

有酸素性トレーニング後の筋力トレーニングが最大筋力および膝伸展パワーに及ぼす影響

森 井 秀 樹

本研究は、有酸素性能力の高い女子大学生11名に、その後単独での筋力トレーニング（ES群）または同時トレーニング（EC群）を実施し、最大筋力と膝伸展トルクに及ぼす影響を検討した。その結果、1RMBPを除き、1RMSQおよび膝伸展トルクの増加率は、ES群でのみ有意な増加が認められた。男性を被検者にした場合同様、女性においても同時トレーニングは、主働筋における最大筋力とパワーの発揮を抑制することが明らかとなった。

キーワード：同時トレーニング、女性、筋力、ピークトルク

緒 言

有酸素性トレーニングと筋力トレーニングは、それぞれ骨格筋に対して異なる生理的適応を示す。たとえば、長期の有酸素性トレーニングは筋の酸化系酵素活性、グリコーゲン貯蔵量、毛細血管やミトコンドリアの密度を増加させる¹¹⁾。一方高強度の筋力トレーニングは筋肥大を生じさせ、毛細血管やミトコンドリアの密度を減少させる¹¹⁾。そのため両トレーニングを同時に実施した場合、筋肥大は抑制され、筋力とパワーの低下が生じるとの報告が多く存在する^{1,5,7,10,12)}。しかしそれらの先行研究の多くが、トレーニング未経験者を被検者とし、定期的にトレーニングを実施している経験者を対象とした研究はない。また女性を被検者に同時トレーニングが筋力やパワーの発揮に与える影響を検討した研究もほとんど存在しない。そこで本研究では、事前に有酸素性能力を向上させた女子大学生を被検者に、その後の有酸素性トレーニングと

筋力トレーニングの同時トレーニングが、最大筋力および膝伸展パワーの発揮に与える影響を検討した。

方 法

被検者

実験に参加した被検者は、健康な女子大学生11名（年齢 19.9 ± 1.5 歳、体重 58.6 ± 8.5 kg）であった。各被検者は少なくとも6ヶ月間定期的な運動を実施していない。実験に先立って被検者全員に実験内容とその手順、リスクと効果を説明し、途中辞退も可能であることを理解させた上で、文章による実験参加の同意を得た。

研究デザイン

被検者を任意に2つのグループに振り分けた。1つのグループ（ES群：endurance and strength training, $n = 5$ ）は、24週間のトレーニング期間中、前半12週間に有酸素性トレー

ニング期間、後半12週間を筋力トレーニング期間とした。もう一方のグループ (EC群: endurance and concurrent training, $n = 6$) は、24週間のトレーニング期間中、有酸素性トレーニングを実施し、後半12週間のみ有酸素性トレーニング終了後に筋力トレーニングを実施した。

有酸素性トレーニングは、エアロバイク75 XL (コンビ社製) を用い、45分間の連続ペダリング運動を週3日、隔日で実施した。トレーニング機器の特性上、はじめの5分間は目標心拍数に達するまでのウォームアップであり、その後40分間目標心拍数を維持しながら連続ペダリング (50rpm) を実施した。トレーニング強度は、最大酸素摂取量測定の際の最大心拍数から75%HRreserveを目標心拍数とした。

筋力トレーニングには、フリーウエイトおよびウエイトスタック式マシンを用い、6種目のエクササイズ (ベンチプレス、パラレルスクワット、レッグエクステンション、レッグカール、バイセップスカール、クランチ) を週3日、隔日で実施した。コアエクササイズについては、10RM (repetition maximum) で3セット実施し、クランチ (30RM \times 3セット) を除く、補助エクササイズについては12RMで2セット実施した。なお、EC群については45分間の有酸素性トレーニング終了後、15分間休息し上記の筋力トレーニングを実施した。

測定項目

すべての被検者は、トレーニング前 (PRE)、前半12週間のトレーニング終了後 (MID) および24週間のトレーニング終了後 (POST) の計3回、身体組成、有酸素性能力および最大

筋力を測定した。

体重、体脂肪率および除脂肪量については、体内脂肪計TBF-305 (タニタ社製) により測定した。

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) の測定には、自転車エルゴメータ (モナーク社製) を用い、負荷漸増法 (初期負荷値を50wattに設定し、2分間のウォームアップの後、2分毎に25watt増加) により疲労困憊まで連続ペダリング (50rpm) を実施した。 $\dot{V}O_2\max$ の判断は、 $\dot{V}O_2$ の減少またはレベリングオフが生じ、心拍数が190拍/分以上であり、呼吸商が少なくとも1.15以上であることを基準とした。呼吸のパラメーター (O_2 , CO_2 , V_E , RQ) については、呼吸代謝測定装置TEEM 100 (Aero Sports社製) で分析され、20秒間毎、連続的にモニタリングした。また心拍数は、ハートレイトモニター (Polar社製) により計測した。

