高負荷での自転車エルゴメーターによる ペダリングトレーニングが筋機能に与える影響

Influence of High Intensity Pedaling-Training by Bicycle Ergometer on Muscle Function

市橋 則明¹⁾ 池添 冬芽¹⁾ 大畑 光司¹⁾ 才藤 栄一²⁾

NORIAKI ICHIHASHI¹⁾, TOME IKEZOE¹⁾, KOJI OHATA¹⁾, EIICHI SAITOH²⁾

1) Department of Physical Therapy, College of Medical Technology, Kyoto University: 53 Kawahara-cho, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606-8507, Japan. TEL +81 75-751-3951

2) School of Medicine, Fujita Health University

Rigakuryoho Kagaku 17(2): 101-106, 2002. Submitted Dec. 14, 2001. Accepted Feb. 5, 2002.

ABSTRACT: The purpose of this study was to investigate effects of six weeks of high intensity pedaling-training on muscle function. Thirteen healthy adults participated in this study. Isokinetic muscle strength of the knee extensor and flexor, thigh circumference, body fat, anaerobic power, muscle thickness, fat thickness and the maximum oxygen intake were evaluated in this study before and after training. As a result, isokinetic knee extension torque at 60 deg/sec and 180 deg/sec and isokinetic knee flexion torque at 60 deg/sec increased significantly after six weeks of training. Thigh circumference showed significant increases, but thigh muscle thickness was not changed significantly. Anaerobic power was found to be significantly increased during the 6-week training period. However, there were no changes in body fat, fat thickness and maximum oxygen intake. It was suggested that high intensity pedaling-training was effective as muscle training.

Key words: bicycle ergometer, pedaling-training, muscle function

要旨：健康成人13名を対象に6週間の高負荷短時間での自転車エルゴメーターによるペダリングトレーニングを行った。その結果、角速度60と180 deg/secにおける等速性膝伸展筋力と60 deg/secの等速性膝屈曲筋力は有意に増加した。周径はすべての測定位置で有意に増加したが、超音波で測定した筋厚は増加する傾向にあったものの有意な変化を示さなかった。体脂肪率・脂肪厚・最大酸素摂取量は変化を示さなかった。最大無酸素パワーは有意に増加し、3, 5 kpでの最大回転数も有意に増加したが、7 kpでの回転数は有意な変化を示さなかった。本研究により、高負荷でのペダリングトレーニングは筋トレーニングとして有効であることが示唆された。

キーワード：自転車エルゴメーター、ペダリングトレーニング、筋機能

¹⁾ 京都大学医療技術短期大学部理学療法学科：京都市左京区聖護院川原町53（〒606-8507）TEL 075-751-3951

²⁾ 藤田保健衛生大学医学部

I. 緒 言

下肢の筋力トレーニングとしては、一般にsettingなどでの等尺性訓練、重錘負荷での等張性訓練、Cybexでの等速性訓練などのOpen Kinetic Chain(OKC)での筋力トレーニングが古くから行われてきた。1990年代に入ってスポーツ傷害のリハビリテーション、特に前十字靱帯(ACL)損傷再建術後の再建靱帯にかかる負荷が研究される中で、Closed Kinetic Chain(CKC)におけるスクワット、段差昇降などが筋力トレーニングとして行われるようになってきた。CKCが近年盛んに用いられる理由としては、CKCはOKCよりも安全であると考えられているためである。安全性については、数多くの研究により、CKCでのトレーニングの方がOKCでのトレーニングよりもACLの再建靱帯に与える負荷が小さいことが報告されている。しかし、直接ACLの張力を測定したBeynonら¹⁾の研究では、CKCが必ずしも安全でないことが示されている。また、自転車エルゴメーターでのトレーニングは、従来の重錘負荷による等張性訓練やCybexなどによる等速性訓練、さらにはスクワットでのトレーニングに比べ、ACLのストレスが少ないことが報告されている²⁾。CKCが安全とされているのはACLにかかる張力に関してのみであり、膝に限って考えても脛骨大腿関節や膝蓋大腿関節にかかる圧迫力に関してはCKCだから負荷が少ないとはいえない。さらにCKCトレーニングによる大腿四頭筋の筋力増強効果としては、否定的な報告も多い³⁻⁵⁾。

