

大学生に対するインターバル速歩トレーニングの効果

The Effects of High-Intensity Interval Walking Training on Physical Fitness in University Students

田邊愛子*^{1,2}・源野広和*²・根本賢一*³・
岡崎和伸*^{1,2}・増木静江*¹・能勢 博*^{1,2}

〈目次〉

1. はじめに
2. 実験方法
3. 解析
4. 結果
5. 考察
6. 結論
7. 謝辞
8. 参考文献

* 2006年9月26日第61回日本体力医学会にて口頭発表

* 1) 信州大学大学院医科学系研究科スポーツ医科学分野

* 2) NPO法人熟年体育大学リサーチセンター

* 3) 松本大学人間健康学部

Abstract

We studied whether high intensity interval walking (HIWT) increased physical fitness in undergraduate students of Matsumoto University. Ten men and 73 women (~19 years old) performed HIWT, repeated 3-minute high-intensity walking at $\geq 70\%$ of peak aerobic capacity for cycling (CVO_{2peak}) followed by 3-minute low-intensity walking at $\leq 40\%CV O_{2peak}$, at the target of ≥ 60 min of high-intensity walking per wk, for 83 days. The energy expenditure during HIWT was monitored by tri-axial accelerometry. Before and after training, isometric and isokinetic knee extension (F_{EXT}) and flexion (F_{FLX}) forces, and $CV O_{2peak}$ were measured. In addition, to confirm that the targeted intensity for fast walking determined by cycling was matched to that by walking, peak aerobic capacity for walking (WVO_{2peak}) was measured in subjects wearing a vest with 10kg for men and 5kg for women. The results were analyzed after dividing them into 3 groups of subjects; low (L), Middle (M), and high (H) CVO_{2peak} before training ($L < \text{mean} - 1SD \leq M \leq \text{mean} + 1SD < H$). We found that WVO_{2peak} were highly correlated with CVO_{2peak} ($R^2 = 0.475$, $P < 0.0001$). High-intensity walking time (min) per wk was 14.2, 8.8, and 5.4 in L, M, and H, respectively, with significantly higher in L than M and H ($P < 0.05$) while no significant differences in total walking time between groups. CVO_{2peak} increased by 16% in L and 5% in M (both $P < 0.05$) while not in H. Isometric F_{EXT} and F_{FLX} increased by 11% both in L and M, and by 8% in H (all, $P < 0.05$). Isometric F_{EXT} increased by 18% in L, 4% in M, and 6% in H (all, $P < 0.05$). Isokinetic F_{FLX} (60 %sec) increased by 23% in L, 7% in M and 9% in H. (all, $P < 0.05$). Thus, HIWT increased physical fitness especially in students with low CVO_{2peak} . Since HIWT does not need expensive devices for exercise training, it can be broadly applied to young subjects with relatively low physical fitness.

1. はじめに

近年、若年者の体力低下が問題視されている。体力に関しては、1964（昭和39）年に、国民の体力・運動能力の現状を明らかにすることを目的に「体力テスト」が毎年実施され、「体力・運動能力調査報告書」（文部科学省）としてまとめられた。その後、1998（平成10）年に対象年齢区分やテスト項目を見直した「新体力テスト」が試行され、翌年から正式に実施された。その結果、この調査を開始した最初の10年間は毎年全体として体力・運動能力共に向上していたが、その後徐々にフラットになって、最近の15年間は年々低下しているという結果が報告されている。特に大学生の年代は50m走、持久力走などの項目で年々低下傾向にある^{1,2)}。

さらに、1995年に全国の国立大学95校の学部生461,862名を対象とした健康診断の結果、生活習慣病の一つとされる高血圧症の学生数が増加しており、さらに彼らは、正常血圧の学生に比べて、肥満傾向にあるとの報告がされている³⁾。このように、体力と生活習慣病の発症は密接に関係している。

では、若者の体力を維持するにはどうすればよいのか。一般に、運動部に所属しているか⁴⁾、スポーツクラブに通うなど何らかの方法で週に1日以上運動する機会のある学生は、運動をする機会が週に1日未満の群に比べ、体力テストの合計点が高いことも報告されている^{1,5)}。さらに、学校時代に運動部・クラブ活動へ積極的に参加することが、その後の運動習慣を確保することにつながり、生涯にわたって高い水準の体力を維持する要因の一つとなっていることも報告されている⁶⁾。

このように、学生が1週間に1日、短期間の運動をするだけで、体力維持、生活習慣病予防に効果があると考えられる⁶⁾。そして、約90%の学生は学生生活にとって、スポーツは必要かどうかに関しても必要であると答えている⁷⁾。しかし、最近の多くの学生は、特に女子学生では運動に関する興味はあるが運動をすることの意味を理解していない、集団行動を嫌う、運動の習慣化がない、といった傾向をもつ⁸⁾。一方、現在の大学においては、これらの運動嫌いの学生に対して手軽に実践でき、かつ確実な効果が得られる運動プログラムは十分に提供されているとはいえない。

