば、体育授業において仲間づくりが目的となる場合、その達成の度合いを当該授業ないし単元の中だけで評価すべきではなく、子どものあらゆる生活場面にわたって発揮される効果にこそ目を向けるべきであるといえる。

以上の記述は、従来の形成的体育授業評価法の行き方を否定することを意味しない。むしろその意義を踏まえながら、体育授業の枠内に露見する成果と、それが体育授業を含めた子どもの生活全般に及ぼす影響との関係性を見据えながら、体育授業の教育的な効果を解明することを指向している。この点を踏まえると、体育授業がもたらす効果をより詳細に評価するために、不可視の部分をできるだけ可視化すること、すなわち外的基準を設けて体育授業における身体活動が心身状態にどのような結びつきをもっているのかを検討することが、体育と保健の両分野にとって教育的に極めて意義深いものであり、形成的授業評価によるデータを詳細に検討するためにも有用な手法であるといえる。

4.3. 本研究の制約と展望

本研究は、従来の体育授業研究の行き方に疫学的なデザインを取り入れたケーススタディである。それゆえ、

対象者が少ないことに加えて授業実践時間も多くない。この点からすると、本知見の一般化に制約があることは言を待たない。たとえば、本研究で適用した CES-D は、精神健康度を計るためのものであるが、精神心理ストレス調査を小学生に適用した例は乏しく、本対象集団の代表性は今後の蓄積によって検討されなければならない。また、形成的授業評価票にしても、間隔尺度に Revise して適用していることから、今後さらなる知見の蓄積をもって検討すべきである。それに並行して、性差や学年差あるいは地域差、もしくは学校によって異なると思われる教育方針や授業者による影響を明らかにしていく必要がある。このような横断的な比較検討とともに、本結果の縦断的推移を詳細に検討することも必要であり、見出された知見の再現性(信頼性)を確認することが重要な課題である。そして、これらの課題は、疫学的研究デザインに基づいて行われることが妥当な研究知見に結びつくであろう。

しかし、これらの制約や課題があるにせよ、精神健康度と形成的授業評価との相関の経時的変動が著しかったことは、体育授業の今後を占う上で極めて意義深い。学校保健活動推進の立場からしても、体育授業による健康維持増進の可能性を強く受け止めることができるものである。科学的合理性に基づいた体育と保健の能動的融合に基づく学校教育の重要性が示唆されるものである。

この可能性の視点から、本研究結果の発展性について以下に述べておきたい。まず、重要なことは、体育授業の効果に関する調査データの収集にあたり、バイアスを除去し精度を高めるための方法を改善することによってその努力を傾注すべきである。

くわえて、授業成果を意図的・計画的に生み出す上で、教材の選定ならびに配列に十分な配慮が必要であることにも言及したい。本対象授業の目的は仲間づくりであった。この目的を達成するためには、子どもたちの相互理解を促進し、他者の感情を共有する力を育成するための教材づくりならびに教授行為が求められる。澤田(1992)によれば、他者の困窮を低減する愛他的動機から応答的に共感する「他者指向の共感性」が、子ども相互の感情的つながりを高めるといえる。仲間づくりを標榜する体育授業において、児童が自らの課題を達成したことへの喜びに浸るばかりでなく、友だちの成功とともに喜び、あるいはつまずきをともに悩み考えることができるよう配慮した学習指導が必要である。

なお、本研究においては、我々と授業者が協議の上、9つの教材を選定・配列した。しかし、児童の精神健康度や発達段階など、学校や学級の諸事情に応じた教材の適用方法は多様であり、今回のケースが最善であったと

断ずることは早計であろう。仲間づくりの具体的様態を詳細に検討するとともに、その各々に効果をもたらす教材を特定あるいは開発するなど、教材適用の方略を模索する努力を続けなければならない。

注

- 1) 本研究では、Glover & Midura (1992) の著書「Team Building through Physical Challenges」で紹介された運動（チャレンジ運動）、ならびに長谷川 (2002) が提案したチャレンジ・ムーブの各活動をもとに、グループの人数、身体接触の度合い、用具の個数、課題の難易度などを学級の実態に配慮しながら修正して適用した。すなわち、単元初期には、授業中の意思決定の多くを教師が担う学習指導スタイルが適するよう、活動の仕方をあらかじめ決めておき、これをチーム毎に正確にモデリングすることを主要な課題とした。単元の進行とともに、各チームで課題解決の方法を話し合っ決めていくなど、学習指導スタイルが児童の意思決定を中心にしたものへと転換されるよう配慮した。あわせて、身体接触場面も次第に多くなるよう工夫した。
- 2) 各項目は、過去1週間に経験した頻度を尋ねるものであり、アンカーポイントは4段階となっている。すなわち、症状を有しないことを意味する「まったく、あるいはまったくない」、症状を保有していることを意味する「いくらか、あるいは少しある」、著しい症状保有を意味する「時々、あるいはかなりある」、持続症状の保有を意味する「たいてい、あるいはいつもある」からなり、0～3点で評定するものである。したがって、うつ症状保有程度は0～60の幅で定量されることになる。なお、20項目中16項目がネガティブな表現の項目、残り4項目がポジティブな表現の項目で構成されている。そのため、後者の4項目については、アンカーポイントの評定を逆転させて計算に用いた。
- 3) 質問項目には、個人の心の健康度に関して踏み込んだ問いかけをするものもある。したがって、秘密が漏れることへの不安を除去し、率直な回答を得るためには、無記名での回答を求めることが適当であろう。しかし、他の調査データと絡めて分析・検討を行う際には、個人を特定することが必要となる。そこで、回答者には分からないように質問紙に暗号化したIDマークを付し、これを教室の座席表と照合することによって回答者がどの児童であるかを特定できるようにした。

文 献

青木繁信・鈴木庄亮・柳井晴夫 (1974) 新しい質問紙調

- 査票 (THPI) 作成の試み. 行動量計学 2: 41-53.
- Flachenecker, P., Kumpfel, T., Kallmann, B., Gottschalk, M., Grauer, O., Rieckmann, P., Trenkwalder, C., and Toyka, K.V. (2002) Fatigue in multiple sclerosis: a comparison of different rating scales and correlation to clinical parameters. *Mult. Scler.* 8: 523-526.
- Glover, D., and Midura, D. (1992) Team building through physical challenges. Champaign, IL: Human Kinetics.
- 長谷川聖修 (2002) 動き豊かな子どもを育むチャレンジ・ムーブ. 体育授業研究 5: 124-127.
- 日野克博・高橋健夫・八代勉・吉野聡・藤井喜一 (2000) 小学校における子どもの体育授業評価と学級集団意識との関係. 体育学研究 45: 599-610.
- 稲田尚誠 (2002) 「仲間との関わり合い」を大切にしたい体ほぐし運動 (チャレンジゲーム) の実践. 体育授業研究 5: 19-27.
- 岩田昇・斉藤和雄 (1988) 思春期の自覚症状に関する因子分析的研究. 学校保健研究, 30: 86-93.
- 小林寿・石川貴子・林園子・長谷川悦示 (2002) 高等学校における仲間との交流を目的とした体育授業: 「チャレンジ運動」を取り入れた体づくり運動. 体育授業研究 5: 10-18.
- 小松崎敏・米村耕平・三宅健司・長谷川悦示・高橋健夫 (2001) 体育授業における児童の集団的・協力的活動を評価する形成的評価票の作成. スポーツ教育学研究 22: 57-68.
- 小松崎敏・高橋健夫 (2003) 仲間づくりの成果を評価する. 高橋健夫 (編) 体育授業を観察評価する. 明和出版: 東京 pp.16-19.
- ミドウラ・グローバー: 高橋健夫 監訳 (2000) チャレンジ運動による仲間づくり. 大修館書店: 東京.
- 森忠繁・林正・外川勝巳 (1987) 中学生用簡易健康調査質問紙票作成の試み (第5報): 因子的妥当性の検討. 学校保健研究 29: 32-40.
- 村田芳子 (1999) 「体ほぐし運動」の考え方と進め方. 池田延行・戸田芳雄 編 小学校学習指導要領の展開 (体育編). 明治図書: 東京 p.57.
- 大貫義人・渡部二雄・高橋浩之 (1988) 自律神経緊張検査の中学生簡易健康調査法としての妥当性に関する研究. 学校保健研究 30: 233-239.
- 大友智・清家尊文・高田俊也・井上晃宏・岡沢祥訓 (1999) 小学校体育授業における教師行動に関する事例的研究. スポーツ教育学研究 19: 159-173.
- Pellett, T. L., and Harrison, J. M. (1995) The

- influence of a teacher's specific, congruent, and corrective feedback on female junior high school students' immediate volleyball practice success. *Journal of Teaching in Physical Education* 15: 53-63.
- Radloff, L. S. (1977) The CES-D Scale; A self-report depression scale for research in the general population. *Appl. Psycho. Measure.* 1: 385-401.
- 澤田瑞也 (1992) 共感の心理学：そのメカニズムと発達. 世界思想社：東京 pp.20-21.
- 鈴木理・玉江和義 (2003) 「仲間づくり」を目的とする体育授業における児童の心身状態. *体育科教育学研究* 20(1): 1-8.
- 高橋健夫 (1992) 体育授業研究の方法に関する論議. *スポーツ教育学研究 特別号*: 19-32.
- 高橋健夫 (2003a) 体育授業を観察評価する. 高橋健夫 (編) 体育授業を観察評価する. 明和出版：東京 pp.1-6.
- 高橋健夫 (2003b) ナラティブ分析の事例：できない子どもの学習行動の分析から. 高橋健夫 (編) 体育授業を観察評価する. 明和出版：東京 pp.78-82.
- 高倉実・崎原盛造・新屋信雄・平良一彦 (1999) 思春期における日常生活ストレスの表出パターンと抑うつ状態との関連. *学校保健研究* 41: 107-116.
- 高谷昌 (2002) 「チャレンジ運動における仲間づくりの実践」の検討. *体育授業研究* 5: 128-131.
- 竹内一夫・青木繁信 (1989) 思春期精神保健のための新しい質問紙票作成について. *北関東医学* 39: 35-52.
- 玉江和義・岩田昇・松田晋哉・曾根智史・照屋博行 (1997) 北九州市内公立中学校生徒における自覚症状に関する研究：因子構造の学年間および性別間での比較. *九州体育・スポーツ研究* 11: 21-30.
- 玉江和義・吉村英子・照屋博行 (2000) 高校生の疲労症状保有パターンとその関連要因に関する研究：クラスター分析を用いての検討. *福岡教育大学体育研究センター紀要* 24: 1-10.
- 友田貴子・岩田昇・北村俊則 (1996) 精神的健康に及ぼすスポーツ活動の効果. *体力研究* 91: 133-141.
- Werner, P., and Rink, J. (1989) Case studies of teacher effectiveness in physical education. *Journal of Teaching in Physical Education* 8: 280-297.

(平成16年7月1日受付)
(平成17年3月7日受理)

高齢者における Electromechanical Delay の特性

高 瀬 幸 一 (福岡大学スポーツ科学部)

田 口 正 公 (福岡大学スポーツ科学部)

柿 本 真 弓 (福岡大学スポーツ科学部)

Characteristics of Electromechanical Delay in the elderly

Koichi Takase, Masahiro Taguchi and Mayumi Kakimoto

Abstract

Electromechanical delay (EMD) refers to the time lag between the onset of electrical activity (electromyogram: EMG) and tension development in skeletal muscle. It is possible to establish a hypothesis: aging may influence EMD. The purpose of this study is, by measuring muscle reaction times and muscle strength in the condition that the eccentric (ECC) and concentric (CON) muscle actions of the lower limb for the elderly and young subjects, to investigate the characteristics of elderly people's EMD, various reaction times and eccentric and concentric muscle strength from comparison with the young. A group of 13 elderly female and a group of 15 young healthy female subjects have given informed consent for volunteered to participate in this experiment. Their average age, height, and weight are 73.9 (SD 5.2) years, 149.4 (SD 5.0) cm, 49.7 (SD 5.5) kg (elderly group) and 18.9 (SD 0.7) years, 159.2 (SD 4.8) cm, 49.6 (SD 5.5) kg (young group), respectively. The measurement is performed for extension movement of knee joint, and surface EMG waveform is recorded from rectus femoris. Concerning peak torque values of elderly group [ECC: 134.0 (SD 26.1) Nm, CON: 41.2 (SD 11.7) Nm], there are significantly lower values (ECC: $p < 0.05$, CON: $p < 0.01$) than in the young group [ECC: 156.4 (SD 27.8) Nm, CON: 79.3 (SD 23.3) Nm] in both ECC and CON muscle strength. EMD of the elderly group [ECC: 101.7 (SD 9.7) ms, CON: 92.7 (SD 13.1) ms] is significantly longer (ECC: $p < 0.05$, CON: $p < 0.01$) than that of young group [ECC: 82.8 (SD 10.9) ms, CON: 87.8 (SD 10.9) ms] in both ECC and CON muscle actions. Similarly, in total reaction time (TRT) and pre-motor reaction time (PMT), there is a significant difference ($p < 0.01 \sim p < 0.001$) between the two groups. These results suggest that EMD and the muscular which work according to an increase in age are decreased and declines of these neuromuscular system are considered to cause falls during a walk and occurrence of injuries.

目 的

人は一般的に加齢に伴い身体各諸機能に低下が生じる。見た目などの形態学的な加齢変化や内分泌系、筋-神経系のような生理学的な機能低下、さらには病的老化などがその代表的な例である。一方、身体活動機能は運動ニューロン系の支配により成り立ち、これに骨格筋の緊張を調節する錐体外路系や運動のバランスを保つ小脳系が関与している。中でも運動神経に支配される骨格筋

は加齢に従い著しく萎縮する（この萎縮は type II 線維に多く見られる）²⁾⁷⁾²²⁾²⁸⁾³⁰⁾。その萎縮に伴い骨格筋の筋出力や筋反応時間には低下が生じ、歩行能力や危機回避に対する対応力などの身体活動機能に大きな影響を与えることに繋がってくる。

身体活動機能を評価する一手法として筋反応時間の測定がある。筋反応時間の測定は、特定の刺激-反応から動作開始までの潜時であり、動作開始時における運動系の機構を分析する有効的な手段である。とりわけ、

Electromechanical delay (筋の EMG シグナルが発現してから筋トルクが発生するまでに要する遅延時間: EMD)⁵⁾ は、運動の開始時や停止時の状態に反映する末梢的要因が大きい重要な潜時であり、加齢による EMD の遅延は高齢者における身体活動機能 (主として危機回避に対する対応力など) の低下に結びつき、歩行時における転倒などの原因に関連してくるものと考えられる。

これまでに高齢者を対象とした筋反応時間に関する研究は、刺激の呈示から課題遂行開始までに要する時間である Total reaction time: TRT や TRT から末梢的要因を取り除いた潜時である Pre-motor reaction time: PMT を対象とした研究などがいくつか行われている³⁾⁹⁾¹²⁾²³⁾²⁴⁾。また EMD を含めた筋反応時間においても僅かながら上肢を対象¹⁷⁾²⁷⁾として行われている。しかしながら、加齢が下肢の EMD に及ぼす影響についての研究は未だに例がなく、加齢と下肢の EMD の関係を明確にする事は、高齢者の障害の予防や筋機能動態を明らかにする意味でも重要な要素であると考えられる。

本研究は、高齢者および若年者を対象に、膝関節伸展動作における短縮性および伸張性筋活動時の EMD、各種筋反応時間 (PMT、TRT)、筋出力発生から筋出力が最大値までに要する時間 (短縮性筋活動時) および短縮性・伸張性筋出力を測定し、若年者との比較から高齢者の筋出力動態の特性を明らかにする事を目的とした。

方 法

1. 対 象

被検者は、本研究の内容に対しインフォームドコンセントを実施し承諾を得た、健康な女性高齢者13名及び日常的に運動を行う習慣がない女子大学生15名を対象とした。被検者の身体特性は表1に示した。

2. EMD、各種反応時間および筋出力の測定

測定は筋力測定装置 KIN-COM500H (Chattecx Inc., USA) を使用し、座位の姿勢において上体部、腰部、大腿部をシートベルトで固定し、膝関節伸展動作における短縮性 (CON)・伸張性 (ECC) 筋活動時の EMD、各種反応時間及び筋出力を測定した。

測定運動速度は120°/secの角速度で行い、可動範囲は膝関節の解剖学的完全伸展位を0°として、30°屈曲位から90°屈曲位までの60°の範囲で実施した。レバーアームアタッチメントの設定は、レバーアームアタッチメントの中心部が膝関節外側顆の中心部から下方25cmの部分にセットした。

動作を開始するための刺激 (スタート) の種類は、実際の日常場面で転倒等の際に突発的に生じる負荷に近い

Table 1 Physical characteristics of elderly females and young females

Groups	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)
Elderly group	73.9±5.5	149.4±5.0	49.7±10.9
Young group	18.9±0.7	159.2±5.2	49.6±4.5

形での実施を想定するために、下腿部前面 (ECC 筋活動) および後面 (CON 筋活動) へのランダムな刺激 (5~30秒の間隔で刺激をスタート) による固有受容器反応で行った。固有受容器反応は、KIN-COMの他動運動モードにて、120°/secの運動速度で下腿を機械的に伸展 (CON 筋活動) および屈曲 (ECC 筋活動) 方向に動かし、皮膚、筋紡錘および総腓骨神経などの受容器にてレバーアームアタッチメントの作動を認知したら即座に反応させた。その際、可能な限り速く強く行うよう指示 (100%MVC 強度) を出し、EMD、各種反応時間及び筋出力 (ピークトルク値) の測定を同時に実施した。

