

Eccentric Exercise とトレーニング効果

村 松 茂

(横浜市立大学体育医学教室)

Eccentric Exercise and Its Training Effects

Shigeru Muramatsu

I はじめに

筋が短縮しながら発揮する力と外力によって伸張されながら発揮する力とを比較してみると、後者の方がより大きいことが明らかになっている³⁾²⁴⁾。このことから、伸張性の筋収縮に基づく筋力トレーニング、すなわち eccentric training では最大挙上重量以上の大きな負荷を用いることができるため、短縮性の筋収縮に基づくトレーニング (concentric training) よりも大きな効果が期待できるのではないか、とする考え方がある。また、スポーツの競技場面では跳躍の踏切に代表されるように伸張性の筋収縮によって大きな力を発揮しているケースが数多くみられることから、eccentric training の必要性を指摘する声もある。さらに近年では、eccentric exercise を手軽に行うことのできるコンピュータ制御の筋力測定兼トレーニング機器¹³⁾も市販されるようになってきている。

そこで、今回はこの eccentric training について、その基礎となる eccentric exercise の特徴を紹介し、そのトレーニング効果を文献的に検討してみたい。

II eccentric exercise の特徴

eccentric exercise は伸張性の筋収縮に基づく運動であるが、この筋収縮の大きな特徴としては、序でふれたように収縮力が他の短縮性や等尺性収縮よりも大きいことが挙げられる。

Doss と Karpovich³⁾ は、肘の屈筋の収縮力を、短縮性、伸張性および等尺性の3条件で検討し、伸張性の値は等尺性よりも13.5%、また短縮性よりも39.7%大きいことを明らかにしている。また、Singh と Karpovich²³⁾ も肘の屈、伸筋について検討し、屈筋および伸筋の伸張性の収縮力は短縮性に比べ32.65および14.22%大きいことを確認している。著者¹⁴⁾の行った同様な実験でも、伸張性の収縮力は等尺性や短縮性の収縮力よりも大きいものであった。しかし、その程度は伸張速度と関連しており、66.1度/秒と48.4度/秒の2種類の測定速度では短縮性に比べ前者が63.2%、後者が41.2%高い値であった。肘の屈筋と伸筋における収縮速度と収縮力の間には図1のような関係のあることがJørgensen⁷⁾によって明らかにされている。

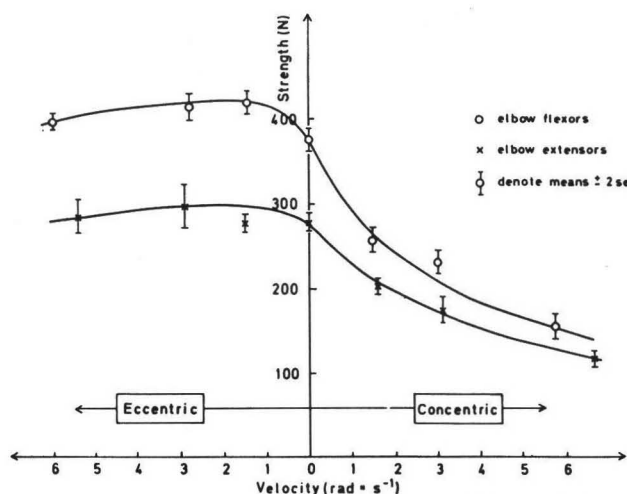


図1 肘の屈筋および伸筋における筋力と収縮速度との関係⁷⁾

エネルギー消費面からみると、eccentric exercise は concentric exercise よりも相対的に少なく、また負荷の増加に対してあまり変化しないことが Asmussen¹⁾などによって明らかにされている。

すなわち、彼は自転車のペダリング運動における positive work (concentric exercise) と negative work (eccentric exercise) について種々の条件下で検討し、positive work における酸素摂取量(y)と仕事率(x)との間には $y = 2.08x$ 、negative work では $y = 0.28x$ の関係があり、その比率は $2.08 : 0.28$ 、すなわち 7.4 倍であることを明らかにした。また、Knuttgen ら⁹⁾も eccentric と concentric exercise の比較を行った結果、両者ともに運動強度と酸素摂取量との間に正の関係が見られたが、同一仕事量における酸素摂取量は eccentric exercise の方が少なかったと報告している。Seliger²²⁾は、最大努力時でも eccentric exercise の酸素摂取量は concentric exercise よりも有意に低いことを確認している。ただし、Knuttgen らによると同一の酸素摂取量における心拍数は eccentric exercise の方が高く、また、Henriksson ら⁴⁾は主観的運動強度も同一の酸素摂取量や心拍数では eccentric exercise の方が高かったと報告している。