一方、現在、松本市熟年体育大学では、中高年者を対象にインターバル速歩トレーニングを実施しているが、これによって運動習慣のなかった中高年に運動習慣がつき、心肺持久力、脚筋力の向上、血圧などの生活習慣病発症因子の改善が認められた^{9,10,11)}。一方、松本市熟年体育大学の参加者の筋力、持久力が、最近の若年者のうち比較的低位力者のそれらのレベルと一致していることを認めた。

そこで、本研究の目的は、若年者を対象としたインターバル速歩トレーニングは、低位力者は高位力者に比べ、筋力、持久力がより大きく亢進するのではないかと、という仮説を検証することを目的とした。

2. 実験方法

2-1: 被験者

被験者は、松本大学松商短期大学部に在学する健常者83名(男性10名、女性73名)、年齢18~22歳とした。各被験者は、信州大学医倫理委員会の規定に基づき、文書及び口頭で実験の内容・趣旨の説明を受け、各個人のインフォームドコンセントを得た後に実験に参加させた。医倫理委員会では、事業の一環で本事業を行うに際し、通常、今回のインターバル速歩トレーニングによる運動量は国際的に若年者に推奨されているレベルであって、決して過度のトレーニング負荷を強要するものではないことを説明した。

学生に対しては、本実験は、「生涯スポーツ」授業の一環として、各人のトレーニング実施率とデータ転送出席率に応じて成績評価を行うとした。また、トレーニング量の上位者には生協券を出すと教示して、インセンティブを与えた。被験者のトレーニング前の身体特性を表1に示した。

表1 身体特性

n	身長(cm)	体重(kg)	BMI	最大酸素摂取量 (ml/min)	等尺性膝伸張力 (Nm)
66	160.2±0.8	54.5±1.2	21.2±0.4	1652.1±52.7	138.9±4.9

グループ	n	身長(cm)	体重(kg)	BMI	最大酸素摂取量 (ml/min)	等尺性膝伸張力 (Nm)
LVO,群	3 M0 F0	156.1±1.8	46.2±1.5 ^{**}	18.5±0.6 ^{***}	1107±29 ^{***}	99.1±8.7 ^{***}
MVO,群	47 M3 F44	159.8±0.9	54.0±1.1	21.1±0.4 ^{**}	1593±35 ^{**}	141.4±5.4
HVO,群	10 M4 F4	163.9±2.5	64.4±4.2	23.9±1.4	2422±73	163.4±12.0

被験者 66 名の平均値±標準誤差で表す。

2-2: 実験プロトコール

図1に実験プロトコールを示した。

実験期間は2005年8月23日から同年12月26日までとした。まず、8月22日に説明会を開いた後、8月23日から9月10日までの期間中に、城西病院で自転車エルゴメータによる最高酸素摂取量(VO_{2peak})測定とBiodexによる脚筋力測定を、それぞれ実施した。9月17日には松本大学体育館にて、形態測定、血液検査、熟大メイトによる持久力測定、脚筋力推定測定を実施した。トレーニング期間は9月29日から12月10日までの83日間とした。

トレーニング効果の判定用に、城西病院での VO_{2peak} 測定と脚筋力測定を、12月1日~9日、及び、

12月11日～26日に実施した。また、12月10日には、松本大学体育館にて形態測定、血液検査、熟大メイトによる持久力測定、脚筋力測定を実施した。

トレーニング前		トレーニング後	
8月23日 ～ 9月10日	城西病院 ①形態測定 ②最大酸素摂取量測定 ③脚筋力測定	12月1日 ～ 12月9日	城西病院 ①形態測定 ②最大酸素摂取量測定 ③脚筋力測定
9月17日	松本大学体育館 ①形態測定 ②血液検査 ③熟大メイトによる持久力測定 ④脚筋力測定	12月10日	松本大学体育館 ①形態測定 ②血液検査 ③熟大メイトによる持久力測定 ④脚筋力測定
9月29日	熟大メイト配布(トレーニング開始)	12月11日 ～ 12月26日	城西病院 ①形態測定 ②最大酸素摂取量測定 ③脚筋力測定

図1 実験プロトコール

2-3：測定

2-3-1：自転車エルゴメータによる最高酸素摂取量 (CVO_{2peak}) 測定

最大酸素摂取量は、自転車エルゴメータ(Stress Test System ML-5000, フクダ電子, 東京)を用いた負荷漸増法で計測した。まず自転車エルゴメータに座らせた状態で、呼気ガス分析器(AE-280S, Minato 医科学, 東京)を装着した後、15分間以上の安静をとらせた。