筋の活動電位を導出するための被検筋は大腿直筋を対象とした。大腿直筋の活動電位は、剃毛およびエタノールによる消毒を実施した後、皮膚抵抗を下げるために電極ペーストを塗布し表皮を剥離させ、その後直径10mmの双極表面電極を極間20mmの間隔で貼付しEMGを導出した。活動電位は、POLYGRAPH SYSTEM RM-6000 (日本光電工業社製) を用いてモニタリングし、時定数0.03sec、高域遮断周波数1.5kHzで記録した。

試技は十分なウォーミングアップおよび試技の練習の後に各筋活動ともに5回実施し、EMD及び各種反応時間は最大値と最小値を除いた3回の平均値をデータとして採用した。また、ピークトルク値は5回の最大値とした。EMD、各種反応時間のデータは、大腿直筋からのEMGとKIN-COMからのforceおよびangleを同期させ、システムコンピュータでA/D変換し、解析データの計測を実施した。

3. EMD および各種筋反応時間の計測は、以下に記した。

- (1) EMD: EMG シグナルの発現からレバーアタッチメント部に設置されたセンサーの力が20N⁵⁾ (レバーアームアタッチメントの僅かな弛みがforceの立ち上がり及ぼす影響を除外するための値として定義) に到達するまでの時間とした。
- (2) PMT (pre-motor reaction time): 刺激開始か

ら EMG シグナルの発現までの時間とした。

(3) TRT (total reaction time)：刺激の開始から筋トルクが20N に到達するまでの時間とした。

(4) MTPT (movement time to the peak torque)：筋トルクの発生 (20N) からピークトルク値に到達するまでの時間とした。また、筋活動様式の特徴を考慮し、CON 筋活動のみ計測した。

以上の各種筋反応時間の計測は、高齢者における CON 筋活動時のデータを例として抽出し、図 1 に示した。

(5) PT/MTPT index：パワー的な要素を検討するために、ピークトルク値からMTPT の値を割った値を指数 (index) として算出した。

4. 統計処理

高齢者と若年者間の比較には、対応のない student の t 検定を用い、各パラメータ全ての統計処理において危険率 5 % 水準を統計学的有意とした。

結 果

1. 筋出力

CON 筋活動のピークトルク値は、若年者 (79.3 ± 23.3 Nm) に対し高齢者 (41.2 ± 11.7 Nm) が 0.1 % 水準で有意に低い値を示し、ECC 筋活動のピークトルク値は、若年者 (156.4 ± 27.8 Nm) に対し高齢者 (134.0 ± 26.1 Nm) が 5 % 水準で有意に低い値であった。また、若年者を基準にした場合、高齢者のピークトルク値はそれぞれ CON 筋活動：52.0%、ECC 筋活動：85.7% の値にあり、CON 筋活動においてその差が顕著に大きい傾向が見られた (図 2)。

2. 各種反応時間

PMT は、CON 筋活動と ECC 筋活動ともに、若年者

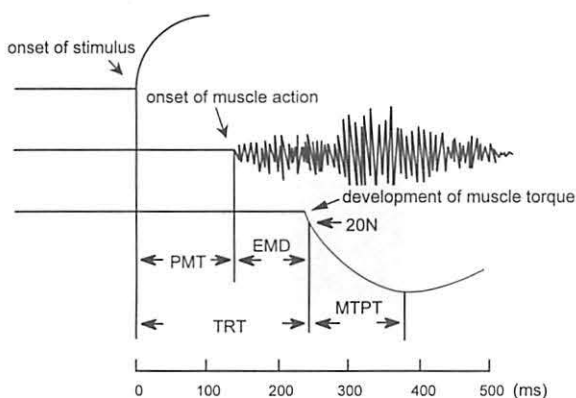


Figure 1 Calculation of muscle reaction times
(Pattern diagram of object: CON muscle action in elderly group)

(CON 筋活動： 107.5 ± 21.7 ms、ECC 筋活動： 114.2 ± 22.3 ms) に対し高齢者 (CON 筋活動： 135.4 ± 26.6 ms、ECC 筋活動： 171.7 ± 59.3 ms) が 1 % 水準で有意に長い値であった。また、若年者を基準にした場合、高齢者の PMT はそれぞれ CON 筋活動：26.0%、ECC 筋活動：50.4% 長い値であった (図 3)。

CON の EMD は、若年者 (87.8 ± 10.9 ms) に対し高齢者 (101.7 ± 9.7 ms) が 1 % 水準で有意に長い値を示し、ECC の EMD では、若年者 (82.8 ± 10.9 ms) に対し高齢者 (92.7 ± 13.1 ms) が 5 % 水準で有意に長い値であった。また、若年者を基準にした場合、高齢者の EMD はそれぞれ CON 筋活動：15.8%、ECC 筋活動：12.0% 長い値であった (図 4)。

TRT は、CON 筋活動と ECC 筋活動ともに、若年者 (CON 筋活動： 195.3 ± 21.0 ms、ECC 筋活動： 197.0 ± 24.4 ms) に対し高齢者 (CON 筋活動： 237.1 ± 24.3 ms、ECC 筋活動： 264.3 ± 50.4 ms) が 0.1 % 水準で有意に長い

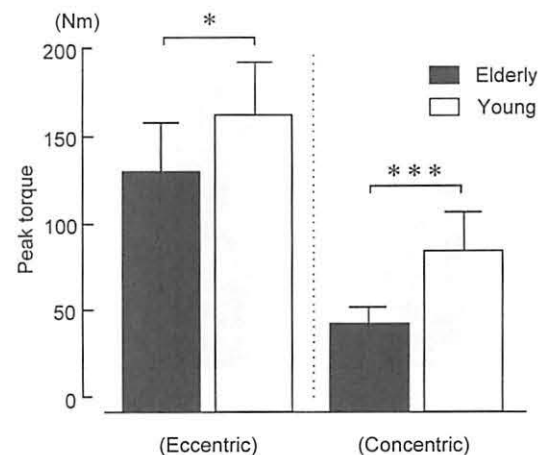


Figure 2 Peak torque value in elderly females and young females (* : $P < 0.05$) (** : $P < 0.001$)

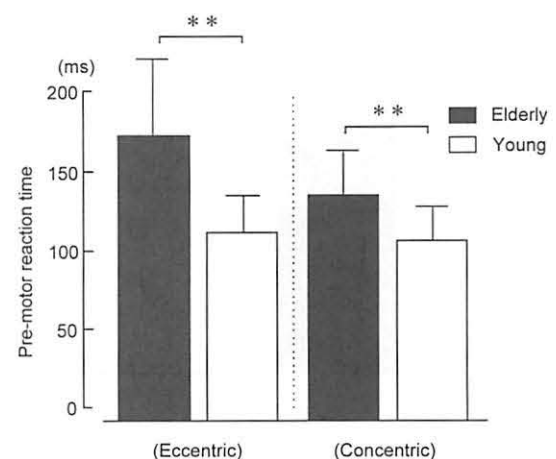


Figure 3 Pre-motor reaction time in elderly females and young females (** : $P < 0.01$)

値であった。また、若年者を基準にした場合、高齢者の TRT はそれぞれ CON : 21.0%、ECC : 34.2% 長い値であった (図 5)。

MTPT は、若年者の $127.3 \pm 15.9\text{ms}$ に対し高齢者は $136.8 \pm 36.3\text{ms}$ の値を示し、両者間に有意な差は見られなかった (図 6)。また、PT/MTPT index は、若年者の 63.9 ± 22.8 に対し高齢者は 32.2 ± 22.8 を示し、0.1% 水準で高齢者が有意に低い指数であった (図 7)。

考 察

加齢による身体諸機能の変化に関する研究は、これまでに多様な側面から行われている。骨格筋や神経系の機能に関する研究も数多く行われ、加齢に伴う筋機能の低下についてのメカニズムなどが明らかにされてきている。その主なメカニズムとしては、筋線維の萎縮や減少¹⁶⁾¹⁸⁾²²⁾、運動単位の脱落や減少⁶⁾¹⁰⁾¹⁹⁾²²⁾などの要因が関与

し、加齢に伴う筋機能の低下を引き起こす原因となっている。本研究は、運動の開始時や停止時の状態に反映する重要な筋反応時間 (潜時) である EMD に着目し、若年者との比較から高齢者の筋出力動態について検討を行った。また通常転倒等は、予期し得ぬ突発的に生じる負荷によって引き起こされる事がほとんどであり、測定も可能な限りそのような場面を想定した条件 (下腿部の固有受容器へのランダムな刺激による反応) 下において実施した。

これまでの研究により、加齢により筋出力が低下することが報告されている²⁾⁷⁾²²⁾²⁸⁾³⁰⁾。本研究においても先行研究と同様に、若年者との比較から加齢により筋出力が低下することが認められた。この原因は、従来から指摘されているように、加齢にともなう速筋 (type II) 線維の選択的な萎縮や筋線維数の減少の影響が大きいものと考えられる。Aniansson ら²⁾は、高齢者の筋出力を縦

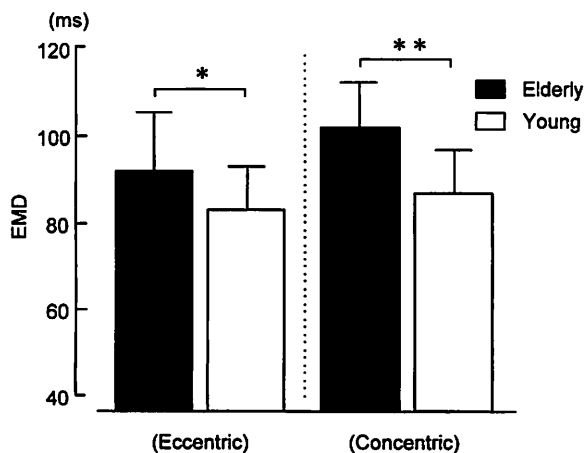


Figure 4 Electromechanical delay in elderly females and young females (* : $P < 0.05$) (** : $P < 0.01$)

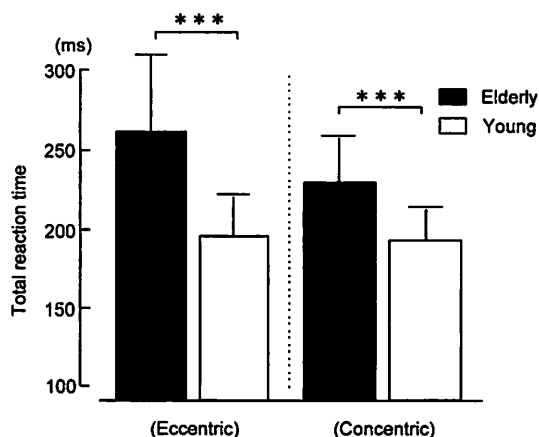


Figure 5 Total reaction time in elderly females and young females (** * : $P < 0.001$)

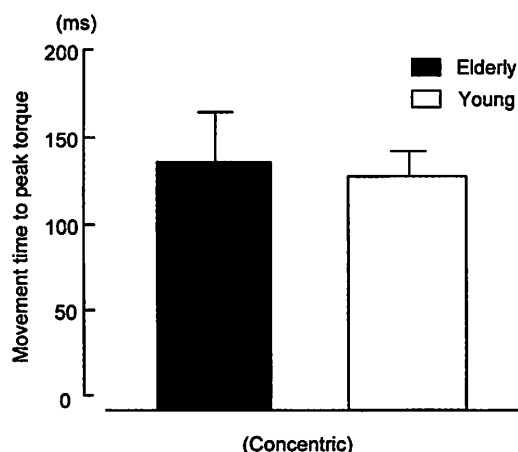


Figure 6 Movement time to peak torque value in elderly females and young females

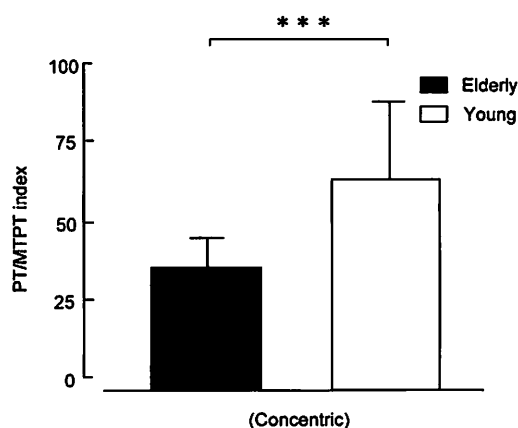


Figure 7 The index of peak torque value/movement time to peak torque value in elderly females and young females (** * : $P < 0.001$)

断的に検討し、80才代では70才代と比較し明らかに筋出力が低いことを報告している。本研究においても同様の傾向が見られ、80才以上の被検者が低い筋出力にあり、高齢になるほど筋出力の低下が著しくなることが伺われた。また、筋活動のタイプ別ではCON筋活動において若年者と高齢者の筋出力の差が顕著であった。これは、腱などの弾性要素（直列弾性要素：SEC、並列弾性要素：PEC）との関与が大きいECC筋活動は加齢による影響が少なく、収縮要素（CC）との関連が深いCON筋活動は加齢による影響を大きく受けることによるものではないかと推察される。

次に、高齢者の筋反応時間（PMT および TRT）は様々な条件下（測定部位、反応の種類など）において、加齢とともに有意に遅延することが多くの先行研究より報告されている³⁾⁹⁾¹²⁾²³⁾²⁴⁾。本研究においても従来の報告と同様に、高齢者の PMT および TRT は若年者に対し有意に長い値であった。一方、これまでに高齢者の EMD を含めた筋反応時間に関する研究は、上肢を対象としたもの¹⁷⁾²⁷⁾がいくつかなされている。その中で Lewis and Brown¹⁷⁾は、高齢者における肘関節屈曲動作（被検筋：上腕二頭筋）の EMD を測定し、高齢者の EMD は若年者よりも有意に長いと報告している。また、時任ら²⁷⁾は前腕におけるハンドクリップとボタン押し動作（被検筋：橈骨手根屈筋）において EMD を測定し、同様に高齢者の EMD が若年者よりも有意に長いと報告している。本研究においても上肢を対象とした先行研究と同様に、高齢者の下肢（膝関節伸展動作）の EMD は若年者と比較し有意に遅延することが明らかになった。

EMD は、筋が内部出力（EMG 発現）してから外部出力（実際的な関節動作）するまでの遅延時間であり、身体活動における運動動作の発現を左右する重要な生体情報の一つである。特に反応開始時の力発揮に関わる EMD は、反応動作の適切な遂行に対し重要な役割をなす。これまでにこの EMD は、筋-腱複合体における SEC の伸張や CC の収縮⁵⁾²¹⁾、筋線維のタイプ（type II 線維の比率）¹⁴⁾³¹⁾、T 管に沿った活動電位の伝導⁵⁾、筋小胞体からの Ca²⁺の放出⁵⁾などの複雑な生理的要因を介して生じ、その時の筋活動の状態（筋活動様式⁵⁾²¹⁾²⁵⁾、筋長³²⁾、力の発揮レベル⁸⁾²⁰⁾、疲労²⁰⁾³³⁾、予測の有無³⁶⁾によって左右されることが明らかにされている。

本研究の結果および先行研究¹⁷⁾²⁷⁾から、加齢における下肢の EMD の遅延の主な要因を考えると、以下、加齢にともなう type II 線維の選択的な萎縮や筋線維数の減少など¹⁷⁾の CC における機能的変化、F 型運動単位数の減少あるいはその機能的低下¹⁷⁾、神経接合部の終末部分

の興奮性の低下、および SEC や PEC などの弾性要素におけるコンプライアンスやスティフネスの低下などによるものと推察される。Lewis and Brown¹⁷⁾はその他の要因として、末梢における神経伝達速度の遅延の増大やシナプスの遅延についても推察している。また、時任ら²⁷⁾は、より抽象的に神経系や運動器の加齢にともなう機能的遅延であると報告している。一方、EMD も筋出力と同様に CON 筋活動において高齢者と若年者との差が顕著になる傾向にあった。このことから、加齢による影響は CC の機能的変化によることが大きいことが伺え、ECC 筋活動にはそのような傾向が小さかったことから、加齢による弾性要素の老化は CC よりも少ないことが考えられる。さらに、EMD は80才以上の被検者が長くなる傾向にあり、（とりわけ83才の最高齢の被検者が最も長い値 [CON 筋活動：122.2ms, ECC 筋活動：126.3ms] を示した）、筋出力と同様に加齢が進むに従いさらに遅延して行く可能性が推察される。

PMT は、感覚受容器の興奮から神経接合部までの神経伝達時間であり、当然のことながら筋の内部的（末梢的）な要因よりも錐体路や錐体路細胞による中枢神経機構の遅延¹³⁾¹⁵⁾が大きく影響する。このことから、この遅延は老化による脳の神経細胞の減少からくる脳内情報処理の遅延⁴⁾や筋線維を支配する脊髄運動ニューロンの萎縮性または退行性変化による脱落³⁰⁾、シュワン細胞（神経鞘）の機能不全¹¹⁾、そしてシナプス遅延がより長くなる¹⁾ことなどにより、運動神経や知覚神経の神経伝導速度が長くなったことに大きく関係しているものと推察される。

TRT は、刺激の呈示から課題遂行開始までに要する反応時間であり、加齢による TRT の遅延は運動系の状態に対し直接的に反映することになる。この TRT は、中枢神経系の影響が大きい PMT と末梢的な要因からなる EMD の総和（TRT=PMT+EMD）であり、本研究の結果から、加齢にともなう TRT の遅延には、PMT の遅延のみならず EMD の状態も大きく関係してくることが明らかとなった。

一方、筋出力の発生から最大筋力に到達するまでの時間である MTPT は、高齢者と若年者との間において有意な差は見られなかった。Lewis and Brown¹⁷⁾も肘関節屈曲動作を対象として、この結果と同様な報告を行っている。これは、高齢者のピークトルク値が若年者よりも有意に低いことが原因として考えられ、MTPT はその他の潜時である筋反応時間とは異なり力的要素も大きく関連し、筋出力が低い分、より早くピークトルク値に達するからであると言える。そこで、MTPT の値に筋出力の優劣が与える影響を除するために、ピークトルク