筋放電量の面からみると、eccentric exercise の筋放電量は同一条件(負荷、速度)において concentric exercise よりも少ないことが Bigland と Lippold²⁾などによって明らかにされている。

すなわち、彼らは lengthening (eccentric) および shortening (concentric exercise) の筋放電量 (calf muscles) を、速度と負荷を変えた種々の条件下で検討し、一定の速度では負荷に比例して両者ともに筋放電量も直線的に増加するが、その傾きは lengthening の方が小さく、一定負荷では shortening は速度に比例して筋放電量も直線的に増加するが、lengthening では速度に関係なく一定であることを明らかにしている。著者¹⁵⁾の行った実験でも eccentric exercise の単位仕事あたりの筋放電量(浅指屈筋)は

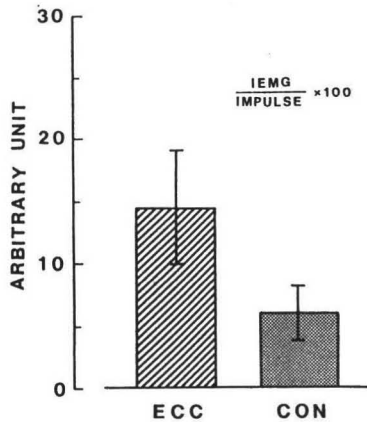


図2 同一仕事量における伸張性および短縮性収縮時の筋放電量の比較

concentric exercise の約2.5倍であった(図2)。Seliger²²⁾は、最大努力時でも eccentric exercise の筋放電量は concentric exercise よりも有意に低いことを確認している。しかし、Rodgers と Berger²⁰⁾は最大下条件では Bigland と Lippold と同様な結果を得たが、最大努力では両者の筋放電量に有意な差はみられなかったと報告している。

この他、eccentric exercise の特徴としては、concentric exercise よりも筋疲労を起こしやすいことも挙げられる。

Newham ら¹⁶⁾は、高さ46 cm の踏台の昇降運動を15あるいは20分間行った際の筋疲労について検討し、運動中の筋放電量は concentric exercise (stepping up) では変化がみられなかったが、eccentric exercise (stepping down) では疲労のため徐々に増加すること、運動後の最大筋力は eccentric exercise を行った脚の方が concentric exercise を行った脚よりも有意に減少し、電気刺激を加えて測定した筋力も eccentric exercise を行った脚における低下(低周波刺激)が大きいこと、運動後には eccentric exercise を行った脚に筋肉痛がみられること、などを明らかにしている。Talag²¹⁾も

上腕屈筋で eccentric exercise 後の筋力の有意な低下と筋肉痛を確認している。また、Komi と Vitasalo¹⁵⁾は組織および生化学的には eccentric と concentric exercise との間に有意な違いは認められなかったが、eccentric exercise 後の筋力の低下(34.6%)は concentric exercise(13.2%)よりも大きく筋肉痛がみられたと報告している。

このように eccentric exercise の主な特徴としては、①発揮される筋力が他の筋収縮様式に比べ高いこと、②エネルギー消費量および筋放電量が concentric exercise よりも相対的に少ないこと、③筋疲労が concentric exercise よりも大きいこと、などが挙げられる。これらの特徴は相互に密接な関連があると考えられるが、そのメカニズムについては十分に解明されているとは言えないのが現状である。