一方、自転車エルゴメーターでのペダリングトレーニングは、ACLにかかる負担が最も少ないだけでなく、他のOKCやCKCのトレーニングに比べ脛骨大腿関節や膝蓋大腿関節に与える負荷が少ないとされている^{6,7)}。自転車エルゴメーターを使ったペダリング動作は下肢のKinetic Chain全体の働きを含み、ペダリング中には、下肢の大多数の筋が活動し、負荷や回転数を増加することにより筋活動は増加する⁸⁾とされている。それゆえ、高負荷でのペダリングトレーニングは膝周囲筋の筋機能に影響を与える可能性があると考えられる。自転車エルゴメーターを使ったトレーニング効果に関する報告では、持久力トレーニング効果に関する報告が多い。これは一般に、自転車エルゴメーターでのトレーニングは低負荷長時間での持久力トレーニングとして用いられることが多いためであり、高負荷短時間でのスプリントトレーニングとしての効果を筋力や筋断面積、発揮パワーの面から検討した報告はほとんどない。

本研究の目的は、高負荷短時間でのペダリングトレーニングが筋機能に与える影響を明確にすることである。

II. 対象と方法

本研究に同意した健常学生13名(男性6名、女性7名:平均年齢 23.2 ± 3.6 歳, 平均身長 166.6 ± 8.1 cm, 平均体重 59.4 ± 9.3 kg)を対象とした。トレーニングは週3回、6週間、自転車エルゴメーター(コンビ社製パワーマックスV)を最大努力で全力ペダリングすることとした。負荷は、各人が最大パワーを発揮する負荷量の60%(平均負荷量 3.1 ± 0.8 kp)とし、30秒間の最大ペダリングを30秒間の休息を挟み4回行わせた。6週間のトレーニング前後に以下の項目を評価し自転車エルゴメーターでのトレーニング効果を検討した。

1. 膝関節屈伸筋力

等速性筋力評価訓練装置Myoret(川崎重工社製)にて等尺性筋力と角速度60, 180, 300 deg/secにおける等速性筋力を測定した。等尺性筋力測定時の膝屈曲角度は90度に、等速性筋力測定時の膝関節の屈曲角度は95度~5度に設定した。200 deg/secで10回の膝屈伸運動をウォーミングアップとして行わせた後、最大努力で3回の膝屈伸動作を行わせたときのピークトルクを測定した。等尺性筋力は3秒間測定した。各測定は30秒の休息を入れた。測定は全員右膝とし、体幹及び大腿部をベルトで固定した。

2. 周径

膝蓋骨上5, 10, 15 cmの部位での大腿周径を測定した。

3. 超音波画像(東芝Tosbee)による脂肪厚と筋厚の測定

膝蓋骨上15cmにおける大腿上面の脂肪厚と筋厚(大腿直筋+中間広筋)を測定した。

4. 体重と体脂肪量

タニタ製体脂肪計を使用し体重と体脂肪率を測定した。

5. 最大酸素摂取量

最大酸素摂取量はトレッドミル(酒井医療株式会社)を用いて測定し、Bruceの漸増負荷プロトコールにて被験者を疲労困憊に至らせた。酸素摂取量の測定はbreath by breath法にて呼気を採取し、ガス分析器(ミナト医科学社製RM200)を用いて30秒ごとに連続して行った。

6. 最大無酸素パワー

パワーマックスVによる無酸素パワーテストを行った。10秒間の最大ペダリングを2分間の休息を入れて3回

行い最大無酸素パワーを測定した。

7. 自転車エルゴメーター最大回転数（3, 5, 7 kp）

パワーマックスVを使用し、負荷値を3, 5, 7 kpに設定し10秒間最大ペダリングしたときの各設定負荷での最大回転数を測定した。

統計処理はトレーニング前後で対応のあるt検定を用い危険率5%以内を有意とした。

III. 結 果

トレーニング前後の各測定項目の変化を表1に示した。体重と体脂肪率はトレーニング前後に有意な変化を示さ

なかった。膝伸展筋力は等尺性筋力以外は増加する傾向にあったが、有意な増加を示したのは角速度60と180 deg/secでの等速性膝伸展筋力のみであった。等尺性筋力と300 deg/secでの等速性膝伸展筋力においては有意な変化を示さなかった。一方、膝屈曲筋力はすべての測定項目にて増加する傾向にあったが、有意な変化を示したのは60 deg/secのみであった。周径はすべての測定位置で有意に増加したが、超音波で測定した筋厚は増加する傾向にあったものの有意な変化ではなかった。また、超音波で測定した脂肪厚は有意な変化を示さず、最大酸素摂取量も同様に変化を示さなかった。最大無酸素パワーは有意に増加し、3, 5 kpでのペダリング回転数も有意に増加したが、7kpでの回転数は有意な変化を示さなかった。