値からMTPTの値を割った値を指数 (PT/MTPT index) として算出し、パワー的な要素から比較検討を試みた。この検討の結果、高齢者は若年者に対し有意に低い指数となった。PT/MTPT index は、高いほど力の要素に優れ時間的要素も短い、即ちパワーが高いと言える。このことから、高齢者は低い筋出力にも関わらず、力を立ち上げる時間を長く要していることが示唆される。これには、中枢や末梢的な部分においての不随意的な抑制等も少なからず関与している可能性が推察される。

これらのことから、加齢により筋出力や筋反応時間などの筋-神経系機能は低下し、筋出力動態には変化が生じる事が明らかになった。加齢にともない下肢の筋出力が低下すると歩行能力に大きな影響を及ぼし(すり足の状態になる)、PMTとEMDの遅延によるTRTの遅延や力の立ち上がり時間が遅延すると危機回避に対する反応の早さや対応に大きな影響を及ぼすことになる。従って、これらの筋-神経系機能の低下は、歩行時の転倒や障害の発生の原因に密接に関係してくるものと考えられる。さらに、EMDは動作を遂行する際、予測が不十分であったり関与しなかったりする場合は遅延することが明らかになっており²⁶⁾、加齢においてEMDが遅延するということは、転倒等の際に突発的に生じる負荷に対する対応力により大きく影響を及ぼすものと考えられる。

高齢になっても生活の質 (quality of life : QOL) や日常生活活動 (active daily life : ADL) を高い状態で保持して行くためには、EMDや筋出力などの筋-神経系機能の低下を極力防ぐ、或いは維持して行く必要がある。従って、これらの機能の低下を防ぐためには、従来のような軽度から中等度のエクササイズのみならず、生活の中で安全かつ効率的にプログラミング化された高負荷なエクササイズの開発、導入が必要であるものと考えられる。

ま と め

本研究は、健常な女性高齢者及び日常的に運動を行う習慣がない女子大学生を対象に、膝関節伸展動作における筋出力、EMDおよび各種筋反応時間を測定し、若年者との比較から高齢者の筋出力動態の特性を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

ピークトルク値は、CON・ECC筋出力とも若年者より高齢者が有意に低い値であった。筋反応時間は、EMD、PMT、TRTいずれの反応時間においても若年者より高齢者が有意に遅延する結果であった。また、MTPTには、若年者と高齢者との間に有意な差が認められなかったが、PT/MTPT indexは若年者より高齢者が有意に

高い結果であった。

参考文献

- 1) Allison, T. et al.: Developmental and aging changes in somatosensory, auditory and visual evoked potentials. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 58: 14-24, 1984.
- 2) Aniansson, A. et al.: Compensatory muscle fiber hypertrophy in elderly men. *J. Appl. Physiol.*, 73: 812-816, 1992.
- 3) Brown, W. et al.: Exponential electrophysiological aging: P3 latency. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 55: 277-285, 1983.
- 4) Boetow, R.N.: Cell number vs. age in mammalian tissues and organs. In: Cristofalo VJ (ed.), *Handbook of Cell Biology of Aging*: 1-115, CRC Press, 1985.
- 5) Cavanagh, P. R. and P. V. Komi: Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42: 159-163, 1979.
- 6) Doherty, T.J. et al.: Effects of ageing on the motor unit: A brief Review. *Can. J. Appl. Physiol.*, 18: 331-359, 1993.
- 7) Era, p. et al: Determinants of isometric muscle strength in men of different ages. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64: 84-91, 1992.
- 8) Grabiner, M. V.: Bioelectric characteristics of the electromechanical delay preceding concentric contraction. *Medicine and Science in Sports.*, 18: 37-43, 1985.
- 9) Grouios, G.: Ageing effects on reaction time. *Int. J. Physical Edu.* 23: 18-22, 1991.
- 10) Hashizume, K. et al.: Medial gastrocnemius motor nucleus in the rat: age related changes in the number and size of motoneurons. *J. Comp. Neurol.*, 269: 425-430, 1998.
- 11) Hopp, J. F.: Effects of age and resistance training on skeletal muscle: A review. *Phys. Ther.*, 73: 361-373, 1993.
- 12) Inui, N.: Simple reaction times and timing of serial reactions of middle-age and old men. *Perc. Motor Skills*, 84, 219-225, 1995.
- 13) 笠井達哉: 脊髄の興奮性と反応時間の関係—下肢底屈・背屈反応動作について—*体育学研究*, 25: 95-104, 1980.

- 14) Komi, P. V.: Neuromuscular performance: Factors influencing force and speed production. *Scand. J. Sports Sci.*, 1: 2-15, 1979.
- 15) Kubota, K. and I. Hamada: Preparatory activity of monkey pyramidal tract neurons related to quick movement onset during visual tracking performance. *Brain Res.*, 168: 435-439, 1979.
- 16) Larsson, L.: Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. *Acta physiol. Scand.*, 117: 469-471, 1983.
- 17) Lewis, R. and Brown, J. M. M.: Influence of muscle activation dynamics on reaction time in the elderly. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 344-349, 1994.
- 18) Lexell, J et al.: What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15-to 83-year-old men. *J. Neurol. Sci.*, 84: 275-294, 1988.
- 19) McComas, A. J. et al.: Motoneurone disease and ageing. *Lancet*, ii: 1477-1480, 1973.
- 20) Mercer, T. H. et al.: Prolonged intermittent high intensity exercise impairs neuromuscular performance of the knee flexors. *Eur. J. Appl. physiol.*, 77: 560-562, 1998.
- 21) Norman, R. W. and P. V. Komi: Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol. Scand.*, 106: 214-249, 1979.
- 22) Porter, M. M.: Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 5: 129-142, 1995
- 23) Spirduso, W.W.: Reaction time movement time as a function of age and physical activity level. *J. Gerontol*, 30: 434-440, 1975.
- 24) Spirduso, W.W. and Clifford, P.: Replication of age and physical activity effects on reaction and movement time. *J. Gerontol*, 33: 26-30, 1978.
- 25) 高瀬幸一, 田口正公, 川上貢, 高柳清美: Concentric・Eccentric・Isometric 筋活動時における運動速度と Electromechanical Delay. 日本バイオメカニクス学会13回大会論集: 身体運動のバイオメカニクス: 509-513, 1997.
- 26) 高瀬幸一, 田口正公, 西形浩和: 視・聴覚の遮断および時間的予測が EMD に及ぼす影響. 九州体育・スポーツ学研究. 16: 37-43, 2002.
- 27) 時任慎一郎ら: 前期高齢者の反応時間低下のメカニズムに関する研究－課題遂行による差異から－. 体力科学: 50. 303-312, 2001.
- 28) Thompson, L. V.: Effect of age and training on skeletal muscle Physiology and performance. *Physther*, 74: 71-81, 1994.
- 29) Tomlinson, B. E. and D. Irving: The numbers of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life. *J. Neurological sciences*, 34(2): 213-219, 1977.
- 30) Vedervoot, A. A. and A. J. McComas: Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.*, 61: 361-367, 1986.
- 31) Vitasalo, J. T. and P. V. Komi: Interrelationships between electromyographic, muscle structure and reflex time measurements in man. *Acta Physiol. Scand.*, 111: 97-103, 1981.
- 32) Vos, E. J. et al.: Electromechanical delay during knee extensor contractions. *Medicine and Science in Sports.*, 23: 1187-1193, 1991.
- 33) Zhou, S. et al.: Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur. J. Appl. physiol.*, 72: 410-416, 1996.

(平成16年11月8日受付)
(平成17年2月28日受理)

ストレプトゾトシン誘発 I 型糖尿病ラットの急性運動前後による肝臓の過酸化脂質および血中 glycated LDL, 血中脂質成分の変化

Hyun-Tae Kim (Sung kyun kwan Univ.)

Chul-Ho Shin (Sung kyun kwan Univ.)

Ji-youn Kim (Sung kyun kwan Univ.)

Change of acute treadmill running on liver MDA and blood glycated LDL, lipid profiles in streptozotocin induced diabetic rats

Abstract

Under pathological redox conditions, the production of free radical is enhanced in hyperglycemia, which increases the rate of lipid peroxidation and ultimately leads to the vascular disease, such as atherosclerosis in diabetics. The purpose of this study was to investigate the effect of an acute treadmill running bout on liver MDA and blood glycated LDL, blood lipid profiles analyses in diabetic and normal rats. The rats were divided into diabetes group (n=12) and normal group (n=12). Diabetic condition was induced by injecting streptozotocin (55mg/kg dissolved in 0.05M citrate buffer, pH 4.5) into rats that had been starved for 12h. All rats were performed by acute treadmill exercise bout (16-17m/min, 30min). Liver MDA concentration in normal group were significantly higher in post exercise. Glycated LDL and TG, LDL-C concentration was significantly different between the groups. Especially, TG concentration was significantly lower in post exercise. Therefore, in animals that were not adapted to regular exercise, an acute treadmill exercise appeared to cause a transient increase in lipid peroxidation. Also, treadmill exercise of 30minute's decreased glycated LDL and TG concentration but TC, LDL-C and HDL-C or not.

Key words: lipid peroxidation, glycated LDL, lipid profiles, streptozotocin, acute treadmill exercise

1. はじめに

糖尿病の発病の要因は過食と肥満、運動不足、食生活の西洋化などがあげられるが、まだこれについての明確な実態は明らかにされていない。しかし、Lee(1994)¹⁹⁾と Wolff(1991)³¹⁾が活性酸素種 (ROS) が糖尿の発病と糖尿病による様々な疾病に関与する因子として報告して以来、ラジカルと糖尿病に関する研究が継続的に行われている。

糖尿病からフリーラジカルが生成されるメカニズムは、血糖の濃度と比例する非酵素的蛋白糖化 (non-enzymatic glycation reaction) と糖の酸化により生じた水酸化ラジカルがたんぱく質を攻撃する単糖類の自己

酸化 (autoxidation)、神経虚血-再還流、抗酸化を防ぐメカニズムの弱化などにより増加する^{23), 25)}と報告されているが、この中で非酵素的糖化反応による酸化ストレスがより促進される^{25), 26)}。このように、糖尿病時の酸化ストレスの増加は結局インシュリンの作用不足による血糖の上昇がラジカルの大量の生成を起こす^{7), 28)}と推測できる。実際に血中グルコースは正常水準以上に濃度が増加すると過酸化水素のような反応性の強い酸化物を生成し^{13), 9)}、過酸化のような性質を持つようになる³⁰⁾。これにより酸化ストレスの増加程度は血糖の調節程度との相互作用があり、糖尿病による血管合併症とも関連がある^{6), 36)}と報告されている。実際に糖尿病時には、血糖及び脂肪代謝の異常から動脈硬化の発病率が一般の人に比

べて3倍も高い²⁰⁾というのは良く知られている事実である。さらに、糖尿病の患者の場合、高脂血症が発病したり悪化する場合が多く、中性脂肪の増加とともに血中遊離脂肪酸やコレステロールなども増加するが、HDL-C (high density lipoprotein) は減少することが特徴である。これは冠状動脈疾病と同じ循環系の合併症に連携するため、これに対する予防が重要だといえよう。したがって、糖尿病と同じ病理的状态での酸化ストレスによる脂質過酸化を抑制し、脂質代謝異常を改善して、動脈硬化性合併症を予防する必要がある。

一般的に運動は、骨格筋での糖の摂取と糖の利用を増加させるため運動処方的な側面から積極的に推奨されている。さらに脂質過酸化の水準を低下させ、ラジカルに対する身体的防御能力を上昇させるだけではなく、脂質代謝の変化にも肯定的な影響を与えていることが明らかになっている。しかし、このような研究の大部分は長期間のトレーニングによる効果だけを分析しており、糖尿病のラットを対象とした短時間の一過的な運動効果に対する研究は少なく、その結果も一致した結論には到達していない。

したがって、本研究は、ストレプトゾトシン(streptozotocin) 誘発の糖尿病ラットと正常のラットを対象に脂質過酸化程度を調べるとともに、30分間の一過性のトレッドミルの運動後、肝組織内の脂質過酸化と血中glycated LDL (糖化 LDL: glycated low density lipoprotein) 及び血中脂質成分の変化を正常群と比較する。

II. 研究方法

(1) 実験対象

本研究の実験対象は $216 \pm 5.2\text{g}$ の生後7週の Sprague-Dawley 系雄ラット24匹を対象にした。大韓実験動物センターで24匹を受け S 大学の動物実験センターで2週間の環境適応 (22-24℃、湿度60%、12時間自動明暗周期) と走行学習期間をもった後実験に使用した。実験当日は12時間前まですべてのラットに飼料と水を自由に与え、食餌成分は一般固形の飼料 (炭水化物66.9%、たんぱく質18%、脂肪5%、繊維素5%、リン0.2%、他5%) を使用した。

(2) 実験手順

本研究は、すい臓の β 細胞だけを特異的に破壊するストレプトゾトシンをラット腹腔内に注入し、糖尿病を起こしたあと安静時とトレッドミル運動直後にそれぞれ6匹ずつ解剖し、肝臓組織内のMDA (malondialdehyde) 及び血中glycated LDL、そして血中脂質成分のTG (triglyceride), TC (total cholesterol), LDL-C (low

density lipoprotein-cholesterol), HDL-C 濃度を調べた。実験環境に対する適応の後、各集団を12匹ずつ2つの集団 (糖尿病群、正常群) に区分した。その後、糖尿病群に配置された12匹のラットには12時間の空腹を維持したあと、ストレプトゾトシンを1回注入して糖尿病を誘発させた。これはストレプトゾトシンがすい臓の β 細胞だけに特異的に作用することによって他の細胞に影響を与えず、インシュリンの欠乏により高血糖を起こすとのWrightら³³⁾の報告を根拠とした。投与量は体重当たり 55mg/kg の濃度とし、0.05M の citrate 緩衝剤 (pH4.5) に溶かし腹腔内に注射したあと24時間後にラットの尻尾の静脈から血液を採取して血糖 300mg/dl 以上を糖尿病発生の基準にした。残りの正常群の12匹は0.05M citrate 緩衝剤だけ注入した。予備試験の結果、血糖値が最高になった糖尿病誘発4日後に糖尿病群と正常群を対象に $16\text{--}17\text{m/min}$ 、30分間のトレッドミル運動を実施した¹⁵⁾。運動前の安静時と運動直後のラットに xylazine と ketamine を腹腔内に注入し、麻酔した後腹大動脈から6mlの血液を採血してその後肝臓組織を採取して液体窒素で急速に凍結し、 -70°C で冷凍保管した。24匹のラットは1ケージ ($45\text{cm} \times 30\text{cm} \times 20\text{cm}$) 当たり3匹ずつ入れ飼育した。

(3) 分析項目と方法

MDA 分析は肝臓組織を細かく切ったあと、たんぱく質を除去するため50% (W/V) TCA $15\mu\text{l}$ を入れ、 $10,000\text{rpm}$ で10分間遠心分離し、上清だけを採取した。その後、Microtiter plate に50% (W/V) TCA $50\mu\text{l}$, 1mM BHT $10\mu\text{l}$ と0.3% NaOH に溶かした1.3% (W/V) TBA を添加した後、 60°C water bath で40分間インキュベートした。最後に SDS $10\mu\text{l}$ を入れ、ELISA (Biolog, USA) を利用し、 530nm で吸光度を測定した。基準値は1,1,3,3-tetraethoxypropane を使用した。また、血中 Glycated LDL は血漿を分離したあと glycated LDL 分析用の kit (WAK-CHEMIE Medical, Bad Soden, Germany) を利用した ELISA で分析した。TG, TC, LDL-C 及び HDL-C 濃度は血漿を分離したあと Hitachi 7150 Analyzer (autosystem) を使用して酵素法で分析した。

(4) 資料分析

実験で得られたすべての資料は SAS PC/Program を使用して項目別平均 (M) と標準偏差 (SD) を算出した。運動による群間の検証のため、independent t-test を実施した。群による運動の差は t-test (paired t-test) で資料分析した。

Ⅲ. 結 果

(1) 体重の変化

糖尿病誘発の前後による体重の変化を図 1 に示した。糖尿病誘発前は、正常群の体重が 255.8 ± 2.6 g で、糖尿病群では 253.9 ± 2.4 g であった。一方、糖尿病誘発 4 日後では、糖尿病群の体重は減少したのに対し、正常群では増加しており、統計的に有意な差が認められた($p < 0.001$)。

(2) 肝臓組織内の MDA の変化

脂質過酸化と直接的に関わる MDA 濃度の変化を図 2 に示した。安静時とトレッドミルの運動直後の肝臓組織内の MDA 濃度は、糖尿病群と正常群とも統計的に有意な差は認められなかった。また、糖尿病群の場合、安静時とトレッドミル運動直後による肝臓組織内の MDA 濃度は有意な差は認められなかったが、正常群では有意な差が認められた ($p < 0.001$)。