最大筋力の測定には、ベンチプレスおよびパラレルスクワットによる1RMテストを実施した。また1RMテストは、フリーウエイトによるスタンダードなプロトコル¹³⁾を用いた。SQの測定は、スクワットラック内で大腿部前面が床と平行になる位置までしゃがむよう規定した。

最大トルクの測定については、マイオレット (川崎重工業社製) を用い、各被検者の利き足の脚伸展力を測定した。被検者は、脚の伸展動作が可能な位置に座位し、大腿部、股関節部および胸部をストラップにより固定した。測定装置の軸芯は、膝関節と一直線上に並べ、パッドを足関節に固定した。各被検者のシートの垂直・水平位置およびレバーアーム長は、実験期間を通して一定とした。被検者は、5種類の異なる速度 (0 \cdot 60 \cdot 90 \cdot 180 \cdot 300 $^{\circ}\cdot\sec^{-1}$) での最大トルクを測定した。アイ

ソメトリックテスト (0°) でのレバーアームの位置は、膝関節伸展位 (水平位) から30°屈曲位で実施した。それぞれの速度でのテストは、全力で3回実施し、最も高い値 (Nm) をデータ分析に用いた。なおトライアル間の休息時間は30秒間とした。

統計分析

すべての値は、平均値±標準偏差で表した。データの解析には、反復測定による二元配置分散分析 (2群×3回の測定) を用いた。F値が有意な場合には、Tukey-Kramer法による多重比較検定を実施した。また、グループ間の増加率については、対応のない t-検定を用いた。有意水準は $p<0.05$ とした。

結 果

体重および身体組成の変化については、表1に示す。24週間のトレーニングにおいて両群とも除脂肪量に有意な変化はなかったが、体重および体脂肪率に減少が認められた。特にEC群では、POSTでそれぞれに有意な減少

(体重: 59.8kgから57.3kgへ、体脂肪率: 30.4%から26.8%へ) が認められた。

有酸素性能力の指標である $\dot{V}O_{2\max}$ の変化については、前半12週間の有酸素性トレーニングにより両群とも $\dot{V}O_{2\max}$ ($l \cdot \min^{-1}$, $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$) は有意に増加した。しかしながら、POSTにおいて高値 ($p<0.05$) が認められたのはEC群のみであった。

1RMベンチプレス (BP) および1RMパレルスクワット (SQ) の結果については表2に示す。BPおよびSQともMIDで増加傾向は認められるものの変化はなく、POSTにおいて有意な増加が認められた。1RMBPは、POSTで両群間に差はなく、1RMSQについては、EC群に比べES群に高値が認められた。

膝伸展の最大トルクの結果については、表3に示す。両群ともMIDで僅かな増加は認められるものの、有意な変化ではなく、POSTで有意に増加した。しかしながら、POSTでの増加の程度は両群間で異なり、いずれの速度においてもES群で高い増加率 (15.5%から24.5%) が認められた。

表1 身体特性と有酸素性持久力の変化

		PRE	MID	POST
体 重 (kg)	E S	53.4±8.2	54.5±8.1	53.3±7.1
	E C	59.8±6.8	57.8±6.1	57.3±5.5*
体脂肪率 (%)	E S	27.5±7.7	26.1±5.8	25.2±6.2
	E C	30.4±5.7	28.7±5.1	26.8±4.5*
除脂肪量 (kg)	E S	38.3±1.7	39.9±2.7	39.5±1.9
	E C	41.3±2.4	41.2±2.5	41.8±2.5
最大酸素摂取量 ($l \cdot \min^{-1}$)	E S	1.77±0.33	2.04±0.29*	1.87±0.27
	E C	1.84±0.19	2.01±0.25*	1.98±0.31
(ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	E S	31.2±2.8	35.5±3.3*	33.4±3.2
	E C	31.1±4.0	35.2±5.7*	34.8±5.8*

平均値±標準偏差。* $p<0.05$ vs. PRE

表 2 最大筋力(1RM)の変化

		PRE	MID	POST
1RMBP (kg)	E S	26.0 ± 5.2	25.5 ± 4.8	33.0 ± 4.1* [§]
	E C	25.4 ± 7.5	26.3 ± 7.5	34.6 ± 8.7* [§]
1RMSQ (kg)	E S	66.8 ± 10.8	70.0 ± 13.2	97.5 ± 11.5* ^{§†}
	E C	52.1 ± 11.9	55.8 ± 16.6	64.6 ± 15.5* [§]

平均値 ± 標準偏差. *p<0.05 vs. PRE, [§]p<0.05 vs. MID, [†]p<0.05 vs. EC-group.