表1 トレーニング前後における各測定項目の変化

	トレーニング前	トレーニング後
体重 (kg)	59.4 ± 9.3	59.2 ± 8.8
体脂肪率 (%)	21.7 ± 5.4	21.9 ± 4.3
膝伸展筋力 (kgm)		
等尺性	18.2 ± 6.3	17.8 ± 7.2
等速性 60 deg/sec	15.0 ± 5.2	16.0 ± 4.3*
180 deg/sec	11.0 ± 4.3	11.4 ± 4.1*
300 deg/sec	8.7 ± 3.4	9.0 ± 3.5
膝屈曲筋力 (kgm)		
等尺性	7.6 ± 2.5	8.3 ± 3.2
等速性 60 deg/sec	8.5 ± 2.2	9.2 ± 2.4**
180 deg/sec	6.9 ± 1.9	7.1 ± 1.9
300 deg/sec	5.7 ± 1.9	6.0 ± 1.7
大腿周径 (cm)		
5 cm	41.1 ± 3.1	41.8 ± 2.8*
10 cm	45.7 ± 3.4	46.4 ± 3.0*
15 cm	50.1 ± 3.6	50.7 ± 2.9*
超音波による測定 (mm)		
脂肪厚	8.0 ± 3.4	7.9 ± 3.3
筋厚	38.3 ± 7.5	39.4 ± 6.3
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	46.6 ± 7.5	46.9 ± 9.4
無酸素パワー (w)	586.2 ± 198.6	626.7 ± 193.7**
ペダリングの回転数 (rpm)		
3 kp	160.8 ± 29.3	170.2 ± 28.6**
5 kp	131.2 ± 35.4	138.0 ± 33.2*
7 kp	103.0 ± 35.0	108.2 ± 36.8

**p < 0.01 *p < 0.05

IV. 考 察

1. ペダリングトレーニングの安全性

Ericsonら⁶⁾はペダリングが膝関節に及ぼす影響を詳細に調べている。彼らによると120 W・60 rpmでのペダリングにより、脛骨大腿関節にかかる圧迫力は体重の1.2倍(1.2BW)であるとしている。一方、正常歩行では2~4BW⁹⁾、階段昇降4BW¹⁰⁾、椅子からの立ち上がり3~7BW^{11,12)}、等速性膝伸展9BW¹³⁾という報告がされており、ペダリングトレーニングは、脛骨大腿関節にとって負担の少ないトレーニングであるといえる。また、前十字靱帯損傷再建術後に問題となる脛骨の前方向への剪断力を調べた報告では、ペダリング中には0.05 BWとほとんどかからない⁶⁾ことが報告されており、等速性膝伸展で1BW¹³⁾、椅子からの立ち上がりで1.5~3BW¹¹⁾であるのに対して安全性が高い。さらに、ペダリング中に膝蓋大腿関節にかかる圧迫力は1.3 BW⁷⁾とされており、これは歩行時の圧迫力とほぼ同じ値で^{14,15)}、階段昇りの1/2¹⁰⁾、降りの1/5¹⁰⁾、等速性膝伸展の1/10¹³⁾とされている。このようにトレーニング中にかかる膝関節の圧迫力や剪断力から考えて、ペダリングは他の筋力トレーニングやADL動作と比較して膝に外傷や障害がある患者にとって安全性が高く、筋力トレーニングとして積極的に処方可能な方法といえる。ただし、今回のような平均3.1 kpといった高い負荷量でのトレーニングが膝に与える影響についての報告は見あたらず、高負荷でのペダリングが膝にかかる負担に関しては今後検討する必要がある。

2. ペダリングトレーニングが筋力に与える影響

自転車エルゴメーターは低負荷長時間での持久力トレーニングとして一般的におこなわれ、その持久能力に与える効果に関しては数多く報告され、その効果も確立している。しかし、高負荷短時間でのペダリングトレーニングの報告は持久性トレーニングと比較して少なく、その多くは最大酸素摂取量や、筋のタイプを調べているものがほとんどであり、高負荷でのペダリングトレーニングが下肢筋力に与える影響を調べた報告は少ない。ペダリングトレーニングが筋力に与える影響を調べたものとしては高強度の持久性ペダリングトレーニング(インターバルトレーニング)と高負荷短時間でのペダリングトレーニング(スプリントトレーニング)がある。