(3) 血中 Glycated LDL の変化

血中 glycated LDL 濃度の変化を図 3 に示している。

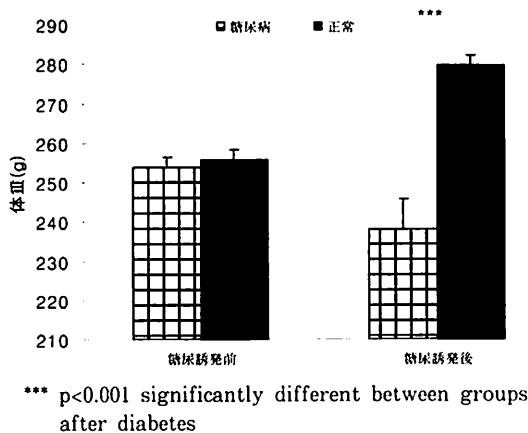


図 1 糖尿病の誘発前後による体重の変化

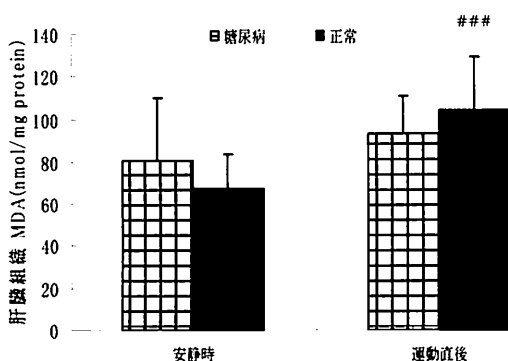


図 2 運動時の肝臓組織内の MDA 濃度の変化

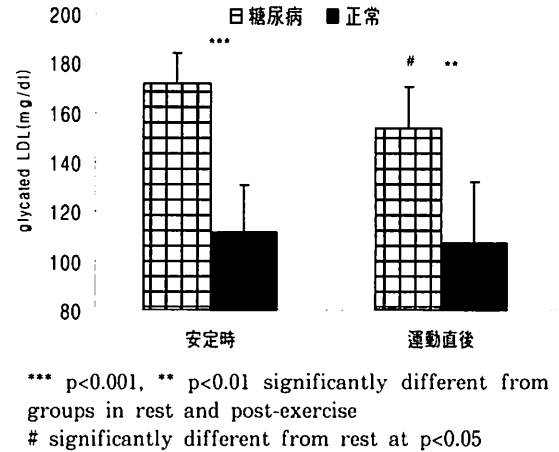


図 3 運動時の血中 glycated LDL 濃度の変化

安静時と運動直後の血中 glycated LDL 濃度の変化は、糖尿病群と正常群ともに統計的に有意な差が認められた ($p < 0.001$, $p < 0.01$)。さらに、正常群では、安静時と運動直後による血中 glycated LDL 濃度では有意な差は認められなかったが、糖尿病群では有意な差が認められた ($p < 0.05$)。

(4) 血中脂質成分の変化

血中脂質成分の値を表 1 に示した。安静時と運動直後の血中 TG 濃度の変化は、糖尿病群と正常群ともに有意な差が認められた (それぞれ $p < 0.001$, $p < 0.001$)。また糖尿病群と正常群ともに運動前後による血中 TG 濃度に有意な差が認められた (それぞれ $p < 0.05$, $p < 0.05$)。

血中 TC の場合、安静時と運動直後による変化は糖尿病群と正常群とも統計的に有意な差は認められなかった。さらに、両群とも運動前後による血中 TC の変化は統計的に有意な差は認められなかった。

血中 LDL-C 濃度では、安静時とトレッドミル運動後の血中 LDL-C 濃度が糖尿病群と正常群ともに有意な差が認められた (それぞれ $p < 0.05$)。しかし、糖尿病群と正常群とも運動前後による LDL-C の濃度は、有意な差は認められなかった。

一方、抗動脈硬化の因子として知られている HDL-C 濃度の場合、安静時と運動直後では、糖尿病群と正常群とも有意な差が認められなかった。さらに、両群とも運動前後による HDL-C 濃度では、有意な差は認められなかった。

Ⅳ. 考 察

糖尿病と同じ病理的な状態では、血糖に関連した様々な代謝的反応によるラジカル生成が促進され、過酸化的損傷が一般の人に比べ生じやすい。このため糖尿のいろ

表1 運動時の血中脂質成分の変化

集 団	区 別	TG(mg/dl)	TC(mg/dl)	LDL-C(mg/dl)	HDL-C(mg/dl)
糖尿病	安 静 時	101.47±28.53***	99.33±18.66	28.65±8.37*	40.12±14.18
	運動直後	92.07±19.92***#	96.77±12.25	26.87±7.34*	41.77±12.19
正 常	安 静 時	59.47±17.53	98.82±21.71	22.82±8.71	52.25±16.99
	運動直後	43.67±19.12#	94.27±14.01	22.13±9.03	54.73±17.61

Values are Mean ± SD

*** p<0.001, * p<0.05 significantly different groups in rest and post-exercise

significantly different from rest at p<0.05

いような合併症が誘発される。つまり、細胞や組織の損傷はもちろん、動脈硬化やそれと同様の血管性障害が起こり得る。しかし、本研究の結果では安静時での糖尿病群の肝臓組織内のMDA濃度が正常群に比べ、高い傾向であったが、統計的に有意な差が認められたことは先行研究とは反対の結果であった。すなわち、Atliら(2004)²⁾は糖尿病群の条件では酸化ストレスがより促進されるとし、その要因として抗酸化の防御系の減少だけでなく、高血糖によるフリーラジカルの生成が促進されるためであると報告した。また、Feillet-Coudrayら(1999)⁸⁾は、糖尿病を誘発させるため、ストレプトゾトシンを注入した結果、1週間後と4週間後の脂質過酸化が一般の対象群(正常)より高いことを確認し、特に4週後の脂質過酸化程度がストレプトゾトシンの誘発1週間後より高い結果になったことを報告した。Yang(1997)³⁴⁾は糖尿病のラットの肝臓組織のSOD及びフリーラジカルの除去の役割をする抗酸化防御系が弱化され、酸化酵素などのフリーラジカル生成系が促進されるためこれらの間でバランスが崩され、脂質過酸化が亢進して組織の過酸化損傷が起こり得ると報告した。本研究では以上の報告のように、糖尿病群が正常対象群と比べて脂質過酸化が促進された事実を見出すことはできなかった。しかし、ストレプトゾトシンの注入1週間後より4週間後の脂質過酸化が高いと報告したFeillet-Coudrayら(1999)⁸⁾の研究を考慮した時、本研究では脂質過酸化の濃度を調べた時期がストレプトゾトシンを注入した4日後ということがMDA濃度の差に影響を与えたと推測される。すなわち、ストレプトゾトシンを注入し、4日後に血糖値が最高水準に至るが、酸化ストレスによる脂質酸化は進行しないと考えられる。したがって、今後ストレプトゾトシンの注入による糖尿病群の発病時期と脂質過酸化の関係を考慮した研究がさらに進められる必要があると考えられる。

一方、肝臓組織内のMDA濃度においては、正常群のトレッドミルの運動前に比べ、運動直後の増加が見られた。これは長期間のトレッドミルの運動に適応してい

ない状態での一過性の運動は体内のラジカル生成を増加させ、脂質の過酸化が促進されるということを本研究結果として確認することができた。

一方、糖尿病群の状態では、様々な心血管の危険因子である高血圧、肥満、インシュリン抵抗性、高脂血症などの合併傾向がある。この中で血中脂質及びリポ蛋白の因子らは糖尿病群の患者において動脈硬化の合併症の重要な危険因子であり、糖尿病群患者で見られるリポ蛋白の量的、質的变化が他の心血管障害の危険因子と加わり血管合併症の頻度を増加させる¹²⁾。本研究結果でも、糖尿病群で血中glycated LDLとTG、LDL-C値が正常群に比べて高く、HDL-C値は低かった。特に血中glycated LDLはグルコースとLDLが混ざった糖化物質のグルコース自体の酸化的性質³²⁾によりラジカルの生成を増加させるために純粋なLDLに比べ簡単に酸化される^{27), 21)}。このように酸化変形されたLDLはマクロファージ(macrophage)により調節され^{17), 35)}、マクロファージは正常のLDLによって調節を受け、細胞内のコレステロールの量を常に一定に保つ。

しかし酸化LDLに対しては調節能力がなく、マクロファージ内のコレステロールの蓄積を促進する。その結果、泡沫細胞を形成して血小板の凝集力を増加させる。また血管内皮細胞と平滑筋細胞の損傷を起こす動脈硬化の初期段階に作用することになる^{18), 11), 10)}。したがって、血中glycated LDLはLDLを酸化的に変化させることによって、糖尿病群による動脈硬化の発病率を増加させる重要な要因¹⁸⁾であると考えられる。本研究の糖尿病群の血中glycated LDL濃度の増加はLDLの酸化的変形を示唆する。さらに、血中glycated LDLは血中グルコース、TG及びLDL濃度と正の相関¹⁾があることから本研究の結果により正常群に比べ、糖尿病群の血中TGとLDL濃度の増加が血中glycated LDLの増加に影響をおよぼしたと判断できる。このような結果は、高脂血症を持つ糖尿病群患者の血中glycated LDL濃度が正常の一般の人に比べ高いことを報告したNapoliら(2002)²⁹⁾とAkanjiら(2002)¹⁾の研究と一致している。さ

らに、トレッドミル運動後、糖尿病群の血中 glycated LDL 濃度が安静時に比べて運動直後に減少した。このような結果は運動による血中グルコース及びTGなどの濃度の減少による結果だと考えられ、本研究の結果だけで推測した時、糖尿病時の血中 glycated LDL 濃度の減少に対して一過的に運動の効果があると考えられる。

一方、血中脂質の因子は運動の影響を受けるので、糖尿病時の運動は脂質代謝異常の効果をもたらすと考えられる。実際に運動形態と運動強度による変化をみると、血中TGは運動時間が長く、運動強度が低ければ、低下すると報告されており^{14,3)}、有酸素能力が優秀な持久性運動選手が非運動選手に比べ、TC値が低く維持される。このように、持続的な有酸素性運動はHDL-C値を高め、LDL-C値を低下させる⁴⁾と報告した。

また、Murakamiら(1997)²²⁾も12週間のトレッドミル運動後、血中TG濃度が運動後に有意に減少したと報告し、血中脂質の成分は運動能力と運動強度、そして持続時間に多く影響を受け、特に有酸素的持久性運動の脂質代謝の改善に効果があると考えられる。しかし、今まで血中脂質成分の変化と運動との関係を調べた研究では、運動能力別、そして長時間の運動形態と強度に関する研究に限定されているが、一過的な急性運動による血中脂質成分の変化に関する研究は少なく一致した結論に至らない実態である。このような視点から本研究は一過的トレッドミル運動を実施した結果、血中TG濃度が糖尿病群及び正常群すべてにおいて、運動直後に減少していることを確認できた。

このような結果はストレプトゾトシンを注入した糖尿病群のラットを対象に長期間トレーニングさせた結果、血中TG濃度が減少したと報告した研究¹⁶⁾とVO²maxの32%と60%水準で90分間のトレッドミル運動後TG濃度が15%と21%減少したと報告したTsetonisら(1995)²⁹⁾の報告、及びVO²maxの50%と75%で30分間一過的トレッドミル運動を実施した研究結果⁵⁾と類似した結果である。しかしこれらは人間を対象にした研究であり、糖尿の動物を対象にした運動効果に関する研究は少ない。運動後の血中TG濃度が低下したという本研究の結果をもとに考察すると、糖尿病群患者にしばしば見られる高脂血症を抑えるには一過的なトレッドミルのランニング運動が効果的であるかもしれない。

V. 結 論

本研究は、糖尿のラットと正常のラットを対象に脂質過酸化及び血中脂質成分を調べ、一過的な運動による肝臓組織内の脂質過酸化と血中 glycated LDL(糖化LDL)及び血中脂質成分の変化を調べるためにストレプトゾト

シン(streptozotocin)誘発の糖尿病群ラット12匹と正常のラット12匹を対象に30分間のトレッドミル運動を実施した。

その結果、長時間の運動に適応できない状態での一過的運動は脂質過酸化を促進させることが解明されたが、糖尿病群群は有意な差は見られなかった。また、一過的なトレッドミル運動が血中 glycated LDL 及びTG濃度を減少させ、糖尿病群時の動脈硬化の発病率を低下させる可能性が本研究を通して確認されたが、他の血中脂質の因子に関しての影響は確認されなかった。

したがって、今後の研究では糖尿病時における脂質過酸化とTC、LDL-C濃度減少及びHDL-Cの増加を促す運動形態、強度及び時間に対する研究を継続的に行う必要がある。

参考文献

- 1) Akanji, A. O., Abdella, N., Mojiminiyi, O. A. (2002). Determinants of glycated LDL levels in nondiabetic and diabetic hyperlipidaemic patients in Kuwait. *Clin. Chim. Acta.*, 317: 171-176.
- 2) Atli, T., Keven, K., Avci, A., Kutlay S., Turkcapar N., Varli, M., Aras, S., Ertug, E., Canbolat, O. (2004). Oxidative stress and antioxidant status in elderly diabetes mellitus and glucose intolerance patients. *Arch. Gerontol. Geriatr.*, 39: 269-275.
- 3) Baker, T. T., Allen, D., Lei, K. Y., Willcox, K. K. (1986). Alterations in lipid and protein profiles of plasma lipoproteins in middle aged men consequent to an aerobic exercise program. *Metabolism*, 35: 1037-1043.
- 4) Cardoso, S. G. C., Hernandez de Leon, S., Zamora Gonzalez, J., & Posadas Romero, C. (1995). Lipid and lipoprotein levels in athletes in different sports disciplines. *Arch.Inst. Cardiol. Mex.*, 65: 229-235.
- 5) Chung, S. L. (1999). The effect of aerobic exercise intensity on the blood lipid profiles, *Master Dissertation, Changwon University*.
- 6) De Cristofaro, R., Rocca, B., Vitacolonna, E., Falco, A., Marchesani, P., Ciabattini, G., Landolfi, R., Patrono, C., Davi, G. (2003). Lipid and protein oxidation contribute a prothrombotic state in patients with type 2 diabetes mellitus. *J. Thromb. Haemost.*, 1: 250-256.
- 7) Dincer, Y., Alademir, Z., Ilkova, H., Akcay, T. (2002a). Susceptibility of glutathione and glutathione-related antioxidant activity to hydro-

- gen peroxide in patients with type 2 diabetes: effect of glycemic control. *Clin. Biochem.*, 35: 297-301.
- 8) Feillet-Coudray, C., Rock, E., Coudray, C., Grzelkowska, K., Azais-Braesco, V., Dardevet, D., Mazur, A. (1999). Lipid peroxidation and antioxidant status in experimental diabetes. *Clin. Chim. Acta.*, 284: 31-43.
 - 9) Fu, M. X., Blackledge, J. A., Dyer, D. G., Huggins, T. G., Richardson, J. M., Thorpe, S. R., Hirsch, J., Feather, M. S., Baynes, J. W. (1991). *Glycation and oxidation of protein in diabetes and aging*. 369-372. In: 14th IDF Proceeding, Elsevier, New York.
 - 10) Guy, M. C., Kimberly, C. I., Marc, S. P. (1992). Lipoprotein oxidation and lipoprotein-induced cell injury in diabetes. *Diabetes*, 41: suppl 2: 61-66.
 - 11) Hodis, H. N., Kramsch, D. M., Ayogaro, P., Bittolo-Bon G., Cazzolato, G., Hwang, J., Peterson, H., Seranian, A. (1994). Biochemical and cytotoxic characteristics of an in vivo circulating oxidized LDL. *J. Lipid Res.*, 35: 669-677.
 - 12) Hong, S. K. (1997). Hyperlipidemia and Diabetes. 2th the korea society of diabetes workshop, S111-S124.
 - 13) Hunt, J. V., Wolff, S. P. (1991). Oxidative glycation and free radical production: A causal mechanism of diabetic complication. *Free Rad. Res. Communi.*, 12-13: 115-123.
 - 14) Jin, Y. S., Kim, S. H., Lee, M. H., Shin, M. J. (1990). Effect of exercise on atherosclerosis risk factors, *Spor. Sci. Stud.*, 1: 127-147.
 - 15) Jun, M. H. (1990). Effect of regular exercise on glucose intake and tolerance of muscle in streptozotocin induced diabetic rats, *Master Dissertation, Youngnam University*.
 - 16) Kim, S. J., Seo, H. L., Lee, H. M., Yeom, J. W., Kim, K. H., Jang, E. S., Baek, Y. H., Jhun, B. H. (2003). The effect of exercise and taurine supplementation on body weight, blood glucose, insulin and cholesterol levels in streptozotocin induced diabetic rats. *Kor. J. Exer. Nutr.* 7: 257-263.
 - 17) Klein, R. L., Laimins, M., Lopes-Virella, M. F. (1995). Isolation, characterization, and metabolism of the glycated and nonglycated subfractions of low-density lipoproteins isolated from type I diabetic patients and nondiabetic subjects. *Diabetes*, 44: 1093-1098.
 - 18) Lam, C. W. M., Tan, C. B., K., Lam, S. L. K. (2004). Glycoxidized low-density lipoprotein regulates the expression of scavenger receptors in THP-1 macrophages. *Atherosclerosis*, 177: 313-320.
 - 19) Lee, H. K. (1994). Diabetes and Free Radical, *Diabetes*, 18: S16-S21.
 - 20) Lyons, T., J., Baynes, J. W., Patric, J., S., Colwell, J. A., Lopes-Virella, M. F. (1986). Glycosylation of low-density lipoprotein in patients with Type I (insulin-dependent) diabetes: correlations with other parameters of glycemic control. *Diabetologia*, 29: 685-689.
 - 21) Menzel, E. J., Sobal, G., Staudinger, A. (1997). The role of oxidative stress in the long-term glycation of LDL. *BioFactors*, 6: 111-124.
 - 22) Murakami, T., Shimomura, Y., Fujisuka, N., Sokabe, M., Okamura, K., & Sakamoto, S. (1997). Enlargement of glycogen store in rat liver and muscle by fructose-diet intake and exercise training. *J. Appl. Physiol.*, 82(3), 772-775.
 - 23) Murata, M., Mizutani, M., Oikawa, S., Hiraku, Y., Kawanish, S. (2003). Oxidative DNA damage by hyperglycemia-related aldehydes and its marked enhancement by hydrogen peroxide. *FEBS lett.*, 554 : 138-142.
 - 24) Napoli, C., Lerman, L. O., de Nigris, F., Loscalzo, J., Ignarro, L. J. (2002). Glycoxidized low-density lipoprotein downregulates endothelial nitric oxide synthase in human coronary cells. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 40: 1515-1522.
 - 25) Rabinovitch, A. (1994). Immunoregulatory and cytokine imbalances in the pathogenesis of IDDM; Therapeutic intervention by immunostimulation? *Diabetes* 43: 613-621.
 - 26) Sakurai, T., Tsuchiya, S. (1988). Superoxide production from nonenzymatically glycated protein. *FEBS Lett.*, 236(2): 406-410.
 - 27) Sobal, G., Menzel, J., Sinzinger, H. (2000). Why is glycated LDL more sensitive to oxidation than native LDL? A comparative study. *Prostaglandins, Leukot. Essen. Fatty Acids*, 63: 177-186.
 - 28) Sozmen, E. Y., Sozmen, B., Delen, Y., Onat, T. (2001). Catalase/superoxide dismutase (SOD) and catalase/paraoxonase (PON) ratios may implicate poor glycemic control. *Arch. Med. Res.*, 32: 283-

- 287.
- 29) Tsetsonis, N. V., & Hardman, A. E. (1995). The influence of the intensity of treadmill walking upon changes in lipid and lipoprotein variables in healthy adults. *Euro. J. Appl. Physiol.*, 70: 329-336.
- 30) Wehmeier, K. R., Mooradian, A. D. (1994). Autoxidative and antioxidative potential of simple carbohydrates. *Free Radic. Biol. Med.*, 17: 83-86.
- 31) Wolff, S. P. Jiang, Z. Y. & Hunt, J. V. (1991). Protein glycation and oxidative stress in diabetes mellitus and aging. *Free Radic. Biol. Med.*, 10: 339-353.
- 32) Wolff, S. P., Dean, R. T. (1987). Glucose autooxidation and protein modification. *Biochem. J.*, 245: 243-250.
- 33) Wright, J. R., Lacy, P. E. (1988). Synergistic effect of adjuvants, endotoxin and fasting on induction of diabetes with multiple low doses of streptozotocin in rats. *Diabetes*, 37: 112-118.
- 34) Yang, J. A. (1997). Effects of green tea catechin on the antithrombus in streptozotocin induced diabetic rats. *Doctoral Dissertation, Catholic University of Daegu.*
- 35) Zang, H., Yang Y., Steinbrecher, U. P. (1993). Structural requirements for the binding of modified proteins to the scavenger receptor of macrophage. *J. Biol. Chem.*, 268: 5535-5542.
- 36) Zhang, L., Zalewski, A., Liu, Y., Mazurek, T., Cowan, S., Martin, J. L., Hofmann, S. M., Vlassara, H., Shi, Y. (2003). Diabetes-induced oxidative stress and low-grade inflammation in porcine coronary arteries. *Circulation*, 108: 472-478.