表 3 膝伸展最大トルクの変化(Nm/kg)

		PRE	MID	POST	Change(%) MID-POST
0°・s ⁻¹	E S	1.99 ± 0.36	2.29 ± 0.67	2.77 ± 0.49*	24.5 [†]
	E C	2.86 ± 0.16	2.97 ± 0.29	3.16 ± 0.35*	6.4
60°・s ⁻¹	E S	1.86 ± 0.29	2.05 ± 0.39	2.41 ± 0.39*	18.7 [†]
	E C	2.28 ± 0.21	2.44 ± 0.21	2.59 ± 0.32*	6.5
90°・s ⁻¹	E S	1.73 ± 0.34	1.78 ± 0.35	2.07 ± 0.35*	17.5 [†]
	E C	2.06 ± 0.23	2.25 ± 0.19	2.35 ± 0.31*	4.5
180°・s ⁻¹	E S	1.25 ± 0.26	1.33 ± 0.37	1.52 ± 0.34*	17.0 [†]
	E C	1.51 ± 0.14	1.65 ± 0.16	1.72 ± 0.23*	3.8
300°・s ⁻¹	E S	0.91 ± 0.18	1.00 ± 0.26	1.14 ± 0.24*	15.5 [†]
	E C	1.15 ± 0.14	1.25 ± 0.15	1.32 ± 0.22*	5.6

平均値 ± 標準偏差. *p<0.05 vs. PRE, [†]p<0.05 vs. EC-group.

考 察

トレーニングの特異性により有酸素性トレーニングと筋力トレーニングを同時に実施するトレーニング様式は、“antagonistic effect”を導き出すとされる。しかしながら、肥満や生活習慣病の予防・改善を目的に同時トレーニングを実施する場合、体重を減少させ、身体組成の変化（体脂肪の減少とLBMの増加）を導き出すことから、効率的なトレーニング様式でもある。Kraemerら¹⁴⁾は、オーバーウエイトの被検者に、食事制限および同時トレーニングの実施が、有酸素性能力の向上のみならず除脂肪量を維持し、筋力の向上とパワー

の維持に強く影響することを報告した。本研究では、EC群のみにPOSTで体重および体脂肪率の有意な減少が認められた。この減少はEC群の後半12週間におけるトレーニング量の増加が影響しているとも考えられるが、単独での有酸素性トレーニング（前半12週間）に比べ、同時トレーニングが体脂肪を減少し、除脂肪量を維持・向上させた。さらに先行研究^{3,4)}において、有酸素性トレーニング後の筋力トレーニングは、EPOCを有意に高め、エネルギー消費量を増加させるなど、同時トレーニングの有効性が認められている。

同時トレーニングが有酸素性能力に及ぼす影響については、 $\dot{V}O_2\max$ の発達を阻害する報告はほとんど存在せず、逆に運動効率の向上

を認めるものがある^{2,8,10)}。本研究においても、MIDで有意に増加した $\dot{V}O_2\text{max}$ は、ES群のPOSTでディトレーニング (detraining) による減少が認められるが、EC群では維持された。これはEC群が24週間のトレーニング期間を通して有酸素性トレーニングを維持した結果と考えられる。Hoffman⁹⁾は、同時トレーニングにおける有酸素性能力の維持・向上について、有酸素性トレーニングの実施頻度を減少させない限り、有酸素性能力が阻害されることはないと述べている。

有酸素性能力の適応とは異なり、同時トレーニングが最大筋力に及ぼす影響については、筋肥大を抑制し筋力の発達を阻害するとの報告が多く存在する^{2,5,7,10,12)}。そのほとんどが週5日以上頻度で同時トレーニングを交互にプログラムする場合や、同日のトレーニングと単独のトレーニングをそれぞれ交互に実施するなど、オーバートレーニングによる筋発達の抑制を原因としている。また、有酸素性能力に優れた持久性ランナーを被検者とした場合、週6日の同時トレーニングプログラムであっても筋力を有意に増加させることが認められている^{1,10)}。本研究で実施した筋力トレーニングの頻度は、週3日(隔日)であり、また両群共に前半12週間有酸素性トレーニングを実施し、 $\dot{V}O_2\text{max}$ も有意に増加した被検者であった。特に、EC群のPOSTでの1RMBPおよびSQの有意な増加は、有酸素性能力の向上が筋における乳酸除去能力を改善した結果であると思われる。しかし1RMについては、BPで両群間に差はないが、SQではEC群に比べES群で高値が認められた。Hennessyら⁶⁾は、ランニングトレーニングとベンチプレスおよびスクワットを中心とした筋力トレーニングを同時に実施し、本研究と同様にBPの増