高強度の持久性インターバルトレーニングに関する過去の報告では、7~8週のインターバルトレーニングによりエアロビック能力とペダリングのパフォーマンスを改善することができるとされている^{16,17)}。しかしながら、等

速性筋力に関してインターバルトレーニングが与える影響についての情報は少ない。1990年にTabataら¹⁸⁾は7週間のインターバルトレーニングにて30と60, 120deg/secでの等速性膝伸展筋力は増加し、180, 240, 300deg/secでの筋力の増加はなかったと報告している。彼らの報告は高強度の持久性ペダリングトレーニングが筋力を増加することができることを示した最初の報告であるとされている。同様にMartinら¹⁹⁾は等速性膝伸展筋力の増加を報告しているが、膝屈曲筋力は変化しなかったとしている。一方、Kaljumaeら²⁰⁾は最大負荷の30~70%の負荷で30分間のペダリングを10週間おこなったにもかかわらず、等尺性膝伸展筋力は有意な変化を示さなかったとしている。

高負荷短時間のスプリントトレーニングが筋力に与える影響についての報告も少ない。近年、Sleivertら²¹⁾は14週間10秒間の最大ペダリングを8~20回行ったが等尺性及び等速性膝伸展筋力は有意な変化を示さなかったとしている。同様にZhouら²²⁾は7週間30秒間の最大ペダリングを4~10回行い等尺性膝伸展筋力に有意な変化はなかったとしている。一方、Harridgeら²³⁾は、6週間3秒間3回の最大ペダリングを8~16セット行い等尺性膝伸展筋力が7%増加したと報告している。このようにスプリントトレーニングが下肢筋に与える影響としては膝伸展筋に関しては報告があるものの意見が分かれており、膝屈筋に関する報告は見あたらぬ。

本研究では平均 3.1 ± 0.8 kpの負荷で30秒間の最大ペダリング動作を4回繰り返すといったトレーニングを6週間行い、等尺性筋力は変化なく、60と180 deg/secの等速性膝伸展筋力と60 deg/secの等速性膝屈曲筋力は有意に増加した。今回の結果と過去の報告との相異の原因としてはトレーニング方法の違いが上げられる。我々と同様なトレーニング方法である30秒間のペダリング動作を行っているZhouら²²⁾の報告において、等尺性筋力に変化がなかったとする結果は今回の結果と一致しており、彼らのトレーニングにおいても等速性で評価すると筋力増加を示した可能性がある。一般に筋力増加には過負荷と特異性が重要とされている。高負荷での全力ペダリングは大腿四頭筋に対して十分な負荷となっておりと考えられ筋力が増加しても驚くべきことではない。一方、特異性とはトレーニングした収縮様式、動作様式で最も筋力が増加するということであり²⁴⁾、このため等尺性や高速度(300 deg/sec)での等速性筋力での筋力増加が示されなかった可能性がある。今回は全力ペダリングしているため回転数ははじめ速く徐々に遅くなっていく。よって最も多くトレーニングしている回転速度は中速度付近であり、伸筋屈筋共に中速度での筋力が増加したものと思わ

れる。屈筋に関しては過去の報告はないが、膝伸筋同様に筋力増強させることができる可能性があると考えられる。

3. ペダリングトレーニングが最大酸素摂取量に与える影響

持久性のペダリングトレーニングにより最大酸素摂取量が増加するとした報告は多いが、スプリントトレーニングが最大酸素摂取量に与える影響について調べたものは少ない。Linossierら²⁵⁾は9週間のスプリントトレーニングにてわずかに(3%)最大酸素摂取量が増加したとしているが、Allemeierら²⁶⁾やStathisら²⁷⁾は有意な変化はなかったとしている。今回の研究結果においても最大酸素摂取量は変化なく、体重、体脂肪率、脂肪厚にも変化がなかったため、このような高強度のペダリングトレーニングではエアロビック能力の改善は困難であると考えられる。