(平成16年11月15日受付)
(平成17年2月28日受理)

荷重センサ・ジャイロセンサ・加速度センサを用いた麻痺歩行動作の計測

古 賀 智 美 (久留米大学大学院比較文化研究科)

末 吉 靖 宏 (鹿児島大学教育学部)

川 平 和 美 (鹿児島大学大学院医歯学総合研究科)

満 園 良 一 (久留米大学健康・スポーツ科学センター)

Assessment of paralyzed walking movement using Load Sensors, Gyro Sensors and Acceleration Sensors

Satomi Koga¹⁾, Yasuhiro Sueyoshi²⁾,
Kazumi Kawahira³⁾ and Ryoichi Mitsuzono⁴⁾

Abstract

This study examined the possibility of Load sensors, Gyro sensors and Acceleration sensors to be used as a new system of the walking training support. The gyro sensor was placed on the thigh and the large thigh in the under of subjects, a normal walking and Bouta mock walking were measured, and the difference between the thigh angle velocity and the large thigh angle velocity in the under was analyzed in terms of the knee joint angle velocity. The load sensor was placed on the bare soles. As a result, when normal walking and Bouta mock walking were conducted respectively, the wavy signal was seen on the monitor, showing some pressure added on the feet. Moreover, the shape of waves at the knee joint angle velocity on the gyro sensor indicated the maximum value in both walking and the swing phases, and the normal walking was larger than Bouta mock walking. There is a tendency for the knee joint angle velocity to become larger during both walkings as the walking speed was quickened, in terms of the average angle velocity of a knee joint corner speed maximum value and the average walking speed. A significant difference of 5% level was seen between both walkings. It turned out that the touchdown and take-off of the foot were distinguished with the load sensor, and the evaluation of walking Bouta was also possible with the gyro sensor.

Key words: Load sensor, Gyro sensor, Acceleration sensor, Paralyzed Walking Movement

研究目的

脳卒中患者は、後遺症として片麻痺などに起因する歩行機能障害をしばしば引き起こし、日常生活に支障をきたしている。歩行の改善には頻回の歩行訓練と、訓練に

伴う訓練補助者（医師、理学療法士等）の多大な労力が必要であり、人的および時間的な制約のため訓練に限界があった。そこで、訓練の自動化のための歩行機能回復支援システムの開発が積極的に進められている。その中の一つとして、リアルタイム位置計測装置により麻痺肢

1) Graduate School of Comparative Cultures, Kurume University, 1635 Mii-machi, Kurume, Fukuoka 839-8502

2) Faculty of Education, Kagoshima University, 1-21-30 Koorimoto, Kagoshima 890-0064

3) Graduate School of Medical and Dental Sciences, Kagoshima University, 8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890-8544

4) Institute of Health and Sports Sciences, Kurume University, 1635 Mii-machi, Kurume, Fukuoka 839-8502

の接地と遊脚を判別して、遊脚期に小型振動モータからの振動刺激をフィードバックすることで患者本人に歩行の異常を知らせ、歩行改善を図るシステムがある⁵⁾。しかしながら、位置計測装置自体が高価であるため普及するには至っていない。このため、われわれは、接地と離地の判別を荷重センサで代替し、また、ジャイロセンサ・加速度センサにより歩行時の下肢の動きの評価を行い比較的安価なセンサを用いたシステムへの改善を試みている。本研究の目的は、健常者による麻痺模擬歩行動作をこれらのセンサで計測し、新システムへの導入の可能性について検討することである。

研究方法

1. 歩行計測実験装置

荷重センサ（ニッタ株式会社、A201-1）、ジャイロセンサ（(株)シリコンセンシングシステムズジャパン、C-RS03-11）、加速度センサ（Crossbow Technology 社、CXL10LP3）の組み合わせによる計測システム装置を試作した。なお、ジャイロセンサは角速度を検出するセンサであり、使用した各センサを図1に示した。

2. 被験者

健常な大学生4名（男子2名、女子2名）を被験者とした。被験者の年齢、身長、体重の平均値と標準偏差はそれぞれ 22.5 ± 1.0 歳、 166.5 ± 5.4 cm、 60.3 ± 8.6 kgであった。

3. 角速度と荷重の測定手順

被験者の下腿側面と大腿側面にジャイロセンサを装着し、正常歩行と棒足模擬歩行を行わせ下腿角速度（膝関節伸展軸回り回転角速度）と大腿角速度（股関節屈曲軸回り回転角速度）の測定を行い、その差分を膝関節角速度とした。いずれの歩行時にも荷重センサを両足足底部（踵と母指球）に装着（図2）し、裸足の状態で歩行させた。歩行区間は4mで、3段階の歩行速度（速め、普通、遅め）を測定した。棒足模擬歩行の際は、棒足歩行について説明を加えるとともに模範を示し、それを真

似させる形で歩かせた。なお、ジャイロセンサは直接肌にサージカルテープで貼った上からマジックバンドを巻いて固定し、荷重センサは足底に直接サージカルテープで貼り付けた。

4. 分析方法

荷重センサとジャイロセンサからのデータは、A/D変換器を介してコンピュータに取り込んだ。荷重センサのデータは、本実験では接地と離地の判別のみとして用いたため、力の較正は行わず、センサからの出力電圧をそのまま計測した。ジャイロセンサのデータは、出力電圧から角速度への換算をし、較正を行った。

5. 統計処理

正常歩行と棒足模擬歩行時における各角速度の最大値について、それぞれ平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の有意性は、対応のないt検定により検討し、統計処理の有意水準は危険率5%とした。

結果と考察

図3は荷重センサ信号の波形を示したものである。正常歩行時、棒足模擬歩行時ともにセンサへ圧力が加わったときに見られる波形信号は、全被験者で接地期において認められた。このことから荷重センサによって、歩行中の足部の接地と離地の判別が可能であると考えられる。本実験は裸足の状態における歩行であったが、脳卒中患者は靴や装具の使用が考えられるため、靴を履いた状態における測定でも可能かどうか、装着方法についてさらに検討する必要がある。この点に関しては、インソール型の足圧分布測定システムとして、F-SCAN（ニッタ株式会社）を用いて歩行中の足圧分布が測定されている¹⁾。これは、足底全体を3分割して各部の荷重ピーク値を求め歩行中の特徴を観察しているが、靴の中や足底は平面でない為センサシート自体の捻れや歪みが起こり、大きな誤差が指摘されている³⁾。これに対し、本報における荷重センサは、観察したい部分の荷重を端的に測定できる可能性があると考えられる。そこで、歩行の極限であ

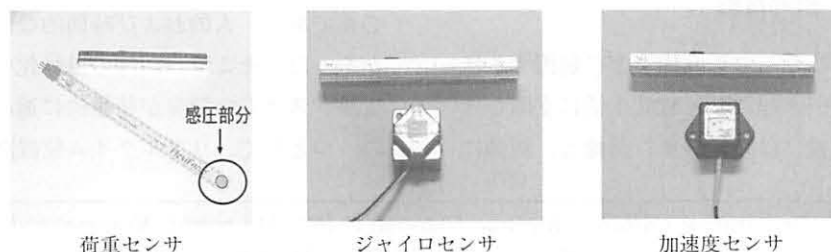


図1 荷重センサ、ジャイロセンサ、加速度センサ

る競歩において、荷重センサをインソールに装着し測定可能かどうか予備実験を行ったところ、観察したい部分の荷重を測定できることを確認した。今後、歩行中のより詳細な特徴を観察するためには、インソールへのセンサの装着方法だけでなく足圧の定量化を行う必要がある。

図4は、ジャイロセンサによる膝関節角速度の信号波形を示したものである。膝関節角速度の波形は、下腿角速度と大腿角速度の差をとったものであり、正方向が膝関節の伸展方向を表わしている。全被験者で、正常歩行

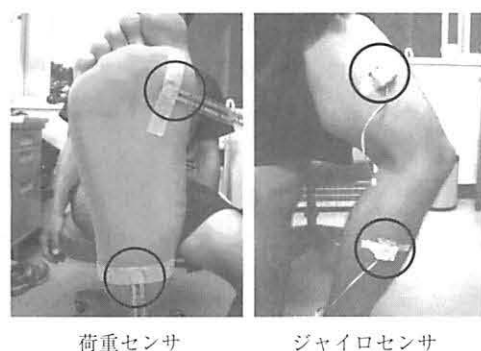


図2 正常歩行および棒足模擬歩行時における荷重センサとジャイロセンサの装着位置

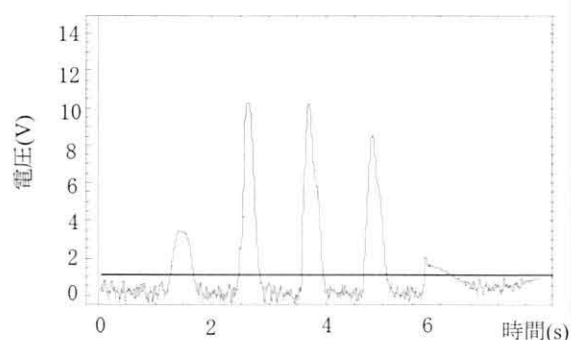


図3 荷重センサ信号波形

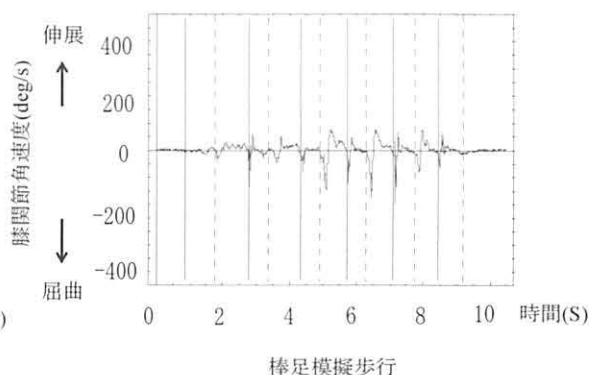
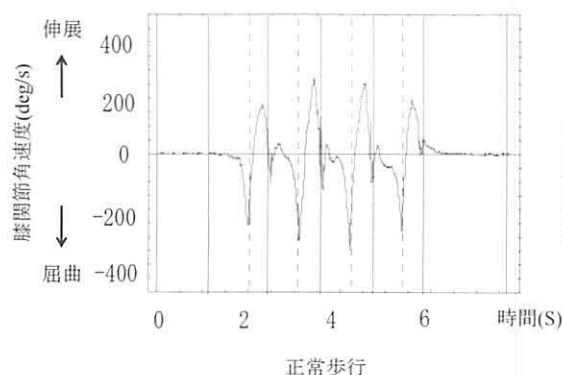


図4 ジャイロセンサによる膝関節角速度の信号波形

(図中の縦破線は足部の離地、縦実線は接地を示し、縦破線から縦実線の区間が遊脚期となる。)

時、棒足模擬歩行時ともに、遊脚期(図中の縦破線から縦実線の区間)に膝関節角速度の最大値が見られた。両歩行の波形を比較すると、正常歩行時の波形の方が大きい傾向にあった。また、遊脚期に見られた膝関節角速度最大値の平均角速度と平均歩行速度の関係(図5)は、両歩行とも歩行速度が速くなるにつれ膝関節角速度も大きくなる傾向を示した。歩行速度0.7~1.0m/sの範囲における平均角速度は、正常歩行時の方が棒足模擬歩行時より有意に大きかった($p<0.05$)。このことは、ジャイロセンサによって歩行時の下肢の動きを評価でき、ジャイロセンサの新たな利用の可能性を示唆している。

本実験は、棒足歩行の特徴^{2),4)}から下腿角速度と大腿角速度の差を膝関節角速度として分析した。実際には、下腿角速度においても膝関節角速度と同様に両歩行の間に5%水準で有意な差を認めた。この結果は下腿角速度のみの測定でも評価できる可能性を示し、経費節減とともにセンサ装着の負担軽減につながるのではないかと考えられる。

本結果は健康者による模擬歩行によるものであり、実際の麻痺患者による検討が必要である。

結 論

本研究は、歩行訓練支援の新システムとして各センサ利用の可能性を検討するため、センサを着用した歩行動作の解析を行った。その結果、荷重センサでは足部の接地と離地の判別が可能であり、ジャイロセンサでは棒足歩行の評価も可能であることが判明した。

要 約

本研究は、歩行訓練支援の新システムとして荷重センサ・ジャイロセンサ・加速度センサ利用の可能性を検討した。被験者の下腿と大腿にジャイロセンサを装着し、正常歩行と棒足模擬歩行の測定を行い、下腿角速度と大

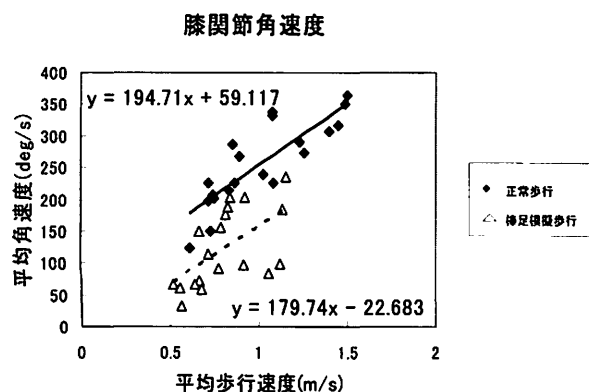


図5 遊脚期における膝関節角速度最大値の平均角速度と平均歩行速度の関係

腿角速度の差を膝関節角速度として分析を行った。いずれの歩行時にも荷重センサを両足底部に装着し、裸足の状態で行った。その結果、正常歩行時、棒足模擬歩行時ともにセンサへ圧力が加わったときに見られる波形信号が認められた。また、ジャイロセンサによる膝関節角速度の波形は、両歩行とも遊脚期に最大値を示し、正常歩行時の方が大きかった。膝関節角速度最大値の平均角速度と平均歩行速度の関係からは、両歩行とも歩行速度が速くなるにつれ膝関節角速度も大きくなる傾向を示し、両歩行の間には5%水準で有意な差を見ることができた。このようなことから、荷重センサでは足部の接地と離地の判別が可能であり、ジャイロセンサでは棒足歩行の評価も可能であることが判明した。

キーワード：荷重センサ、ジャイロセンサ、加速度センサ、麻痺歩行動作

附記：本研究は、平成15年度～16年度科学研究費補助金（基盤研究C(2) 課題番号15500369）の支給を受けて行われた研究の一部である。また、本研究の一部は、

平成17年度私立大学等経常費補助金特別補助（高度化推進）の大学院重点特別経費（サブテーマ：様々な歩行動作における新たな動作分析システムの構築）比較文化研究科・心理学研究科共同研究費によって行われた。

参考文献

- 1) 会津加代子・尾田敦（1997）脳卒中片麻痺患者の歩行中における足底圧分布の特徴．理学療法学，学会特別号（第32回埼玉）24(2)：477.
- 2) 間得之・大土井淑郎・中村皓一・窪田俊夫・鈴木弥重郎・梶野宗幹（1970）脳卒中片麻痺患者の異常歩行パターンについて（第1報）．リハビリテーション医学，7(1)：42.
- 3) 今石喜成・前田貴司・牛島茂樹・中島義博・池田香苗・志波直人・後藤武史・井上明生・松尾重明・田川善彦（1998）動的足底圧の評価法について－足底圧分布測定システム(F-SCAN)の検討－．理学療法学，学会特別号（第33回京都）25(2)：155.
- 4) 村上忠洋・村瀬政信・坂本亜里砂・山中主範・保村譲一・早川佳伸・日野和人（2002）歩行チャートを用いた脳卒中片麻痺患者の歩行評価－異常歩行パターンと歩行速度との関連性－．理学療法学，学会特別号（第37回静岡）29(2)：184.
- 5) 末吉靖宏・田中信行・辻尾昇三・川平和美・余永・丸山敦夫・衛藤誠二（2003）脳卒中片麻痺患者の歩行機能回復訓練支援システムとその治療効果の評価 平成12年度～平成14年度研究費補助金（基盤研究(C)(2)）研究成果報告書：3-4.