その後、3分間0 watt 負荷運動をさせた後、男性の場合は、120wattsまで3分毎に60wattsずつ負荷を増加させ、その後は2分毎に30wattsずつ負荷を増加させた。女性は3分間0 watt 負荷の後、120wattsまで3分毎に30wattsずつ負荷を増加し、その後は、2分毎に15wattsずつ負荷を増加させた。測定中は60回転/分を維持させた。

最高酸素摂取量に到達したと判断した条件は、呼吸商が1.1以上になった、負荷強度の上昇にもかかわらず酸素消費量が増加しなくなった、疲労困憊となってその強度での運動継続が不可能となった、という3条件のいずれかを満たした場合とした。

2-3-2：脚筋力測定

脚筋力測定器(System3, Biodex Medical System, New York)を用いて測定した。まず、等速性(60度/秒, 120度/秒, 180度/秒)伸展筋力と屈曲筋力を計測した後、等尺性伸展筋力と屈曲筋力測定を行った。それぞれ、2回実施し、高い方の値を採用した。

2-3-3：歩行による最大酸素摂取量 (WVO_{2peak}) 測定

今回の実験では、自転車エルゴメータで求めた CVO_{2peak} に基づいて、インターバル速歩トレーニングにおける速歩レベルを決定したが、その妥当性を検証するために、歩行による最高酸素摂取量 (WVO_{2peak}) と CVO_{2peak} の比較を行った。 WVO_{2peak} の計測は、安静3分、ゆっくり歩行3分、やや速い歩行3分、最高歩行速度3分を順次行わせ(3段階歩行テスト)、最後の1分間の酸素摂取量を最高酸素摂取量と捉えた¹⁰⁾。

携帯型運動量測定装置(熟大メイト, SANYO, 大阪)は3軸加速度計が内蔵されており、その力積($Itotal$)から酸素摂取量を推定できる¹³⁾。また、イヤースンサにより脈拍数を計測できる。したがって最後の1分間の力積から最高酸素摂取量を推定するとともに、その時の運動負荷を脈拍数から判定した。この3段階歩行テストでは、呼気ガス分析器(MetaMax3B, コールテックス, ライプチヒ)を用いた酸素摂取量計測も同時に実施した。

予備実験において、3段階歩行テストを用いて学生45名（男性5名、女性40名）を計測した結果、最大心拍数（HRmax）は 136 ± 3 beats/min となり、この年齢予測最大心拍数200 beats/min の68%程度となった。一方、同じ被験者について、ウェイトベストを着用させて計測した結果では、最大心拍数は 146 ± 2 beats/min となり、より高い運動負荷になることが明らかになった。そこで、本実験では、男性10kg、女性5kgのウェイトベストを服の上から着用させて計測を行った。

2-4: トレーニング指導

自転車エルゴメータによる最高酸素摂取量測定値（ $\text{CVO}_{2\text{peak}}$ ）の70%をエネルギー量（kcal/min）に換算し、それをトレーニングの目標値として熟大メイトに設定した。熟大メイトはトレーニング中の運動エネルギーを1分毎に計測し、目標値を超えた場合は「祝福音」が鳴る機能を有している。

トレーニングは、ゆっくり歩行と速歩（目標値を超える速度）を約3分間ずつ繰り返すインターバル歩行とし、1日あたりの速歩時間ができるだけ多くなるように指導した。

熟大メイトで計測したトレーニングデータ（運動量）は、授業の一環で約2週間に一度サーバに転送するとともに、その波形からトレーニング状態を把握して継続を促した。

3. 解析

3-1: 解析方法

低体力者では高体力者に比べインターバル速歩の体力増進効果が高いことを検証するため、被験者を初期体力によって、3つの群にわけて実施した。すなわち $\text{CVO}_{2\text{peak}}$ の初期値で、平均-1標準偏差（SD）以下を LVO_2 群、平均±1SDの範囲を MVO_2 群、平均+1SD以上を HVO_2 群とし3群で解析をした。

3-2: 統計処理

統計解析ソフトウェア（Stat View5.0, SAS Institute Inc）を用いた。測定値の群間の有意差検定は2元分散分析法、トレーニング前後の有意差の検定は反復測定における2元分散分析法を用いて行い、有意差を認めた測定項目について、post-hocテストとしてFisher's LSDテストで検定した。この際、 $P < 0.05$ のレベルで有意差ありと判定した。測定値は特に断らない限り、平均値±標準誤差（SE）で表した。

4. 結果

4-1: 測定結果

4-1-1: 身体特性

表1に身体特性を、 LVO_2 群、 MVO_2 群、 HVO_2 群の3群別に示した。体重について、 LVO_2 群は、 HVO_2 群に比べて低かった（ $P < 0.01$ ）。同様にBMI、等尺性膝伸展筋力についても LVO_2 群は、他の2群と比較して低かった（ $P < 0.05$ ）。