4. ペダリングトレーニングが自転車での発揮パワーに与える影響

スプリントトレーニングがペダリングでの最大発揮パワーに与える影響を調べた報告は多いが、結果は一致していない。増加するとした報告が多い^{19,21,23,25,27-31)}が、変化しないと報告^{22,26,32-34)}もある。今回の研究結果では最大発揮パワーは約7%有意に増加し、膝伸筋の増加率(3~6%)よりも大きかった。また、負荷を3 kp, 5 kpとした時の回転数も有意に増加しており、自転車でのスプリントトレーニングはペダリングのパフォーマンスを向上させることができ、無酸素パワーの増加に効果的であると考えられる。7 kpでの負荷での回転数が有意な変化を示さなかったのは、トレーニング負荷が平均3.1 kpであったため、7 kpといった重い負荷での回転数の増加には効果が及ばなかったと思われる。

5. ペダリングトレーニングが筋断面積に与える影響

ペダリングトレーニングによる筋断面積の変化を測定したものとして、筋生検を用いた報告は多いが膝伸筋や屈筋全体の断面積の変化を測定した報告はほとんどない。筋力トレーニングにより筋断面積が増加するのは良く知られた事実であるが、高強度・短時間のペダリングトレーニングにより筋断面積が変化するのは明確でない。Tabataら¹⁸⁾は高強度の持久力トレーニングで膝伸筋筋力は増加したが、超音波で測定した大腿四頭筋の筋厚は変化なかったとしている。また、Linossierら²⁹⁾は7週間のスプリントトレーニングではCTで測定した外側広筋の断面積は変化しなかったとしているが、同じトレーニン

グ方法で9週間スプリントトレーニングをおこなった報告²⁸⁾ではCTにより膝伸筋断面積の有意な増加(6%)を示している。本研究では大腿周径と超音波を使った大腿前面の筋厚測定を行った。その結果周径では有意に増加したものの超音波測定では38.3 mmから39.4 mmとわずかに増加する傾向にあったが、有意な変化は示さなかった。この原因としては3つの理由が考えられる。第1に周径では大腿四頭筋だけでなくハムストリングスや内転筋群の変化の影響を受けるため変化が出やすいが、超音波で測定している部位は大腿四頭筋の中でも大腿直筋と中間広筋のみであったため、変化が出にくい。第2に、超音波測定は筋に導子を押しつけて測定するため、圧迫の強さによって筋厚が変化する事による誤差が大きいためわずかな変化は測定しにくい。第3にトレーニングによる筋力の変化は最初は運動単位の動員の数や発火頻度の増加といった神経的な因子が増加し、8週間以上のトレーニングにより筋肥大がおくとされているため、本研究で行った6週間のトレーニング期間は、筋肥大を起こさせるには短かったことが考えられる。これは、Linossierら^{28,29)}の研究で7週では断面積に変化なかったが9週では有意に増加したことと一致する。ペダリングトレーニングが断面積に与える影響を明確にするために今後はトレーニング期間を増加しMRIにより正確な断面積を測定する必要がある。

V. まとめ

本研究では、負荷を平均 3.1 ± 0.8 kpとする高負荷での全力ペダリングのトレーニング効果を検討した。その結果、自転車エルゴメーターで発揮する最大パワーや回転速度は有意に増加し、無酸素パワーを増加させるためには有効なトレーニングであることが確認された。さらに、等尺性筋力や高速度での筋力に変化はなかったものの中速度での膝屈伸能力の増加がみられ、また、周径が増加したことによる筋肥大の可能性もあり、理学療法において有効なトレーニングであると考えられる。

引用文献

- 1) Beynnon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al.: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension. A comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med*, 1997, **25**: 823-829.
- 2) Fleming BC, Beynnon BD, Renstrom PA, et al.: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during bicycling. An in vivo study. *Am J Sports Med*, 1998, **26**: 109-118.
- 3) Reynolds NL, Worrell TW, Perrin DH: Effect of a lateral step-up