Ⅲ eccentric training の効果

Singh と Karpovich²³⁾は、10名の被験者を用いて、上腕伸筋の eccentric training を週 4 回(1 回のトレーニングにつき最大努力で 20 回)、8 週間を行い、その効果を検討しているが、eccentric training によって短縮性の筋力が 42.8%、伸張性の筋力が 22.9%、等尺性の筋力が 40.3% 増加し、その効果は拮抗筋にもみられたと報告している。また、小野ら¹⁷⁾も男性 3 名、女性 3 名を被験者として、上腕屈筋の eccentric training(人力で曲げた腕を伸ばす)を 1 日 1 回、9 週間行い、その効果を検討した結果、eccentric training によって静的筋力が肘関節角度 90 度で男性は 2.6%、女性は 15.6%、また 135 度ではそれぞれ 43.0 および 46.1% 増加したと述べている。したがって、eccentric training は筋力トレーニングとして有効であると思われるが、では他の筋収縮様式に基づく筋力トレーニングと比べてより有効であるかどうか、については Johnson ら⁶⁾や Seliger ら²²⁾などが否定的な報告をしている。

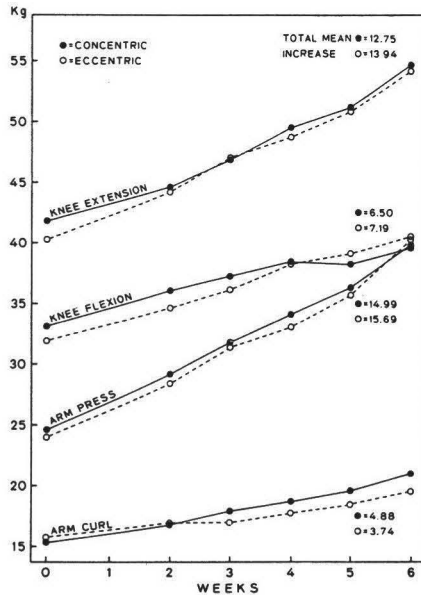


図3 eccentric および concentric training にともなう動的筋力の変化⁶⁾

すなわち、Johnson らは 8 名の大学生を被験者として、腕および脚の eccentric (1 回のトレーニングにつき 1 RM の 120% の負荷で 6 回 2 セット) および concentric (1 RM の 80% の負荷で 10 回 2 セット) training を週 3 回、6 週間行い、両トレーニングの効果を比較検討した結果、静的な等尺性の筋力も動的な短縮性の筋力も eccentric, concentric とともに有意に増加したが、両トレーニング間に差はみられなかったと報告している(図 3)。また、彼ら⁵⁾ は eccentric および concentric training とともに同じ負荷 (1 RM の 80%) を用いてその効果を比較検討しているが、やはり両トレーニング間に差はみられなかったと報告している。ただし、被験者の主観的評価では eccentric training の方が楽であったと述べている。また、Seliger らは 15 名の鍛錬された競技者を被験者として、スクワット運動による脚の eccentric (最大挙上重量の 145~150% の負荷) および concentric (最大挙上重

量の90～95%の負荷)trainingを同じ回数, 週2回, 13週間行い, 両トレーニングの効果を比較検討したが, 両トレーニングともに短縮性の筋力が下肢で52～54 kg, 上肢で6～9 kg 有意に増加したが, その増加は同程度のものであったと報告している。Pavone と Moffat¹⁸⁾も eccentric, concentric および isometric training が等尺性の筋力に及ぼす効果について検討したが, その増加量には3者間に差はみられなかったと述べている。

一方, Komi と Buskirk¹⁰⁾などは, eccentric training が他の筋収縮様式に基づく筋力トレーニングよりも一部の面で有効であるとする肯定的な報告をしている。

すなわち, 彼らは31名の男子大学生を被験者として, 上腕屈筋の eccentric(特殊なダイナモメータを用いて1回のトレーニングにつき最大努力で6回)および concentric(最大努力で6回)trainingを週4回, 8週間行い, 両トレーニングの効果を比較検討した結果, eccentric training では短縮性, 伸張性および等尺性の全ての筋力がトレーニング後に有意に増加したが, concentric exercise では等尺性の筋力には有意な増加が認められず, 平均