4-2-2: トレーニング量

表2にトレーニング量を示した。83日間の全トレーニング日数に対するインターバル速歩を実施した日数の割合は、約20%であり、3群ともに1日の歩行時間は60分以上であった。また、表には示していないが、女性のみで $\text{CVO}_{2\text{peak}}$ の初期値で3群にわけて解析すると1日あたりの速歩時間が、4.8分よりも長かった（ $P < 0.01$ ）。

表 2

グループ	n	ウォーキング 実施日数(日)	普通歩行時間 [分/日]	速歩時間 [分/日]	普通歩行 消費エネルギー [kcal/日]	速歩 消費エネルギー [kcal/日]	
LVO ₂ 群	9	M0 F9	172 ± 38	50.5 ± 20.7	142 ± 2.9	27.6 ± 8.5	42.0 ± 7.9
MVO ₂ 群	47	M3 F44	163 ± 19	63.3 ± 14.8	8.8 ± 1.1	62.1 ± 10.2	42.6 ± 5.9
HVO ₂ 群	10	M6 F4	171 ± 4.1	59.5 ± 33.4	5.4 ± 2.3	69.4 ± 18.6	48.2 ± 23.9

vs : MVO₂ 群との比較 \$: P<0.05, \$ \$: P<0.01

vs : HVO₂ 群との比較 † † : P<0.01

4-2-3:形態測定結果

表 3 に、全体の結果と LVO₂群, MVO₂群, HVO₂群についての体重, 体脂肪率, BMI の結果を示した. 体重・BMI において全体で増加し (P<0.01), 3 群で, すべて増加した (P<0.05). 群間で比較してみると, 体重では LVO₂群が3.9%増加し, MVO₂群の1.0%と比較して有意に高かった (P<0.05).

表 3

項目	グループ	n	形態測定結果		
			pre	post	%Δ
体重 (%)	LVO ₂ 群	9	46.2 ± 1.5	48.1 ± 1.9**	3.9 ± 0.9†
	MVO ₂ 群	47	54.0 ± 1.2	54.5 ± 1.2*	1.0 ± 0.5
	HVO ₂ 群	10	64.4 ± 4.3	65.9 ± 4.3**	2.3 ± 0.8
体脂肪率 (%)	LVO ₂ 群	9	23.6 ± 1.5	25.0 ± 2.0**	5.1 ± 3.1
	MVO ₂ 群	47	28.0 ± 1.0	28.6 ± 1.1	1.8 ± 1.7
	HVO ₂ 群	10	28.2 ± 2.4	29.7 ± 2.1**	7.4 ± 3.4
BMI	LVO ₂ 群	9	18.5 ± 0.6	19.2 ± 0.6**	3.6 ± 0.9
	MVO ₂ 群	47	21.1 ± 0.4	21.3 ± 0.4*	1.0 ± 0.5
	HVO ₂ 群	10	23.9 ± 1.4	24.5 ± 1.4**	2.4 ± 0.8

vs : 初期値との比較 * : P<0.05, ** : P<0.01 vs : MVO₂群との比較 \$: P<0.05,

\$ \$: P<0.01, vs : HVO₂群との比較 † † : P<0.01

4-2-4:筋力測定結果

表 4 に筋力測定結果を示した. 等尺性伸筋・屈曲筋力および等速性屈曲筋力において 3 群すべてにおいて増加した (P<0.01). 特に, 等尺性屈曲筋力においては LVO₂群で18.0%増加し, 他の 2 群と比較して, 増加率が最も高かった (P<0.05).

また, 表には示さないが, 女性のみで, 等尺性屈曲筋力を解析した結果, LVO₂群, MVO₂群, HVO₂群で, 増加率がそれぞれ18.0±4.7 %, 4.3±2.0%, 1.9±2.2 %となり, LVO₂群では, 他 2 群と比較して増加率が最も高かった (P<0.05).

等速性筋力については, 屈曲筋力で60度/秒でのみ, 有意に増加した. また, LVO₂群, MVO₂群, HVO₂群間で, LVO₂群で他群に比べ増加率が高い傾向は見られたものの, 有意差を認めなかった. また, 表には示していないが, 女性のみで同様な解析を行っても同じであった.(表 4)

4-2-5:持久力測定結果

表 5 に持久力測定結果を示した. CVO_{2peak} において, トレーニング後に LVO₂群と MVO₂群で増加した (P<0.01) が, HVO₂群では増加しなかった. また, 3 群間で増加率を比較すると, LVO₂群では, 他の 2 群と比較して最も高かった (P<0.05). さらに, 表には示さないが, 女性のみで, 同様に解析すると, LVO₂群, MVO₂群, HVO₂群で, 増加率がそれぞれ15.9±5.3 %, 6.9±2.1%, -6.5±3.0 %となり, LVO₂群では, 他 2 群と比較して増加率が最も高かった (P<0.05).