- exercise protocol on quadriceps peak torque value and thigh girth. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1992, **15**: 151-155.
- 4) Worrell TW, Borchert B, Erner K, et al.: Effect of a lateral step-up exercise protocol on quadriceps and lower extremity performance. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1993, **18**: 646-653.
 - 5) Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, et al.: Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, **77**: 1166-1173.
 - 6) Ericson MO, Nisell R: Tibiofemoral joint forces during ergometer cycling. *Am J Sports Med*, 1986, **14**: 285-290.
 - 7) Ericson MO, Nisell R: Patellofemoral joint forces during ergometric cycling. *Phys Ther*, 1987, **67**: 1365-1369.
 - 8) Ericson MO, Nisell R, Arborelius UP, et al.: Muscular activity during ergometer cycling. *Scand J Rehab Med*, 1985, **17**: 53-61.
 - 9) Morrison JB: Bioengineering analysis of force actions transmitted by the knee joint. *Bio Med Eng*, 1970, **3**: 164-170.
 - 10) Andriacchi TP, Andersson GB, Fermier RW, et al.: A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. *J Bone Joint Surg*, 1980, **62A**: 749-757.
 - 11) Ellis MI, Seedhom BB, Amis AA: Forces in the knee joint whilst rising from normal and motorized chair. *Eng Med*, 1979, **8**: 33-40.
 - 12) Ellis MI, Seedhom BB, Wright V: Forces in the knee joint whilst rising from a seated position. *J Biomed Eng*, 1984, **6**: 113-120.
 - 13) Nisell R: Tibiofemoral joint forces during isokinetic knee extension. *Am J Sports Med*, 1989, **17**: 49-54.
 - 14) Boccardi S, Pedotti A, Rodano R, et al.: Evaluation of muscular movements at the lower limb joints by an on-line processing of kinematic data and ground reaction. *J Biomech*, 1981, **14**: 35-45.
 - 15) Winter DA: Overall principle of lower limb support during stance phase of gait. *J Biomech*, 1980, **13**: 923-927.
 - 16) Eddy DO, Sparks KL, Adelizi DA: The effects of continuous and interval training in women and men. *Eur J Appl Physiol*, 1977, **37**: 83-92.
 - 17) Hickson RC, Bomze HA, Holloszy JO: Linear increase in aerobic power induced by a strenuous program of endurance exercise. *J Appl Physiol*, 1977, **42**: 372-376.
 - 18) Tabata I, Atomi Y, Kanehisa H, et al.: Effect of high-intensity endurance training on isokinetic muscle power. *Eur J Appl Physiol*, 1990, **60**: 254-258.
 - 19) Martin DT, Scifres JC, Zimmerman SD, et al.: Effects of interval training and a taper on cycling performance and isokinetic leg strength. *Int J Sports Med*, 1994, **15**: 485-491.
 - 20) Kaljuma U, Hanninen O, Airaksinen O: Knee extensor fatigability and strength after bicycle ergometer training. *Arch Phys Med Rehabil*, 1994, **75**: 564-567.
 - 21) Sleivert GG, Backus RD, Wenger HA: The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. *Med Sci Sports Exerc*, 1995, **27**: 1655-1665.
 - 22) Zhou S, McKenna MJ, Lawson DL, et al.: Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*, 1996, **72**: 410-416.
 - 23) Harridge SD, Bottinelli R, Canepari M, et al.: Sprint training, in vitro and in vivo muscle function, and myosin heavy chain expression. *J Appl Physiol*, 1998, **84**: 442-449.
 - 24) 金子公寛, 田路秀樹: パワーアップの原則再考. *Jpn J Sports Sci*, 1993, **12**: 160-164.
 - 25) Linossier MT, Dormois D, Perier C, et al.: Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. *Acta Physiol Scand*, 1997, **161**: 439-445.
 - 26) Allemeier CA, Fry AC, Johnson P, et al.: Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 1994, **77**: 2385-2390.
 - 27) Stathis CG, Febbraio MA, Carey MF, et al.: Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol*, 1994, **76**: 1802-1809.
 - 28) Linossier MT, Dormois D, Geyssant A, et al.: Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol*, 1997, **75**: 491-498.
 - 29) Linossier MT, Denis C, Dormois D, et al.: Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol*, 1993, **67**: 408-414.
 - 30) Sharp RL, Costill DL, Fink WJ, et al.: Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med*, 1986, **7**: 13-17.
 - 31) Weltman A, Moffatt RJ, Stamford BA: Supramaximal training in females: effects on anaerobic power output, anaerobic capacity, and aerobic power. *J Sports Med Phys Fitness*, 1978, **18**: 237-244.
 - 32) Jansson E, Esbjornsson M, Holm I, et al.: Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiol Scand*, 1990, **140**: 359-363.
 - 33) Jacobs I, Esbjornsson M, Sylven C, et al.: Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc*, 1987, **19**: 368-374.
 - 34) Esbjornsson M, Hellsten Westing Y, Balsom PD, et al.: Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. *Acta Physiol Scand*, 1993, **149**: 245-246.