（平成16年11月8日受付）
（平成17年2月28日受理）

ビデオ映像による家庭用運動プログラムの有効性 「健康ながさき21エクササイズ」の場合

村 木 里 志 (九州大学大学院芸術工学研究院)
上別府 徹 (NPO法人 日本健康運動指導士会 長崎県支部)
網 分 憲 明 (県立長崎シーボルト大学看護栄養学部)
田 原 靖 昭 (長崎大学教育学部)

Effectiveness of home exercise program using a video tape recording for Kenko Nagasaki 21 Exercise

Satoshi Muraki¹⁾, Toru Kamibeppu²⁾,
Noriaki Tsunawake³⁾ and Yasuaki Tahara⁴⁾

Abstract

The present study examined the effectiveness of a home exercise program (Kenko Nagasaki 21 exercise: KN21EX) using a video tape recording (VTR), in order to improve physical fitness and prevent life style among thirties to fifties age groups. The KN21EX is composed of 30-min exercises including stretching, aerobic exercise, and strength training. Twenty-eight females and five males aged between 21 and 56 years old (average 40.4 years) participated in this study. We gave the VTR of KN21EX to the subjects, and instructed them to perform physical training using the KN21EX for 8 weeks at a frequency of two or more times per a week at home. Before and after training, physical measurement, physical fitness test, and subjective symptom surveys were conducted. Twenty-two subjects performed the program at a frequency of two or more times per week (TR group). Although the TR group showed no change in body weight or physical composition after the training, a significant correlation was founded between exercise frequency and a decrease in body weight in all subjects ($n=26$, $r=-0.517$, $P<0.01$). For physical fitness test, records of agility and muscle endurance, and total scores for six subtests were significantly increased by training in the TR group, which corresponded to about 5 years rejuvenation. However, significant improvements in muscle strength, muscle power, and endurance capacity were not found in the TR group. It is considered that these slight improvements were due to difficulty in regulating exercise intensity by VTR. In conclusion, these results suggested the possibility that regular training by the KN21EX using VTR is useful for improving physical fitness and preventing life style diseases.

Key words: home exercise program, video tape recording, physical fitness, weight control

I はじめに

健康維持・増進のための運動を行う場は屋外や運動施

設が多い。しかしながら、個々の理由により、普段から家庭にて運動を行いたいと希望する者や、普段は屋外で運動を行うが、天候が不順なときには家庭でも何らかの

1) Faculty of Design, Kyushu University

2) Japan health fitness instructor society, Nagasaki branch

3) Faculty of Nursing and Nutrition, Siebold University of Nagasaki

4) Faculty of Education, Nagasaki University

運動を行いたいと希望する者も少なくない。またその中には、自転車エルゴメーターやランニングマシンなどの大型な道具を必要とせず、手軽に行える運動を望む者も多い。このような背景から、指導者が家庭で手軽に行えるような運動プログラムを作成して、それをビデオテープなどの記録媒体に録画し、配布もしくは市販するケースがよくみられる。

家庭で行うための運動プログラム（家庭用運動プログラム）は天候に影響をうけず、いつでも好きな時間に手軽に実施できる長所がある一方、制約や短所があることも想定される。まず狭いスペースで安全に行える運動でなければいけない。また、共同住宅において利用されることも想定し、運動に伴う床の振動や騒音による苦情が起こらない程度の動作にする必要がある。さらに、ビデオ映像を用いる場合、対象者に関係なく、また繰り返しその運動プログラムを実践しても、常に同じ映像と指導者の説明が流れる。そのため、負荷を個々に応じて調節することや、効果を頭打ちさせないように負荷を漸増させることが難しい。このように、映像を用いた家庭用運動プログラムにはいくつかの制約や短所があり、得られる効果が低減することが危惧される。しかしながら、ビデオ映像を用いた家庭用運動プログラムの有効性や問題点について検討した研究はほとんどない。

このたび著者らは、長崎県から「健康ながさき21」事業の一つ⁸⁾として、ビデオ映像を用いた家庭用運動プログラム「健康ながさき21エクササイズ（以下、長崎21EX）」¹²⁾の作成を依頼されるとともに、その効果を検証する機会を得た。依頼先（長崎県）の要望は、運動実施率が特に低い30歳代から50歳代の男女（平成11年度長崎県民健康意識調査⁹⁾による）を対象とした手軽にできる家庭用運動プログラムであり、30分間の運動プログラムによって構成され、このプログラムを週2回行くと生活習慣病の予防ならびに体力の向上（特に全身持久力、筋力、柔軟性、バランス能力の向上）が期待できることであった。「健康ながさき21」では「1回30分以上の運動を週2回以上行っている者」の割合を増やすという目標を設けていること⁸⁾からこのような要望となっている。これらの要望をもとに、著者らは運動プログラムを作成し（表1）、利用者が家庭にてビデオ映像を見ながらその運動プログラムが実践できるよう撮影と編集を行った。プログラム作成に当たっては、上述した家庭用運動プログラムの短所を補うべく、表1のような工夫を取り入れた。例えば、前述したようにビデオ映像は負荷を個々に応じて調節することが難しいと考えられる。そのため、モデルを2人にして強度が異なる例を2パターン示し、テロップによって要点を表示するなど工夫した。

以上のことから本研究では、ビデオ映像を用いた家庭用運動プログラムの一例として、長崎21EXを取り上げ、その運動プログラムの有効性を、特に目的とした効果（体力の向上、生活習慣病の予防）が得られるかどうか、ならびに実施頻度（週2回）と対象年齢は適当かどうかから検証した。そして、これらの知見から、ビデオ映像を用いた運動プログラムの問題点について考察した。

Ⅱ 方 法

（対象者）

対象者は新聞や広報誌の広告によって募集し、応募があった長崎県在住の33名である。年齢は21歳～56歳（平均40.4歳）、性別は男性5名、女性28名であった。対象者のほとんどが運動不足を感じ、長崎21EXを利用して、体力の向上や生活習慣病の予防に取り組みたいと希望する者であった。対象者には説明会にて本調査の内容等について説明し、同意書を得た。

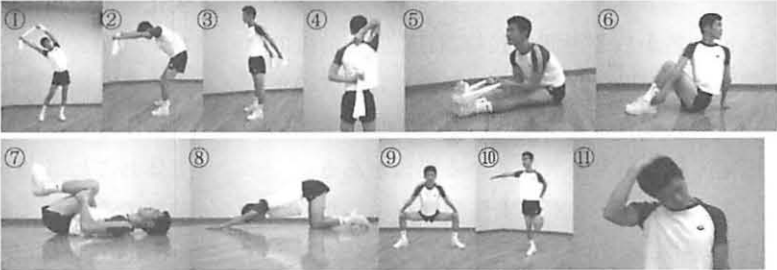
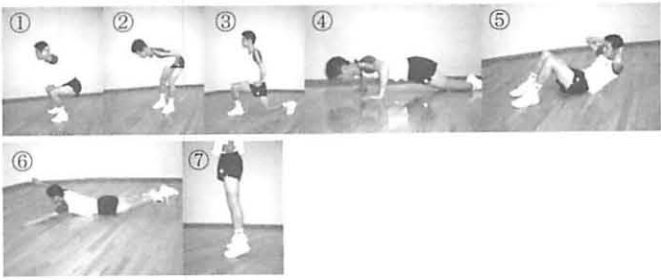
（調査方法）

まず対象者には測定会場に集合してもらい、健康調査、自覚症状調査を含む各種アンケート調査、身体計測および体力測定等を実施した。その後、健康運動指導士会長崎県支部のフィットネスインストラクター（3名）が対象者に対し長崎21EXの実技指導を行った。最後に、長崎21EXが録画されたビデオテープ（VHS）および解説書（A4版18ページ）を対象者に配布し、翌日より長崎21EXを各自の生活ペースに応じて週2回以上を目安に実践し、その実施回数を運動記録表に記録するように指示した。週2回以上としたのは、前述したように、健康ながさき21では「1回30分以上の運動を週2回以上行っている者」を増やすこと⁸⁾を目的としており、また長崎21EXもその頻度を想定して作成したためである。8週間後、再度集合し、始めに実施した身体計測、体力測定ならびに各種アンケート調査を再度実施するとともに、運動記録表を回収した。これらの研究調査を実施した期間は平成14年10月～12月であり、上述した調査は県立長崎シーボルト大学体育館内で実施した。

（測定・調査項目）

身体計測として身長、体重、ウエストヒップ(W/H)比、体脂肪率（タニタ社製、体内脂肪計 TBF-410）、骨密度（Lunar社製、超音波骨密度測定器 A-1000）を測定した。体力測定として文部科学省新体力テスト⁵⁾の20～64歳対象テスト項目である握力（筋力）、立ち幅とび（筋パワー）、上体おこし（筋持久力）、反復横とび（敏捷性）、および長座体前屈（柔軟性）を実施した。全身

表1 健康ながさき21エクササイズの構成と主な特徴

区 分	種 目	内 容 と 主 な 特 徴
説明 (約1分)	構成、目的 実施上の注意点	
ストレッチング (約10分) ※準備運動を含む	ストレッチングの部位 ①肩・腕・体側部 ②肩・背部 ③肩・腹部 ④肩・腕部 ⑤大腿後面 ⑥腰部 ⑦腰・臀部 ⑧肩・背部 ⑨股関節部 ⑩大腿前面 ⑪首 ⑫深呼吸	 (特徴) ・タオルを用いることにより、柔軟性に関係なく誰でもできる。また、伸張の調節が容易にできる。 ・全ての種目に対して椅子を使ってする方法を紹介。
エアロビクス (約10分)	120BPM の音楽による ローインパクトのエア ロビクスダンス	 (特徴) ・難しい振りつけがなく、初心者向き。 ・狭いスペースでできる。 ・上半身には振りつけを付けていない。(上半身の振りを各自で行うことにより、運動強度を調節。飽きを防ぐために、利用者自身に振りつけをアレンジさせる) ・歩行ではあまり使われない筋肉を使う動作が多い。
筋力トレーニング (約8分)	筋力強化の部位 ①脚部 ②腰背部 ③脚・腰部 ④胸・腕部 ⑤腹部 ⑥背部 ⑦下腿部	 (特徴) ・二人のインストラクターにより、2パターンの方法を紹介。(個々の筋力に応じて負荷を調節できるようにするため)
整理運動 (約2分)	ストレッチング(5種目) 深呼吸	脚背面、大腿前面、背部、胸部、肩部

※音声だけでなく、テロップにより注意事項やポイントを表示。特に運動強度の調節を重点的に説明を加えた。

持久力は本来、20m シャトルランテスト等により評価するが、危険性が高いため本テストを用いず、自転車エルゴメーター（コンビ社製、エアロバイ XLII, EZ201）の体力テストプログラムから得られた PWC75%HRmax およびその評価表をもとに、全身持久力の得点を推定した。これらの測定値から新体力テストの評価基準より総合得点を算出するとともに、体力年齢を推定した。その他、血圧（UDEX 社製、スーパー A）、脈波（フューチャー・ウエイブ社製、BC チェッカー BC-001）、および新体力テストに含まれていない平衡性を評価するために重心

動揺（アニメ社製、重心動揺計グラビコーダ GS-11）の測定を実施した。また、自覚症状調査（14項目）を含む各種アンケート調査を実施した。尚、生体リズムの影響を取り除くため、上記の測定は午後2時から4時の間に実施した。

（統計処理）

健康21EX の実施前後の比較には、自覚症状および脈波測定によるスコアについては Wilcoxon の符号付き順位検定を、その他の項目については対応のある t 検定を

用いた。さらに必要に応じて、実施頻度等と各測定項目値の増減等などの相関係数および回帰直線を求めた。危険率5%未満を有意性の判定基準とした。

III 結 果

33名のうち、29名から8週間の長崎21EX 実施前後の各種測定・調査結果が得られた。表2に分析対象者の年齢別および性別の人数分布を示した。ただし、諸事情により一部の測定・調査項目が欠けている場合がある。

図1には対象者の長崎21EXの実施頻度を示した。29名の実施頻度の平均は2.73±1.26回/週であった。対象者には週2回以上の頻度で長崎 EX21を実践するよう指示した。そのペースをほぼ満たす週に1.8回以上を実施した対象者は22名であった。指示した頻度で行った群の効果を判定するために、それら22名の対象者を実行群とした。その実行群の平均実施頻度は3.2回/週であった。尚、対象者の一部は長崎21EXだけでなく、ウォーキング（7名）など他の種目を実施していた。

実行群の身体計測値をみると、長崎21EXの実施前後間に有意な差が認められたのは骨密度の指標であるステフネス値のみであった。一方、体重およびW/H比は減

少傾向を示したが、有意な差は認められなかった。体脂肪率はわずかに増加（+0.47%）しているが、有意ではない。減少傾向がみられた体重について、実行群以外の対象者も含めた全対象者の長崎21EXの実施頻度と体重変化率との関係を見ると、有意な負の相関関係が認められた（図2）。その回帰直線式では実施頻度が1.8回を越えると、体重変化率がマイナスとなっている。

新体力テストは実行群において、反復横とび（+3.0回）、上体おこし（+3.6回）および総合得点（+3.3点）が実施前後で有意に上昇した。その他の項目では長座体前屈（+3.4cm）や全身持久力（+4.0W）において向上する傾向がみられたが、有意な差は認められなかった。握力、立ち幅跳びの成績は向上しなかった。長崎21EXの実施前の総合得点と実施後の総合得点の増減との関係を見ると、実施前の得点が低いほど、長崎21EX実施による総合得点の増加が有意に高くなった（図3）。体力レベルが高かった2名の新体力テスト総合得点は長崎21EX実施後に下がっている。実行群以外の対象者も含めた場合、総合得点の増加は実施頻度と有意な正の相関が認められた（図4）。尚、新体力テストには含まれていない平衡性を評価する重心動揺テストでは、全ての主要解析項目（表2には総軌跡長のみ記述）において有意な変化は認められなかった（表3）。

その他の調査項目では、実行群において拡張期血圧が有意に低下した。脈波によるスコアは向上する傾向がみられたが有意ではなかった。自覚症状調査では全ての項目に改善傾向がみられたが、有意な改善が認められた項目は「身が軽快である」のみであった（表4）。

IV 考 察

本考察では、8週間の長崎21EXの実施によって、1) 体力の向上が認められるか、2) 生活習慣病の予防効果が認められるか、3) 実施頻度や対象年齢は適当かの点から、長崎21EXの有効性を検証するとともに、ビデオ映像を用いることの問題点について考察する。

1) 長崎21EXの体力向上の効果について

実行群の新体力テスト総合得点は長崎21EXにより平均3.3点増加した。これは約5歳分の若返りに相当する。本研究のように体力テストを複数回実施する場合、慣れの効果が生じるためその影響も考慮しなければいけない。しかし、実行群に含まれない低頻度の者（n=5）は運動実施前後の総合得点がほぼ同じである（前28.4点、後28.5点）。また、実施頻度と総合得点の増減との関係を見ると、有意な正の直線関係が認められ、その直線の回帰式の切片は0に近い（図4）。このことから8週間後

表2 分析対象者の性別および年齢層

年齢 (歳)	性 別		計
	男	女	
20～29	2	4	6
30～39	1	5	6
40～49	0	8	8
50～56	1	8	9
計	4	25	29

(人)