加とSQの増加抑制を認めた。またHunterら¹⁰⁾、McCarthyら¹⁵⁾も、下肢による有酸素性トレーニング(ランニング、サイクリング)を含む同時トレーニングが、単独での筋力トレーニングと同程度、1RMBPを増加させたと報告している。これらの結果は、同時トレーニングにおける筋力の発達抑制が、両トレーニング様式において主働筋として用いた筋群に生じることを示唆する。また膝伸展の最大トルクについても、POSTで両群に有意な増加が認められるが、増加率についてはいずれの速度においてもES群で有意に高く(ES群: 15.5%から24.5%、EC群: 3.8%から6.5%)、EC群では速度の違いにかかわらず3%から7%程度の増加であった。同時トレーニングが膝伸展力の最大トルクに及ぼす影響についても高頻度での同時トレーニングにより爆発的な筋力(垂直跳び)および特異的な速度($2.81 \cdot 3.35 \cdot 4.19 \cdot 5.03 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$)での増加抑制が報告されている^{5,10)}。しかしながら、それらの先行研究における被検者は、すべてトレーニング未経験者であった。本研究の被検者は、前半12週間有酸素性トレーニングを実施した上で、その後筋力トレーニングをプログラムしたにもかかわらず、先行研究同様にパワーの増加抑制が認められた。

これらの結果は、被検者の初期のトレーニング状態にかかわらず、同時トレーニングが主働筋における最大筋力とパワーの発揮を抑制することを示す。また男性同様に、女性も被検者とした場合でも同時トレーニングは、筋の発達を阻害する可能性のあることが明らかとなった。

謝 辞

本研究は、京都文教短期大学研究助成金により実施された。

参考文献

- 1 . Bell, G. J. , S. R. Petersen, J. Wessel, K. Bagnall, and H. A. Quinney. Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int. J. Sports Med.* 12 : 384-390, 1991.
- 2 . Bell, G. J. , D. Syrotaik, T. P. Martin, R. Burnham, and H. A. Quinney. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81 : 418-427, 2000.
- 3 . Dolezal, B. A., and J. A. Potteiger. Concurrent resistance and endurance training influence basal metabolic rate in non-dieting individuals. *J. Appl. Physiol.* 85 : 695-700, 1998.
- 4 . Drummond, M. J. , P. R. Vehrs, G. B. Schaalje, and A. C. Parcell. Aerobic and resistance exercise sequence affects excess postexercise oxygen consumption. *J. Strength Cond. Res.* 19 : 332-337, 2005.
- 5 . Dudley, G. A. , and R. Djamil. Incompatibility of endurance- and strength- training modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 59 : 1446-1451, 1985.
- 6 . Hennessy, L. C., and A. W. S. Watson. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J. Strength Cond. Res.* 8 : 12-19, 1994.
- 7 . Hickson, R. C. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 45 : 255-263, 1980.
- 8 . Hickson, R. C. , B. A. Dvorak, E. M. Gorostiaga, T. T. Kurowski, and C. Foster. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 65 : 2285-2290, 1988.
- 9 . Hoffman, J. Concurrent Training. In : *Physiological Aspects of Sports Training and Performance*. Champaign, IL : Human Kinetics, 2002. pp. 121-129.
- 10 . Hunter, G. , R. Demment, and D. Miller. Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 27 : 269-275, 1987.
- 11 . Kraemer, W. J. Physiological Adaptations to Anaerobic and Aerobic Endurance Training Programs. In : *Essentials of Strength Training and Conditioning*. T. R. Baechle and R. W. Earle, eds. Champaign, IL : Human Kinetics, 2000. pp. 137-168.
- 12 . Kraemer, W. J., J. F. Patton, S. E. Gordon, E. A. Harman, M. R. Deschenes, K. Reynolds, R. U. Newton, N. T. Triplett, and J. E. Dziados. Compatibility of high-

- intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78 : 976-989, 1995.
13. Kraemer, W. J., N. A. Ratamess, A. C. Fry, and D. N. French. Strength Training : Development and Evaluation of Methodology. In : *Physiological Assessment of Human Fitness*. P. J. Maud and C. Foster, eds. Champaign, IL : Human Kinetics, 2006. pp. 119-150.
 14. Kraemer, W. J., J. S. Volek, K. L. Clark, S. E. Gordon, S. M. Puhl, L. P. Koziris, J. M. McBride, N. T. Triplett-McBride, M. Putukian, R. U. Newton, K. Hakkinen, J. A. Bush, and W. J. Sebastianelli. Influence of exercise training on physiological and performance changes with weight loss in men. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 : 1320-1329, 1999.
 15. McCarthy, J. P., J. C. Agre, B. K. Graf, M. A. Pozniak, and A. C. Vailas. Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27 : 429-436, 1995.