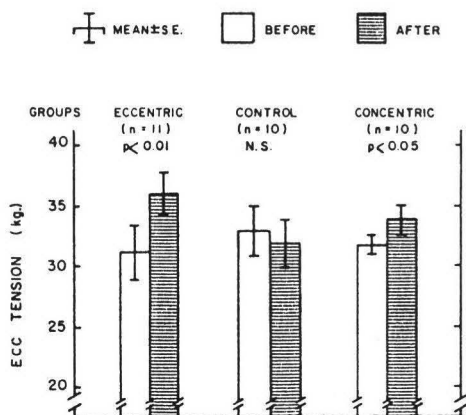


図4 伸張性の筋力における eccentric および concentric training の比較¹⁰⁾

的にみて eccentric training の方が筋力増加により有効であったと報告している(図4)。しかし、筋電図学的には両者の効果の違いは明確ではなかったと述べている。また、金原ら⁸⁾は、4名の被験者を用いて、上腕伸筋の eccentric(1回のトレーニングにつき約2秒間の伸張性収縮を最大努力で3回と最大筋力の2/3の負荷で10回)および concentric(1RMを3セットとその約2/3の負荷で all-out まで)training を週3日、約7週間行い、その効果を比較検討しているが、eccentric training は静的筋力、動的筋力および上腕の太さにおいて concentric training よりも優れている傾向にあったと報告している。しかし、スピードのある短縮性収縮あるいは短縮性の筋持久力においては concentric training の方が優れている傾向にあったと述べている。Laycoe と Martenik¹²⁾は、45名の被験者を用いて、脚の eccentric(1回のトレーニングにつき約6秒間の伸張性収縮を最大努力で3回)および isometric(6秒間の等尺性収縮を3回)training を週3回、6週間行い、両トレーニングの効果を比較検討した結果、静的な筋力は eccentric(17.0%)および isometric(17.4%)ともに有意に増加したが、伸張性の筋力は eccentric training によって有意に増加(41.2%)したと報告している。ただし、等尺性と伸張性の筋力との間には有意な相関は認められなかったと述べている。

ところで、前述したように eccentric training を支持する声としては、① concentric training などよりも大きな負荷重量を用いてトレーニングを行えるため、concentric training よりも大きな効果が期待できるのではないか、また、②伸張性の筋力を高めるのにより有効ではないか、とするものである。しかし、①については Johnson らおよび Seliger らの実験結果などから推察すると、今のところウェイトトレーニングにおいては否定的な見方ができる。ただし、等速性の負荷を用いた場合は Komi と Buskirk の報告にみるように結果が異なることも考えられる。②については Komi

と Buskirk, Laycoe と Marteniuk の実験結果, およびトレーニングの特異性などを考慮すると肯定的な見方もできるように思われる。

しかし, eccentric training の筋力トレーニングとしての有効性はここに挙げたいくつものトレーニング実験によって認められているが, 他の筋収縮に基づくトレーニングとの比較においては必ずしも一致した結論は得られていない。これはそれぞれのトレーニング実験の条件(被験者, 負荷, 頻度, 期間および判定法)が異なるためであると考えられる。事実, Petersen¹⁹⁾が女性24名, 男性23名を被験者として, 上腕屈筋の eccentric(簡単なてこを用いた器具を使って1回のトレーニングにつき最大努力で10回)および isometric(最大努力で1回あるいは10回)training などを20~36日行い, その効果を検討した実験では, isometric training(最大努力で10回)では等尺性の筋力に増加の傾向がみられたが, eccentric training では筋力の増加が認められず, その効果を否定する結果を得ているが, これは明らかにトレーニング条件が不適切であったものと推察される。

Ⅳ おわりに

人間を対象としたトレーニング実験では, 動物実験とは大きく異なり, さまざまな制約を受けるのが常である。したがって, eccentric training に関する科学的なトレーニング実験についても, 現在までに決して系統的に幅広く行われてきたとは言えず, 今後検討を要する未知な部分も少なくないように思われる。特に, 特異性に関しては詳細な検討が必要であろう。

参 考 文 献

- 1) Asmussen, E. : Positive and negative muscular work. Acta Physiol. Scand. **28** : 364-382(1952)
- 2) Bigland, B. and Lippold, O. C. : The relation between force, velocity and inte-