表 4

項目	グループ	n	筋力測定結果		
			pre	post	%Δ
等尺性伸屈筋力 (肘)	LVO ₂ 群	9	99.1 ± 8.7	109.1 ± 8.6**	11.2 ± 2.9
	MVO ₂ 群	47	141.4 ± 5.4	154.8 ± 6.4**	11.0 ± 2.5
	HVO ₂ 群	10	163.4 ± 12.0	176.0 ± 12.5**	8.3 ± 2.8
等尺性屈伸筋力 (肘)	LVO ₂ 群	9	44.8 ± 4.0	51.8 ± 3.9**	18.0 ± 4.7**
	MVO ₂ 群	47	64.9 ± 2.4	67.1 ± 2.7**	3.6 ± 1.6
	HVO ₂ 群	10	80.7 ± 6.9	85.1 ± 7.3**	5.9 ± 3.2
等速性伸屈筋力 (肘)	LVO ₂ 群	9	85.8 ± 5.9	93.7 ± 7.2	9.7 ± 4.6
	MVO ₂ 群	47	114.1 ± 3.8	116.4 ± 4.0	2.7 ± 1.8
	HVO ₂ 群	10	135.7 ± 9.5	139.8 ± 11.8	3.9 ± 5.9
等速性屈伸筋力 (肘)	LVO ₂ 群	9	34.4 ± 3.4	40.2 ± 3.0**	23.5 ± 12.5
	MVO ₂ 群	47	51.9 ± 1.9	54.7 ± 2.0**	6.9 ± 2.2
	HVO ₂ 群	10	67.5 ± 7.4	71.4 ± 7.0**	9.2 ± 7.2

vs : 初期値との比較** : P<0.01 vs : MVO₂群との比較\$: P<0.05, \$\$: P<0.01,vs : HVO₂群との比較† : P<0.05

表 5

項目	グループ	n	持久力測定結果		
			pre	post	%Δ
最大酸素摂取量 (ml/min)	LVO ₂ 群	9	1107 ± 29	1282 ± 64**	15.9 ± 5.3**
	MVO ₂ 群	47	1593 ± 35	1672 ± 42**	5.4 ± 1.8
	HVO ₂ 群	10	2422 ± 73	2399 ± 175	-2.0 ± 4.6
最大心拍数 (b/min)	LVO ₂ 群	9	160.4 ± 4.1	164.8 ± 4.1	3.1 ± 3.1
	MVO ₂ 群	47	174.6 ± 1.3	173.5 ± 2.0	-0.5 ± 1.1
	HVO ₂ 群	10	179.8 ± 2.8	179.0 ± 3.9	-0.4 ± 1.2
5分歩行時間 (分)	LVO ₂ 群	9	99.0 ± 6.5	87.3 ± 3.6**	-7.6 ± 9.6
	MVO ₂ 群	47	89.8 ± 2.4	85.3 ± 1.9	-1.9 ± 3.4
	HVO ₂ 群	10	90.8 ± 5.4	81.9 ± 3.5**	-6.6 ± 7.0

vs : 初期値との比較** : P<0.01 vs : MVO₂群との比較\$: P<0.05, vs : HVO₂群との比較†† : P<0.01

4-3:自転車エルゴメータ負荷と3段階歩行テストによる最大酸素摂取量の比較

図2は、CVO_{2peak}とWVO_{2peak}の関係を、両者の直線回帰式とその95%信頼限界で示す。両者は高い相関を示し (Y=1.04X+188, R²=0.477, P<0.0001), WVO_{2peak}の95%信頼限界は、867~3341 ml/minの範囲において±74~337 ml/minであった。

このことは、各個人のCVO_{2peak}に基づいて、速歩レベルを決定したことが妥当であったことを支持する。

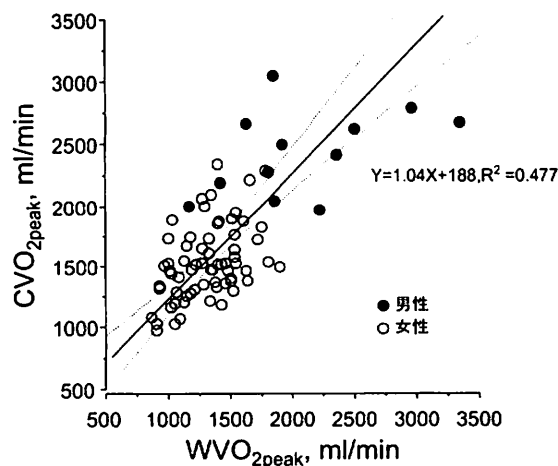


図 2 : CVO_{2peak} と WVO_{2peak} の関係

5. 考察

本研究では、一般大学生に対する12週間のインターバル速歩トレーニングが下肢筋力および $V_{O_{2peak}}$ に及ぼす影響について、トレーニング開始前の CVO_{2peak} の下位、中位、上位の3群（それぞれ、 LVO_2 群、 MVO_2 群、 HVO_2 群）において検討した。さらに、ウェイトベストを着用した3段階ステップアップ歩行テストによって測定した WVO_{2peak} と CVO_{2peak} を比較し、 CVO_{2peak} による速歩レベルの決定が、妥当であるかどうかを検証した。