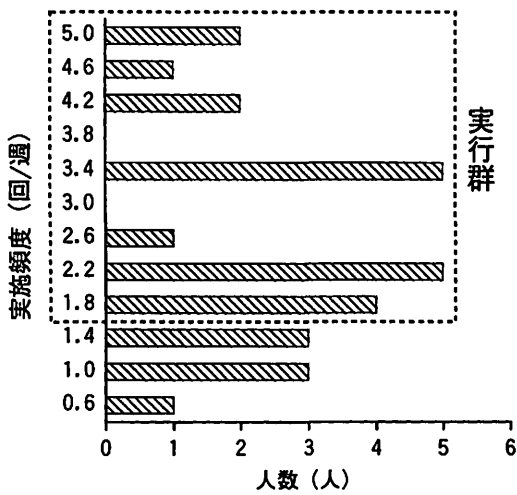


図1 分析対象者の健康21EXの実施頻度。週1.8回以上の対象者を実行群とする。

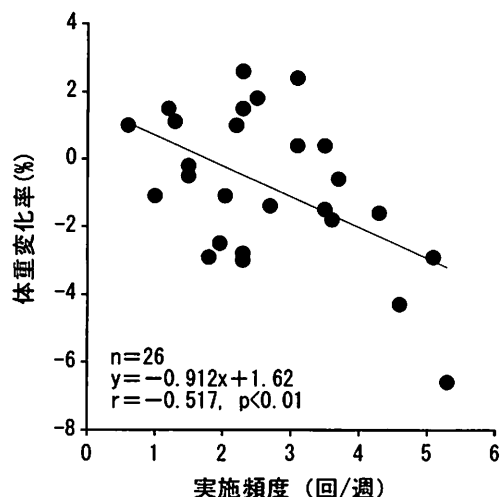


図2 長崎21EXの週当たりの実施頻度と体重変化率との関係

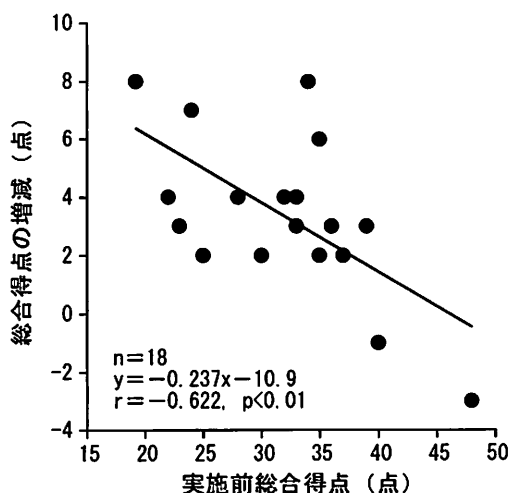


図3 長崎21EXの実施前の体力テスト総合得点と8週間の実践(週1.8回以上)による得点の増減との関係

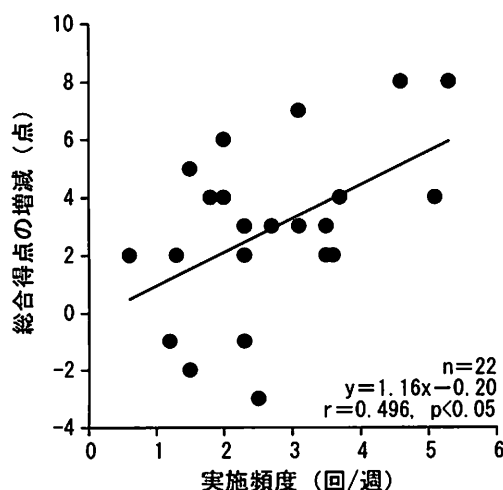


図4 長崎21EXの週当たりの実施頻度と体力テスト総合得点の増減との関係

の測定には慣れによる影響は消えていると推察される。このように長崎21EXは、体力の向上の面からは有効であることが示唆された。しかしながら、本研究では対象者には単にビデオ映像が録画されたビデオテープを配布するだけでなく、事前指導や解説書の配布などの介入を行っている。それゆえ、これらの介入が確認された体力の向上に一部寄与している可能性を否定できない。ビデオ映像だけを配布する場合においては、今回得られた体力の向上が多少、低減する可能性もあるかもしれない。

一方、体力要素別にみると、効果が現れた要素とそうでない要素に分けられた。長崎21EXはストレッチング、エアロビクスならびに筋力トレーニングの3つのパートに分かれ、それぞれ特に柔軟性、全身持久力、筋力の向上を狙ったが、後者二つにおいて有意な向上は認められなかった。全身持久力は向上しにくい体力要素でもあり^{4,6)}、長崎21EXのような10分程度のエアロビクス運動では向上は期待できないことも一因として考えられる。また、全身持久力および筋力の両者が向上しなかった理由の一つとしては、ビデオ映像を用いることによる欠点、すなわち運動強度の適切な調節が難しいことが関係していると考えられる。我々は予めこの欠点を想定して、ビデオ映像には二人のインストラクターを映し、2パターンの運動強度を示した。さらに、各自の身体能力に合わせて運動強度を調節することを実技指導時に念入りに指導した。しかしながら、その運動強度は実施回数を重ねるごとに少しずつ高めていかなければならない。特にエアロビクスと筋力トレーニングは柔軟性と異なり、この調整が効果に大きく左右する^{1,7)}。すなわち、全身持久力と筋力の向上が乏しかったのは、この漸増負荷の法則が適切に実施されていなかったことが推測される。この問題を解決するためには、ある程度の回数を実施したら、運動強度が高い別の運動プログラムに変えるか、また定期的にインストラクターが指導するなどの対策が必要である。

2) 長崎21EXの生活習慣病の予防効果について

本研究では、身体組成、骨密度、末梢血管系および自覚症状の面から生活習慣病の予防効果について検証した。長崎21EXは30分間の運動であり、その消費カロリー(kcal)はおおまかではあるが体重(kg)×1.5kcalに相当する¹²⁾。仮に、体重が実行群の平均値に近い55kgの者が、実行群の平均実施頻度である週3.2回行くと、8週間では計算上2112kcalとなる。この程度のカロリーではわずかな体重減少しか期待できない。しかし、実行群において有意ではなかったが、体重と内臓脂肪型肥満の指標であるW/H比の減少傾向がみられた。さらに、

表3 長崎21EX 実施による各測定項目の変化（実行群を対象）

測定項目	n	実施前	実施後	有意性
身長 (cm)	20	157.5±6.6	157.5±6.6	NS
体重 (kg)	20	54.9±7.4	54.3±7.8	P=0.060
W/H 比	20	0.793±0.103	0.768±0.055	NS
体脂肪率 (%)	20	26.1±4.1	26.5±4.1	NS
収縮期血圧 (mmHg)	20	122.8±12.3	122.9±15.8	NS
拡張期血圧 (mmHg)	20	74.6±8.6	70.9±8.3	P<0.05
脈波スコア	20	34.6±32.0	50.0±60.5	NS
骨密度 (ステフネス)	20	91.2±15.5	95.1±15.0	P<0.01
重心動揺 (開眼時)				
開眼時総軌跡長 (cm)	20	34.1±8.4	32.9±8.8	NS
閉眼時総軌跡長 (cm)	20	39.9±11.3	36.6±8.4	NS
総軌跡長ロンベルグ率	20	1.18±0.21	1.13±0.20	NS
体力テスト				
握力 (kg)	19	30.6±7.1	31.0±5.5	NS
上体おこし (回)	18	16.4±6.0	20.0±4.9	P<0.01
立ち幅とび (cm)	18	165.4±27.8	160.9±25.0	NS
反復横とび (点)	18	38.6±6.3	41.6±6.1	P<0.01
長座体前屈 (cm)	19	39.8±11.6	43.2±5.5	P=0.052
PWC75%HRmax (W)	17	75.2±20.3	79.2±20.5	NS
総合得点 (点)	19	32.3±7.4	35.6±5.9	P<0.01

NS：有意性なし

表4 長崎 EX 実施による自覚症状の変化（実行群を対象、n=21）

質問項目	実施前	実施後	有意性
身が軽快である	2.1±0.6	2.6±1.0	P<0.05
意欲がある	2.9±0.6	3.0±0.5	NS
いらいらする	1.7±1.0	1.5±0.9	NS
食事がうまい	3.5±0.6	3.4±0.7	NS
食欲がある	3.5±0.6	3.5±0.6	NS
疲れやすい	2.2±1.1	1.8±1.1	P=0.080
心身爽快である	2.5±0.7	2.8±0.8	NS
健康に自信がある	2.2±0.9	2.5±1.0	NS
よく眠れる	2.9±1.0	3.2±1.1	NS
胃の調子がよい	2.2±1.0	2.6±1.1	NS
便通がよい	2.3±1.0	2.7±1.2	NS
息切れをする	2.0±0.8	1.7±1.1	NS
腰が痛い	2.0±1.3	1.5±1.3	P=0.093
肩が痛い (肩こり)	2.5±1.4	2.1±1.5	NS

調査用紙の回答選択肢は5段階（5：とても思う、4：やや思う、3：どちらでもない、2：あまり思わない、1：全く思わない）とし、その平均値を求めた。

実行群以外の対象者を含めると、実施頻度に比例して体重の減少が顕著になった。成人期以降、体重は加齢に伴い増え¹³⁾、その増加が大きいほど動脈硬化に関する生活習慣病の発生が高まることが報告されている¹⁴⁾。このことから長崎21EXは体重の増加や内臓脂肪型への移行を抑え、生活習慣病の予防に役立つ可能性が示唆された。

しかしながら、体重と同様に、生活習慣病発生率と関係する体脂肪率¹⁰⁾には変化が認められなかった。長崎EX実施後にはわずかであるが平均値が0.5%増えている。体脂肪率の場合、秋から冬にかけて値が上昇しやすいと報告がある^{2,11)}。事実、長崎EX21の実施頻度が低く実行群に含まれなかった対象者(n=6)では平均1.4%の増加がみられた。このように、実行群の体脂肪率の変化には季節的な影響が関与した可能性がある。

興味深いことに、骨密度が有意に上昇した。骨密度が上昇した理由としては、骨密度の測定部位が踵部であり、体重自体を負荷とする下半身中心の運動プログラムが足部に適度な刺激を与えたことが考えられる。しかしながら、骨密度の増加は半年や1年といった長期的な身体トレーニングによって生じる報告が多い¹⁵⁾。8週間と短期間の身体トレーニングで本研究のような効果を得たという先行研究は見当たらず、本効果を認めることは難しい。その他の生活習慣病に関連する調査項目の結果をみると、末梢循環に関連する血圧と脈派に改善傾向がみられた。自覚症状調査においても、有意な改善が認められたのは1項目(身が軽快である)だけであったが、全項目において望ましい改善傾向がみられた。

以上のことから、長崎21EXを実施することにより、体重の減少ならびに自覚症状の一部の改善が認められ、生活習慣病の予防に役立つ可能性があることが示唆された。生活習慣病の予防は体力の向上とは異なり、強度の低い運動でも運動が長時間であれば、高血圧、肥満、糖尿病の予防効果が認められると言われている⁷⁾。長崎21EXを実施することによって運動量を増やすことにより、摂取と消費のエネルギーバランスを適正にするなど、生活習慣病の危険因子を減らすことが考えられる。ビデオ映像を用いた場合、運動強度の調整が難しいという欠点があるが、運動量を増やすという点については有効であり、生活習慣病の予防に結びつくことが期待される。

3) 長崎21EXの実施頻度と対象年齢について

長崎21EXを8週間実施した場合、実施頻度に比例して体重の減少および体力の向上が顕著になった。ただし体重の減少と実施頻度の回帰直線(図2)によると、体重の増減は週1.8回を越えてからマイナスとなっている。また、体力測定の実合得点の増減と実施頻度との関係を

みると、週2回前後では実合得点が増加しない者も少なくなく、週3回以上では全員が増加している(図4)。つまり、体重の減少や体力向上の身体的効果を確実に得るためには両者とも週3回以上の実践が必要であると考えられる。

週3回の頻度だと日本の厚生労働省が推奨している健康づくりのための運動所要量³⁾を満たすこともできる。残念ながら、長崎21EXの依頼先(長崎県)の要望である週2回の頻度で効果が現れることに対しては、叶えることはできなかった。週2回で明確な効果を得るためには、前述したようなビデオ映像の欠点を解決することなど見直しを行う必要がある。

長崎EX21は30歳代から50歳代を対象として作成された。体力の向上は実践前の体力レベルの影響が大きかった。体力レベルが高かった2名(両者とも実行群)の新体力テスト実合得点は長崎21EX実施後得点が増えていない(図3)。これらの者には長崎21EXの運動量が不十分であったと思われる。それに対し、実合得点が40点未満の者は長崎21EX実施後に実合得点が向上している。実合得点40点は体力年齢約30歳に相当する。つまり、体力年齢が約30歳以上の者にとっては、長崎21EXが体力を向上させるのに適当な運動量であることを示唆している。

4) まとめ

長崎21EXはビデオ映像を見ながら行う家庭用運動プログラムとして作成された。家庭でビデオ映像を用いた運動を行う場合には制約や短所があるが、プログラムを工夫することによって、体力の向上や生活習慣病の予防に役立つ可能性が示唆された。しかしながら、筋力や全身持久力は他の体力要素に比べて効果が小さかった。その原因として、ビデオ映像を用いる場合、常に同じ映像や説明が流れるため、運動強度を漸増的に高めさせることが難しかったことが一因として考えられ、今後の検討課題になろう。

謝辞

本研究の調査に協力していただいた方々、NPO法人健康運動指導士会長崎支部の方々に深く感謝いたします。本研究は平成14年度県立長崎シーボルト大学学長共同教育研究費の補助を受けた。

引用文献

- 1) American College of Sports Medicine Position Stand (1998) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexi-

- bility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30: 975-991
- 2) 石樽清司、大城順子、柴田純子 (1980) 女子大生の
脂厚-季節変化並びに運動クラブ活動の影響-. *体
力科学* 29: 205-212
 - 3) 健康づくりのための運動所要量検討会 (2000) 健康
づくりのための運動所要量策定検討会報告書、第六次
改定日本人の栄養所要量. 第一出版: 193-198
 - 4) 菊地邦雄、山崎昌廣、高橋裕美、石井好二郎、土路
恭子、村木里志 (1994) 中高齢者の体力に及ぼすトレ
ニングの影響に関する縦断的研究. *体力科学* 43: 648
 - 5) 文部科学省 (2000) 新体力テスト-有意義な活用
のために. ぎょうせい
 - 6) 村木里志、椎葉浩亮、田村桂子、西尾和子 (2003) 地
域住民・学生・教員の地域共生を目的としたフィット
ネス教室の開催. *体育・スポーツ教育研究* 4: 12-17
 - 7) 村山正博、太田壽城、小田清一 (1991) 有酸素運動
の科学. 朝倉書店
 - 8) 長崎県福祉保健部健康政策課 (2001) 「健康ながさ
き21」-長崎県健康づくり計画-. 長崎県
 - 9) 長崎県福祉保健部健康政策課 (2001) 県民健康意識
調査報告書. 長崎県
 - 10) 日本肥満学会・肥満症治療のてびき編集委員会編
(1997) 肥満・肥満症の指導マニュアル. 医歯薬出版
 - 11) 島本英樹、田中喜代次、安達幸生 (1998) 減量プロ
グラムの成果にみられる季節差. *体力科学* 47: 509-
516
 - 12) 田原靖昭、村木里志、NPO 法人日本健康運動指導
士会長崎県支部(監修) (2002) 健康ながさき21エクサ
サイズ(映像 VHS 版. 32分および解説書)、長崎県福
祉保健部健康政策課
 - 13) Tahara Y, Moji K, Aoyagi K, Tsunawake N,
Muraki S, Mascie-Taylor CGN (2002) The Age-
related pattern of body density and body composi-
tion for Japanese men and women between 18 and
60 years. *Am. J. Human Biol.* 14: 743-752
 - 14) Tokunaga K, Matsuzawa Y, Kotani K, Keno Y,
Kobatake T, Fujioka S, Tarui S (1991) Ideal body
weight estimated from the body mass index with
the lowest morbidity. *Int. J. Obes.* 15: 1-5
 - 15) Wolff I, van Croonenborg JJ, Kemper HCG,
Kostense PJ, Twist JWR (1999) The Effect of
Exercise Training Programs on Bone Mass: A
Meta-analysis of Published Controlled Trials in
Pre- and Postmenopausal Women. *Osteoporos. Int.*
9: 1-12

(平成16年9月28日受付)
(平成17年3月7日受理)

九州体育・スポーツ学会事務局ニュース（平成17年度第1号）

April 2005 九州体育・スポーツ学会

I. 九州体育・スポーツ学会 新・旧合同理事会及び総会議事要旨

H16.9.4 九州産業大学にて 理事会・総会開催

開会挨拶・学会会長挨拶・大会委員長挨拶・議長選出（現理事長）

（議事要旨）

1. 報告事項

- 1) 九州体育・スポーツ学会平成16・17年度理事選挙結果報告
選挙結果について報告がなされた。
- 2) 各種委員会報告
各種委員会別に平成15年度各種委員会活動報告がなされた。
 - (1) 総務委員会報告
 - (2) 大会企画委員会
 - (3) 研究推進委員会
 - (4) 編集委員会
- 3) 日本体育学会理事会・代議員会報告（徳永会長）
徳永会長より、平成16年度（社）日本体育学会総会議事録をもとに報告がなされた。
- 4) 日本体育学会第54回大会（主管：熊本大学）報告
日本体育学会第54回大会（主管：熊本大学）無事終了した旨の報告がなされた。
- 5) その他

2. 協議事項

- 1) 平成15年度事業報告（本部事務局）
平成15年度事業報告について、承認された。
- 2) 平成15年度決算・監査報告（本部事務局、監査委員）
平成15年度決算について、承認された。【資料1.】
- 3) 課題研究助成選考結果について
課題研究助成は、特定の研究課題について学会が奨励するものではなく、応募による個別研究の研究助成であることの趣旨説明がなされ、課題研究助成の「課題」の文言を削除することが望ましい旨提案がなされ、承認された。
- 4) 平成16年度九州体育・スポーツ学会賞について（研究推進委員会）
16年度は該当者がいない旨報告があった。
- 5) 九州支部選出代議員選挙結果報告（学会事務局）
橋本公雄氏、照屋博行氏の2名を九州支部選出代議員として、（社）日本体育学会本部にて報告した。
- 6) 新理事会編成のための役員選挙（16・17年度選出理事の互選）
平成16・17年度理事が選出された。なお、佐久本 稔氏は、既に本会顧問に就任されているので、理事名簿から除外することとし、順位17位の原田奈名子氏まで、選挙結果による理事就任を要請した。さらに会長推薦理事として、会長が西本一雄、根上 優、中川保敬、満園良一氏を指名した。平成16・17年度理事の編成が承認された。さらに1名の理事指名については、会長に一任した。