- grated electrical activity in human muscle. *J. Physiol.* **123** : 214-224(1954)
- 3) Doss, W. S. and Karpovich, P. V. : A comparison of concentric, eccentric and isometric strength of elbow flexors. *J. Appl. Physiol.* **20** : 351-353(1967)
 - 4) Henriksson, J., Kunttgen, H. G. and Bonde-Petersen, F. : Perceived exertion during exercise with concentric and eccentric muscle contractions. *Ergonomics* **15** : 537-544(1972)
 - 5) Johnson, B. L. : Eccentric vs. concentric muscle training for strength development. *Med. Sci. Sports* **4** : 111-115(1972)
 - 6) Johnson, B. L., Adamczyk, J. W., Tennoe, K. O. and Stromme, S. B. : A comparison of concentric and eccentric muscle training. *Med. Sci. Sports*. **8** : 35-38 (1976)
 - 7) Jørgensen, K. : Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. In : *Biomechanics V-A* (Komi, P. V. ed.) Vol. IA, pp. 145-151, University Park Press : Baltimore(1975)
 - 8) 金原勇, 三浦望慶, 押切由夫 : Eccentric Contraction による筋力トレーニングの実験的研究. *東京教育大学体育学部スポーツ研究所報* **3** : 31-41(1965)
 - 9) Knuttgen, H. G., Petersen, F. B. and Klausen, K. : Oxygen uptake and heart responses to exercise performed with concentric and eccentric muscle contractions. *Med. Sci. Sports* **3** : 1-2(1971)
 - 10) Komi, P. V. and Buskirk, E. R. : Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* **15** : 417-434(1972)
 - 11) Komi, P. V. and Vitasalo, J. T. : Changes in motor unit activity and metabolism in human skeletal muscle during and after repeated eccentric and concentric contractions. *Acta Physiol. Scand.* **100** : 246-254(1977)
 - 12) Laycoe, R. R. and Marteniuk, R. G. : Learning and tension as factors in static strength gains produced by static and eccentric training. *Res. Quart.* **42** : 299-306(1971)
 - 13) Malone, T. R. : Evaluation of isokinetic equipment. *Sports Injury Management*

1 : 1-92(1988)

- 14) 村松茂：等速性筋収縮における伸張性および短縮性収縮力について。横浜市立大学紀要体力医学編 **12** : 41-48(1983)
- 15) 村松茂：伸張性および短縮性筋収縮に基づく動的握力の筋電図学的研究。
横浜市立大学紀要体力医学編 **13** : 1-7(1984)
- 16) Newham, D. J., Mills, K. R., Quigly, B. M. and Edwards, H. T. : Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science* **64** : 55-62 (1983)
- 17) 小野三嗣, 倉田博, 柳本昭人, 石井令三, 山本直道, 森下芳郎, 矢上宗国, 山本博：Training 方法の差が筋肉に及ぼす影響の差について(第1報)Eccentric と Concentric の差を中心として。体力科学 **19** : 110-112(1970)
- 18) Pavone, E. and Moffat, M. : Isometric torque of the quadriceps femoris after concentric, eccentric and isometric training. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **66** : 168-170 (1985)
- 19) Peterson, B. F. : Muscle training by static, concentric and eccentric contractions. *Acta Physiol. Scand.* **48** : 406-416(1960)
- 20) Rodgers, K. L. and Berger, R. A. : Motor-unit involvement and tension during maximum, voluntary concentric, eccentric, and isometric contraction of the elbow flexors. *Med. Sci. Sports* **6** : 253-259(1974)
- 21) Talag, T. S. : Residual muscular soreness as influenced by concentric, eccentric, and static contractions. *Res. Quart.* **44** : 458-469(1973)
- 22) Seliger, V., Dolejs, L. and Karas, V. : A dynamometric comparison of maximum eccentric, concentric, and isometric contractions using EMG and energy expenditure measurements. *Eur. J. Appl. Physiol.* **45** : 235-244(1980)
- 23) Singh, M. and Karpovich, P. V. : Effect of eccentric training of agonists on antagonistic muscle. *J. Appl. Physiol.* **23** : 742-745(1967)
- 24) Singh, M. and Karpovich, P. V. : Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors. *J. Appl. Physiol.* **21** : 1435-1437(1966)