主な結果は以下の点である。

- 1) 全ての群で、等尺性膝伸展筋力、等尺性および等速性膝屈曲筋力が有意に増加した。
- 2) CVO_{2peak} は、 HVO_2 群では増加しなかったが、 LVO_2 群および MVO_2 群では有意に増加した。
- 3) CVO_{2peak} と WVO_{2peak} は、ほぼ一致した。

5-1:脚筋力の増加について

表4に示したように、全ての群で等尺性膝伸展筋力、等尺性および等速性膝屈曲筋力が有意に増加した。下肢に対する筋力トレーニングによって、下肢の静的および動的筋力が増加することは、数多くの先行研究で報告されている^{15, 16, 17, 18)}が、一方、持久性トレーニングが脚筋力に及ぼす影響についての余り報告がない。事実、この研究テーマに関する初期の先行研究^{19, 20)}では、若年者に対する持久性トレーニングによって下肢の静的筋力は増加しないことが報告された。

しかし、Tabataら(1990)は、一般大学生に対して、90% VO_{2peak} 、42 kJ/kg/日、5日/週の自転車エルゴメータを用いた高強度の持久性トレーニングを7週間実施した結果、等速性下肢筋力は、高角速度(180, 240, 300度/秒)では増加しないが、低角速度(30, 60, 120度/秒)では有意に増加することを明らかにし²¹⁾、持久性トレーニングであっても、下肢の動的筋力が増加することを報告している。

さらに、我々は、中高年者を対象として、本研究と同様のインターバル速歩トレーニングを約5ヶ月間実施した結果、等尺性および等速性膝伸展および屈曲筋力が有意に増加することを報告した^{22, 23, 24)}。インターバル速歩トレーニングでは、70% VO_{2peak} 強度以上での3分間の速歩を40% VO_{2peak} 強度程度の3分間の緩歩を挟んで繰り返す運動であるが、これはACSMの中～高強度の持久性トレーニングに分類できる。また、Tabataら(1990)の指摘しているように、筋力トレーニングの観点からは、本トレーニングは低強度、高反復回数の筋力トレーニングとも捉えることが出来る。すなわち、本研究で用いた速歩、あるいは、Tabataら(1990)の高強度ペダリング運動のように、下肢に対する負荷強度が十分に高い持久性トレーニングであれば、中高年者のみならず若年者においても、筋力トレーニングと同様に下肢の静的および動的筋力が増加すると考えられる。

トレーニング後の等尺性膝屈曲筋力の増加率は、 LVO_2 群で HVO_2 群および MVO_2 群に比べて有意に高かった(表4)。また、有意差には至らなかったものの、同様の傾向が他の下肢筋力測定値においても認められた。

Tabataら(1990)は、持久性トレーニング前後の下肢動的筋力の増加率が、トレーニング前の値に基づいて決定した相対運動負荷量と有意な正の相関関係にあることを示している。すなわち、トレーニング前の筋力が低いほど、あるいは、筋力の初期値に対する相対運動負荷量が高いほど、持久性トレーニング後の筋力の増加率が高いことを示唆した。

本研究においても、 LVO_2 群の筋力の初期値は他の2群に比べて有意に低く、筋力に対して速歩の負荷が相対的に高かったために、より大きい筋力の増加が起こったと推察される。これらの事実から、インターバル速歩トレーニングは、特に、筋力の低い者に効果的であると考えられる。

筋力の増加するメカニズムについては、筋力トレーニングと同様に、筋肥大に伴う増加、あるいは

は、動員される運動単位の数の増加やその同期性が高まるなどの神経因子の改善が指摘されている^{15,25)}。すなわち、筋力トレーニングによる筋力増加においては、高強度、低反復回数のトレーニングでは神経性因子が関与する一方、中から低強度、高反復回数のトレーニングでは筋肥大が大きく関与することが知られている¹⁶⁾。