7) 新会長による新理事補充及び地域代表理事の指名

新会長による新理事補充及び地域代表理事の指名がなされた。

8) 規約の改正（総務委員会）

規約の改正が提案され、承認された。なお、新しい規約は、第54回大会号に掲載することとした。

9) 次期（平成18・19年度）理事選挙の日程について（本部事務局）

次期（平成18・19年度）理事選挙日程を、次期（社）日本体育学会代議員選挙以前に九州体育・スポーツ学会平成18・19年度理事選挙を実施することが承認された。

10) 名誉会員の推薦（総務委員会）

名誉会員として、生田清衛門氏が推薦され、承認された。

11) 平成17年度各種委員会・事務局事業計画（案）

平成17年度各種委員会・事務局事業計画（案）が提示され、10月下旬の新理事会までに、各種委員会を編成することになった。

(1) 総務委員会

(2) 大会企画委員会

(3) 研究推進委員会

(4) 編集委員会

(5) 本部事務局

12) 平成17年度予算（案）（本部事務局）

会計担当理事より、平成17年度予算（案）【資料2.】が提示され、承認された。

13) 平成17年度第54回九州体育・スポーツ学会大会および開催期日について（大会企画委員会）

第54回九州体育・スポーツ学会大会は、大分大学の主管（会場）で、および平成17年9月3日（土）、4日（日）に開催されることになった。

14) その他

(1) 新入会員について（本部事務局）

新入会員16名が承認された。

(2) その他

Ⅱ. 九州体育・スポーツ学会 平成18・19年度理事選挙の実施について

郵送による理事選挙（平成17年6月30日（木）消印有効）を実施いたします。今回の理事選挙の選挙人の資格は、平成17年5月1日の時点で、九州体育・スポーツ学会会員（（社）日本体育学会九州支部に所属する方を含む）の方です。なお、新入会員の方には、選挙関係書類（投票用紙等）を送付いたしませんので、ご了承下さい。

Ⅲ. 九州体育・スポーツ学会第54回大会について

平成17年度 九州体育・スポーツ学会第54回大会へのご案内（第2報）

平成16年度第53回九州体育・スポーツ学会大会は、平成17年9月3日（土）、4日（日）の両日、大分大学を会場として開催されます。

詳しくは、大会当番大学である大分大学から会員の皆様に既に配布されている大会要項、研究発表申し込み要領等をご覧下さい。

なお、大会企画委員会委員長（副会長）からの伝達事項（以下の囲みの中の文章をご参照下さい。）がございますが、昨年同様、第54回大会にて研究発表される場合、共同研究者もすべて大会参加費を納入していただきます。会員の皆様にご理解下さいますようお願いいたします。

演者および共同研究者の大会参加費の納入について、平成15年の学会大会の総会において、「九州体育・スポーツ学会大会の開催に関する覚書」第14条の一部改正案が承認されました。その結果、研究発表者とその共同研究者は大会参加費を納入することが義務付けられました。これは、共同研究者も全員学会大会に参加すべきであるとの考え方に基づくものです。このことにより、学会大会の当番大学が事前に大会参加費を徴収することになりますので、よろしくご協力のほどお願いします。

副会長（大会企画委員会）金崎良三

Ⅳ. 平成17年度 九州体育・スポーツ学会研究助成制度について

17年度の課題研究助成について、下記の囲みの要項に基づき応募いたします。申請書書式（様式1）のファイル（MS-WORD）が必要な場合は、事務局長まで E-mail でご連絡下さい。

平成17年度 九州体育・スポーツ学会研究助成応募要項

1. 応募申請者の資格 九州体育・スポーツ学会所属の会員であること。共同研究者もこれに準ずること。
2. 応募方法 (様式1) の申請書で応募すること。(申請書は、下記の E-mail アドレスまで請求して下さい。)
3. 応募締め切り日 平成17年6月30日とする。
4. 申請書請求・送付先 〒811-4192 福岡県宗像市赤間文教町1番1号
福岡教育大学 保健体育講座内
九州体育・スポーツ学会事務局
事務局長 照屋博行
TEL 0940-35-1457 FAX 0940-35-1709
E-mail hiroteru@fukuoka-edu.ac.jp
5. 選考方法 九州体育・スポーツ学会研究助成施行細則による。但し、選考は2件までとする。
6. 選考結果の通知 平成17年9月上旬までに本人あて文書で通知する。
7. 助成の金額 総額で40万円とする。
8. 研究成果の報告 助成を受けた団体・個人は、翌年度の九州体育・スポーツ学会において成果を報告すること。
9. 留意事項 ① 原則として研究は、一度の報告で結論、主張がまとめられていること。
② 応募は研究者1名につき1件のみとする。
③ 提出された申請書は返却しない。
10. 留意事項 今年度は、1) 九州体育・スポーツ学会の研究推進委員会が公募する「課題研究」の研究助成1件と。2) 会員の申請するこれまでどおりの研究助成1件を予定しています。期日までに、「課題研究」の研究課題が公募されない場合は、従来どおりとします。

Ⅴ. 『九州体育・スポーツ学会50年史』のご購入について

『九州体育・スポーツ学会50年史』を、会員の皆様に購入いただきたく再度ご案内申し上げます。理事会・総会で一冊1,500円（郵送料340円）の価格が決まりました。また、事務局に残部のある40年史と合わせて、『九州体育・スポーツ学会50年史』及び『九州体育・スポーツ学会40年史』のセットの価格で2,000円（郵送料450円）でご購入いただけます。郵便振替にて価格と郵送料を合計した金額（50年史の場合は1,840円、セットの場合は2,450円）を郵便振替でご送金いただければ、郵送いたします。同封の郵便振替払込取扱票をお使いになると、払込手数料がいりません。

郵便振替口座 01970-4-26460 (左記の口座記号・口座番号を右詰でご記入下さい。)

加入者名：九州体育・スポーツ学会

(40年史あるいは50年史購入希望の旨を通信欄にご記入下さい。)

事務局長 照 屋 博 行

Ⅵ. 九州体育・スポーツ学研究第20巻第1号への投稿について

既にご連絡しておりますように、九州体育・スポーツ研究第20巻第1号の投稿締め切り日は、平成16年6月30日必着とします。原稿送付先は、学会事務局(福岡教育大学 保健体育講座)です。原稿は、〒811-4192 宗像市赤間文教町1-1 福岡教育大学 保健体育講座気付「九州体育・スポーツ学会事務局 照屋博行」宛にお送り下さい。投稿は、年間を通じて受け付けています。投稿原稿送付先が学会事務局事務局長宛となっておりますので、ご注意下さい。会員の皆様には、投稿のご準備をお願いいたします。

Ⅶ. 平成17年度会費納入のお願い(郵便振替で会費納入されている方)

平成17年度九州体育・スポーツ学会年会費5,000円を下記の郵便振替口座へ振り込み願います。今回、会費納入のお願いをしている会員は、通常、郵便振替にて納入されている方です。同封の郵便振替払込取扱票をお使いになると、払込手数料がおりません。50年史のご購入代金と合わせて、年会費を払い込みの場合は、その旨通信欄にお書き下さい。

((社)日本体育学会の九州支部に所属され、支部会費を本部会費と同時にご指定の銀行口座から引き落とし手続きをされている会員を除きます。)なお、行き違いの際は、ご容赦下さい。

郵便振替口座 01970-4-26460 (左記の口座記号・口座番号を右詰でご記入下さい。)

加入者名：九州体育・スポーツ学会

但し、次の会員は、会費納入の手続きは必要ありません。

- (1) 名誉会員の方
- (2) 日本体育学会会員で、既に会費納入のため銀行口座からの自動引き落としの手続きをされている方。
- (3) 大学院の学生で、すでに2年分の会費を納入した方。学生会員は、入会時に年度会費5,000円を納入していただいています。これは、学生会員の年度会費2年分です。学生会員は、2年間を原則としています。従って、2年を過ぎると学生会員の資格を失いますので、博士課程に進学された学生会員は、一般会員(年会費5,000円)となります。

尚、ご不明な点は、九州体育・スポーツ学会事務局へファックスでお知らせ下さい。

Ⅷ. 昨年、学生会員として入会され、今年度で学生会員の資格2年目の方へのご連絡

昨年、学生会員として入会され、今年度で学生会員2年目の方は、17年度会費納入の必要がありません(初年度に2年分納入されています。)(社)日本体育学会から銀行・郵便局口座引き落としにて会費を納入されている方は、超過納入されることになりますので、超過分を返金しています。その場合、事務局まで、ご氏名・所属(所属大学院)をファックスでお知らせ下さい。納入状況を当方で調べまして、返金手続きを行います。

九州体育・スポーツ学会事務局

〒811-4192 福岡県宗像市赤間文教町1-1 福岡教育大学
保健体育講座内九州体育・スポーツ学会事務局
事務局長 照 屋 博 行
Tel. 0940-35-1457 FAX 0940-35-1709
E-mail hiroteru@fukuoka-edu.ac.jp

【資料1.】

平成15年度 一般会計決算

・収入の部 4,856,121円 ・支出の部 4,125,323円 ・残金の部 730,798円

収入の部

款	項	目	予算額	決算額	備 考	増減(予算-決算)
1. 会 費			2,610,000	2,457,000		153,000
	会 費		2,610,000	2,457,000		153,000
		年会費	2,600,000	2,425,000	485名	175,000
		入会金	10,000	32,000	51名	△ 22,000
2. 繰越金			1,300,000	810,021		489,979
	繰越金		1,300,000	810,021		489,979
		繰越金	1,300,000	810,021	前年度より繰越	489,979
3. 雑収入			65,000	1,589,100		△1,524,100
	雑収入		65,000	1,589,100		△1,524,100
		広告料	0	0		0
		50年史印刷費	0	976,500	(特別会計より)	△ 976,500
		課題研究助成金	0	400,000	(特別会計より)	△ 400,000
		支部補助金	50,000	50,000	日本体育学会本部より	0
		記念誌売上	0	58,000	40年史及び50年史売り上げ	△ 58,000
		その他	15,000	104,600	計算利息(解約時利息)	△ 89,600
	合 計		3,975,000	4,856,121		△ 881,121

支出の部

款	項	目	予算額	決算額	備 考	増減(予算-決算)
1. 事務費			1,030,000	1,579,778		△ 549,778
	事務局経費		930,000	979,890		△ 49,890
		人件費	100,000	108,000	庶務・会計・編集等作業謝金等	△ 8,000
		交通費	400,000	271,264		128,736
		印刷費	100,000	99,015	封筒、振替用紙等	985
		通信費	30,000	158,850		△ 128,850
		消耗品費	150,000	228,541	文具、事務用品、パソコンソフト他	△ 78,541
		諸 費	150,000	114,220	韓国からの招待者への謝礼、宅急便代他	35,780
	会議等経費		100,000	599,888		△ 499,888
		総務委員会	0	87,080	交通費、お茶代等を含む	△ 87,080
		理事会	50,000	299,200	交通費、理事の昼食代を含む	△ 249,200
		大会企画委員会	25,000	29,650	交通費、お茶代等を含む	△ 4,650
		研究推進委員会	25,000	57,000	交通費、お茶代等を含む	△ 32,000
		編集委員会	50,000	50,000	交通費、お茶代等を含む	0
		50年史編集委員会	0	76,958	交通費、お茶代等を含む	△ 76,958
2. 事業費			1,300,000	1,845,545		△ 545,545
	刊行費		600,000	1,345,545		△ 745,545
		機関誌刊行費	500,000	262,500	九州体育・スポーツ研究第17号	237,500
		50年史刊行費	0	976,500	九州体育・スポーツ学会50年史	△ 976,500
		会報等刊行費	100,000	106,545	会報 平成15年度第1号	△ 6,545
	補助費		700,000	500,000		200,000
		大会補助費	500,000	500,000	第52回大会	0
		学会賞運営費	200,000	0		200,000
4. 補助金			0	400,000		△ 400,000
	補助金	課題研究助成金	0	400,000	200,000円×2件	△ 400,000
5. 積立金			300,000	300,000		0
	積立金					
		積立金	300,000	300,000		0
6. 予備費			1,345,000	730,798		614,202
	予備費		1,395,000	730,798		614,202
		予備費	1,395,000	730,798	次年度への繰越等	614,202
	合 計		3,975,000	4,856,121		△ 881,121

平成15年度 特別会計決算

	項 目	金 額	備 考
1. 収入の部	前期積立金額	1,453,300	郵便定額預金
	利息	104,600	計算利息（解約時利息）
	当期積立金額	300,000	
	合計	1,857,900	
2. 支出の部	50年史印刷費	976,500	
	課題研究助成金	400,000	2件分（200,000×2）
	利息	104,600	計算利息（解約時利息）
	当期総支出額	1,481,100	一般会計へ（「雑収入」へ）
3. 繰越の部	次期繰越金額	376,800	

監査の結果、適正に執行されているものと認めます。

平成16年8月30日

千 綿 俊 機
(印省略)

赤 間 英 夫
(印省略)

【資料 2.】

平成17年度 一般会計予算

・収入の部 3,410,000円 ・支出の部 3,200,000円

収入の部

款	項	目	平成17年度	平成16年度	備 考	増減 (17-16)
1. 会費			2,610,000	2,610,000		0
	会費		2,610,000	2,610,000		0
		年会費	2,600,000	2,600,000	5,000円×520名	0
		入会金	10,000	10,000	1,000円× 10名	0
2. 繰越金			750,000	750,000		0
	繰越金		750,000	750,000		0
		繰越金	750,000	750,000	前年度より繰越	0
3. 雑収入			50,000	50,000		0
	雑収入		50,000	50,000		0
		広告料	0	0		0
		体育学会補助金	50,000	50,000	日本体育学会本部より	0
		その他	0	0		0
合 計			3,410,000	3,410,000		0

支出の部

款	項	目	平成17年度	平成16年度	備 考	増減 (17-16)
1. 事務費			1,200,000	1,080,000		0
	事務局経費		600,000	680,000		△ 80,000
		人件費	100,000	100,000	庶務・会計・編集等作業謝金等	0
		交通費	100,000	200,000		△100,000
		印刷費	100,000	100,000	封筒, 振替用紙等	0
		通信費	100,000	30,000		70,000
		消耗品費	100,000	150,000		△ 50,000
		諸費	100,000	100,000	会費返却等	0
	会議等経費		600,000	400,000		200,000
		理事会	200,000	0		200,000
		総務委員会	100,000	100,000		0
		大会企画委員会	100,000	100,000		0
		研究推進委員会	100,000	100,000		0
		編集委員会	100,000	100,000	通信費等を含む	0
2. 事業費			1,300,000	1,400,000		△100,000
	刊行費		600,000	700,000		△100,000
		機関誌刊行費	500,000	700,000	九州体育・スポーツ研究21, 22	△200,000
		会報等刊行費	100,000	0		100,000
	補助費		700,000	700,000		0
		大会補助費	500,000	500,000		0
		学会賞運営費	200,000	200,000		0
4. 補助金			400,000	350,000		50,000
	補助金		400,000	350,000		50,000
		分科会補助金	0	0		0
		課題研究助成金	400,000	350,000		50,000
5. 積立金			300,000	300,000		0
	積立金		0	0		0
		積立金	300,000	300,000		0
6. 予備費			210,000	280,000		△ 70,000
	予備費		210,000	280,000		△ 70,000
		予備費	210,000	280,000	次年度への繰越等	△ 70,000
合 計			3,410,000	3,410,000		0

平成17年度 特別会計予算

	項 目	金 額	備 考
1. 収入の部	前期積立金額	676,800	郵便預金
	利息	0	見込計算利息
	当期積立金額	300,000	郵便預金
	合計	976,000	
2. 支出の部	当期総支出額	0	
3. 繰越の部	次期繰越金額	976,800	

編 集 後 記

九州体育・スポーツ学研究は、年間2号の発行を目指していました。計画どおりここに19巻の2号をお届けすることができました。内容も総説1編、原著論文4編、短報1編、資料1編の7編を掲載することができ、充実したものになっています。

先般の編集委員会では今後は可能な限り総説を掲載することを申し合わせ、各分野で研究を蓄積しておられる方々に執筆をお願いしています。今回は、筋運動時の機械的効率についての研究動向について執筆いただきました。会員の皆様には是非総説も視野におかれて、自薦・他薦を問わず投稿していただければ幸いです。

ところでわが国では2007年には「団塊の世代」の大量退職時代にさしかかり、第2の人生を模索する人々の存在が注目されます。これと相まって高齢者の介護問題と新たに「筋力トレーニング」の実践が推奨されつつあります。人口構造から見て大多数をしめる「元気な高齢者」を支える方策についても運動・スポーツの面から取り組む必要があろうかと考えられます。

社会の様々なニーズに応える研究とともに、その成果を是非本誌に投稿されますよう期待しております。

(小原 達朗)

編 集 委 員 会

進 藤 宗 洋(委員長)	小 原 達 朗(副委員長)	中 川 保 敬
西 村 秀 樹	松 永 恵 子	満 園 良 一

Editorial Board

M. Shindo(Editor-in-Chief)	T. Obara(Editor-in-Sub.Chief)	Y. Nakagawa
H. Nishimura	K. Matsunaga	R. Mitsuzono

平成17年5月25日 印刷
平成17年5月31日 発行

非 売 品

発 行 者 徳 永 幹 雄

発 行 所 九州体育・スポーツ学会

所 在 地 〒811-4192 福岡県宗像市赤間文教町1-1
福岡教育大学 保健体育講座内
九州体育・スポーツ学会事務局
事務局代表者の氏名 照屋博行(事務局長)
Fax 0940-35-1709(保健体育講座共通)

郵便振替 番号 01970-4-26460
名称 九州体育・スポーツ学会

印 刷 所 城島印刷有限会社
〒810-0012 福岡市中央区白金2-9-6
電話 092-531-7102



Kyusyu Journal of Physical Education and Sport

Contents

Review

- Mechanical efficiency during muscular contractions
— old and recent lessons — 1

Originals

- A study on the enjoyment of sports culture 11
- A study on causal-relationships between systematic PE lesson
and psychosomatic status among a sample of public elementary
school children 19
- Characteristics of Electromechanical Delay in the elderly 29
- Change of acute treadmill running on liver MDA and blood glycated
LDL, lipid profiles in streptozotocin induced diabetic rats 37

Short communication

- Assessment of paralyzed walking movement
using Load Sensors, Gyro Sensors and Acceleration Sensors 45

Research Materials

- Effectiveness of home exercise program using a video tape
recording for Kenko Nagasaki 21 Exercise 49

- News 57