本トレーニングは低強度、高反復回数の筋力トレーニング形態であったことから、本研究の筋力増加には、筋肥大が大きく関与することが推察される。実際、我々は、中高年者に対する約5ヶ月間のインターバル速歩トレーニングによって、静的および動的膝伸展および屈曲筋力とともに、大腿四頭筋およびハムストリングスの筋断面積が有意に増加することを報告した²³⁾。またその際、筋力と筋断面積の増加率に有意な正の相関関係があることを認め、持久性トレーニングによる筋力増加には、筋肥大が関与することを示唆する結果を得た²³⁾。以上、中高年者の結果と同様に大学生においても、インターバル速歩トレーニングによって筋肥大とともに筋力が増加した可能性がある。

5-2:VO_{2peak}の増加について

表2で示すように、トレーニングの実施日数、普通歩行および速歩の時間と消費エネルギー量には各群間で有意差がなかったにも関わらず、表5に示したように、CVO_{2peak}は、HVO₂群では増加しなかったが、LVO₂群およびMVO₂群では有意に増加した。さらに、トレーニング後のCVO_{2peak}の増加率は、H群に比べてMVO₂群およびLVO₂群で有意に高かった。これらの結果は、若年者に対するインターバル速歩トレーニングは、トレーニング開始前のVO_{2peak}が中位から下位の者ではVO_{2peak}を増加するが、上位15%以上の者では増加しないことを示している。

ところで、我々は、696名の中高年者を対象として、約5ヶ月間のインターバル速歩トレーニングを実施し、その効果をトレーニング開始前のVO_{2peak}の上位、中位、下位の3群に分けて検討した結果、全ての群においてVO_{2peak}が有意に増加することを報告した²⁴⁾。この様に、若年者と中高年者で結果が異なったのは、トレーニング開始前のVO_{2peak}が、中高年者の上位群の平均値が25.8ml/kg/minであった²⁴⁾のに対し、本研究のHVO₂群の平均値は38.7ml/kg/minでと、比較的高かったことが原因と考えられる。

あるいは、本研究において、トレーニング開始前のVO_{2peak}の上位15%の値が29.8ml/kg/minであったことから、インターバル速歩トレーニングは、年齢にかかわらず、この値以下のVO_{2peak}を有する者に対して、VO_{2peak}を増加するために有効であるとも考えられる。

表5で示すようにVO_{2peak}の増加するメカニズムについては、各群において最高心拍数に有意な変化が認められなかったことから、最大1回心拍出量の増加、および、活動筋での酸素取込量の増加による動静脈酸素較差の増加のいずれか、または両者が関与していると推察される²⁶⁾。

本研究の結果からは、これらのメカニズムを明らかにすることは出来ない。しかし、他の2群に比べてCVO_{2peak}の増加が有意に大きかったLVO₂群では、下肢筋力が大きく増加したことから、下肢筋量の増加に伴って、末梢での酸素取込量が増加したこと²⁷⁾が考えられ、VO_{2peak}を増加する要因となったことが推察される。

5-3:3段階ステップアップ歩行テストによるVO_{2peak}測定について

図2で示したように、CVO_{2peak}とWVO_{2peak}の間に傾き1.04の有意な相関関係が認められた。さらに、CVO_{2peak}とWVO_{2peak}の平均値はほぼ等しい値を示した。すなわち、今回、速歩レベルとして熟大メイトに設定した値は自転車運動と歩行運動といった運動形態によって影響を受けない妥当なものであったことが明らかとなった。さらに、ウェイトベストを着用することで、3段階ステップアップ歩行テストでもVO_{2peak}が測定可能であり、その値は自転車エルゴメータによって測定した値と概ね一致することが示唆された。

本研究では、当初、ウェイトベストを着用しないで、3段階ステップアップ歩行テストでV

O_{2peak} を測定し、その70%強度をトレーニングの速歩の目標強度に設定することを試みた。しかし、通常の3段階ステップアップ歩行テスト時の最高心拍数が、120~140拍/分程度までしか増加せず、ほとんどの被験者で最大運動強度まで追い込めなかった。

そこで、 CVO_{2peak} の70%強度をトレーニングの速歩の目標強度に設定してトレーニングを実施した。そして、自転車運動と歩行運動による相対運動強度の差を検証するために、追加実験によってウェイトベストを着用することで3段階ステップアップ歩行テストを行い、両者で求めた最高酸素摂取量の比較が一致することを確認した。

このことは、段階ステップアップ歩行テスト VO_{2peak} を測定すれば、若年者においても中高年者と同様に、実験室での自転車エルゴメータで VO_{2peak} の測定を行わなくとも、体育館等で簡便、かつ安価に、大人数を対象に最高酸素摂取量の測定が可能であることを示唆する。さらに、この値に基づいて、3ヶ月間インターバル速歩トレーニングを実施すれば、比較的体力の低い学生で持久力、筋力の増加が得られることが明らかとなった。

6. 結論

以上の結果から、一般大学生に対する12週間のインターバル速歩トレーニングは、全群で膝筋力増加に有効であるが、特に膝屈曲筋力の低値群でその効果は高いこと、また、トレーニング開始前の VO_{2peak} が中位から下位（上位15%以下）の者の VO_{2peak} 増加に有効であることが示唆された。さらに、ウェイトベストを着用した3段階ステップアップ歩行テストによって VO_{2peak} が測定可能であることから、今後、このテストによって測定した VO_{2peak} を用いることで、中高年者と同様に若年者においても、フィールドでのインターバル速歩トレーニングを実施することが可能であることが示唆された。

7. 謝辞

統計処理の疑問点に丁寧に対応してくださったキッセイコムテックの山崎敏明氏、データ転送を手伝ってくれた大学院生（当時）の降幡真由佳氏をはじめ、サポートしていただいたJTRCスタッフの皆様に厚く御礼申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 文部科学省：平成16年度体力・運動能力調査報告書
- 2) (財)健康・体力づくり事業団：健康・体力づくりデータブック，P.100~101, P.97, 2006
- 3) 国立大学等保健管理施設協議会編：学生の健康白書1995-基本編，pp35-36, 1997
- 4) 名取礼二，健康・体力づくりハンドブック，大修館書店，東京，pp 166-167, 1996
- 5) 沢井史穂 現代女性の体格・体力と健康スポーツ，体力科学 vol55 pp288, 2006
- 6) 江刺正吾，学生の生活とスポーツ，道和書院，東京，pp 38-41, 1981.
- 7) 江刺正吾・野口博敏：学生の余暇活動（レジャー）に関する事例研究，九州大学，道和書院，東京，pp 21-23, 1982.
- 8) 寺島芳輝ら，女性のスポーツ医学，中外医学社，東京，pp 23-25, 1989
- 9) 根本賢一ら：体力医学会，体力科学52: 778, 2003
- 10) 能勢博・他：インターバル速歩の秘密，こう書房，長野
- 11) 能勢 博：平成17年度 熟年体育大学リサーチコンソーシアム（JTRC）調査研究報告書，松本，pp 118-119, 2006

- 12) Iwashita et al. : MSSE, 35-(10), pp 1766-1772, 2003
- 13) 保健体育理論研究会編 運動と健康 道和書院 pp 143-145, 2006.
- 14) 海老沢礼司・川村自行・福島弘：大学生の運動生活について, 國學院大學体育学研究室, 東京, pp 83-88, 1969
- 15) Folland JP and Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med* 37: 145-168, 2007.
- 16) Rasch PJ and Morehouse LE. Effect of static and dynamic exercises on muscular strength and hypertrophy. *J Appl Physiol* 11: 29-34, 1957.
- 17) Coyle EF, Feiring DC, Rotkis TC, Cote RW, 3rd, Roby FB, Lee W and Wilmore JH. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J Appl Physiol* 51: 1437-1442, 1981.
- 18) Ishii N. Factors Involved in the Resistance-Exercise Stimulus and Their Relation to Muscular Hypertrophy
- 19) Holloszy JO and Booth FW. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol* 38: 273-291, 1976.
- 20) Gettman LR, Ayres JJ, Pollock ML and Jackson A. The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med Sci Sports* 10: 171-176, 1978.
- 21) Tabata I, Atomi Y, Kanehisa H and Miyashita M. Effect of high-intensity endurance training on isokinetic muscle power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60: 254-258, 1990.
- 22) Nemoto K, Gen-no H, Masuki S, Okazaki K and Nose H. Effects of high-intensity interval walking training on physical fitness and blood pressure in middle-aged and older people. *Mayo Clin Proc* 82: 803-811, 2007.
- 23) 矢澤大輔, 岡崎和伸, 後藤正樹, 上條義一郎, 源野広和, 濱田広一郎, 能勢 博：中高年における糖質・蛋白質補助剤摂取はインターバル速歩トレーニング効果を増強させる. *体力科学*, 56(6) : 783, 2007.
- 24) 森川真悠子, 岡崎和伸, 山崎敏明, 源野広和, 能勢 博：中高年における4ヶ月間のインターバル速歩トレーニングによる初期属性別効果の違い. *基礎老化研究*32:44 No.2 2008
- 25) Komi PV, Viitasalo JT, Rauramaa R and Vihko V. Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 40: 45-55, 1978. 56(6) : 783, 2007.
- 26) Astrand PO and Rodahl K: Chapter 10, Physical training: in *Textbook of work physiology, physiological bases of exercise* 3rd edition. P412-485, McGraw-Hill, New York, 1986.
- 27) Hepple RT, Mackinnon SL, Goodman JM, Thomas SG and Plyley MJ. Resistance and aerobic training in older men: effects on VO₂peak and the capillary supply to skeletal muscle. *J Appl Physiol* 82: 1305-1310, 1997.