

肘関節屈筋群と伸筋群の短縮性筋活動における収縮速度特性

Velocity specificity of elbow flexor and extensor muscles during isotonic contractions in men

角 田 直 也*, 中 野 雅 之**, 矢 田 秀 昭***

Naoya TSUNODA *, Masayuki NAKANO **, Hideaki YATA ***

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the velocity characteristics of the flexor and extensor muscles with isotonic contraction during concentric action in humans. Fifteen male physical education students were participated as subjects. Isometric maximal voluntary torque and peak velocity with isotonic contractions of the elbow flexor and extensor muscles were measured by Biodex System 2 AP model dynamometer. The elbow extensor muscle resulted with remarkably higher values in comparison with the flexor muscles for isometric peak torques. The peak velocity due to maximal muscle contraction was gained at free load for both flexor and extensor muscles. According to an increase of resistance loads, the peak velocity was decreased in both flexor and extensor muscles, and flexor muscles showed a remarkably higher decrease in the velocity than extensor muscles. The joint angles obtained at peak velocities with each resistance loads showed almost same positions for each muscle in flexors and extensors. The extensors muscle showed higher values than the flexors in the ratio of variance of the velocities in 30 degrees each against the peak velocity with free load for all resistance loads.

Key words; Elbow flexor and extensor, Contraction velocity, Isotonic contraction.

はじめに

身体活動は骨格筋の収縮によって発生される筋出力によって生ずる。その骨格筋の収縮時における生理学的、力学的特性を明らかにする試みは Fenn and Marsh (1935)、Hill(1938)、Wilkie (1950) たちによって古くから行われている。Hill(1938) は蛙の摘出筋を用いて、筋の収縮速度は筋出力の

増大に伴って減少する関係を特性方程式で説明した。その関係をヒトの生体内の上腕屈筋群で明らかにしたのはWilkie(1950)であり、Hillの特性方程式が人体筋に応用し得ることを認めた。その特性方程式は人体筋の力学的分析に多く用いられ、金子(1965)は肘関節屈筋群について、また、川初と猪飼(1972)は大腿の筋群について、それぞれ特性方程式が利用できることを慣性法を用いて確認し

* 国士舘大学体育学部身体運動学教室(Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学体育学部スポーツ・リハビリテーション教室(Lab. of Sports Rehabilitation, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

*** 和光大学人文学部人間関係学部体育学研究室(Lab. of Physical Education, Faculty of Human Relations, Wako university)

ている。

その後、等速性筋力測定装置の開発により、関節の回転角速度を一定にして筋力を測定し、ヒトの生体内における筋の力-速度関係に関する研究が数多くなされている (Perrin and Edgerton (1978)、Seger et al. (1988)、Hortobagui and Katch (1990)、Perrin (1993)、Gulch(1994))。これらの方法による多くの報告でも先述の方程式で説明できることが再確認されている。しかし、筋出力が大きいところでは2相性を示すことも確かめられており、ヒトの生体筋を用いた場合の神経筋機構の関与が考えられている (Perrin and Edgerton (1978))。また、青木ら(1982)は上腕伸筋群での短縮性活動時で、筋や関節の粘弾性要素による力学特性に加えて、収縮前半の神経系の制御機構の関与する期間と主動筋のもつ化学反応に基づいた力-速度特性の関与する期間の2つに分離して考えられることを示唆している。一方、筋力トレーニングの方法によって筋の力-速度関係は変化するがその主たる要因は神経筋機構の改善にあることも指摘されている (Behm and Sale (1993))。

この様にヒトの生体内における筋の収縮特性に関する知見は数多くなされている。しかし、等張性筋力測定装置による筋収縮速度を測定し、屈筋と伸筋の収縮特性の差異を明らかにした研究は筆者らの知る限り大変少ない (Jorgensen (1976))。

そこで、本研究では等張力性による筋収縮速度測定が可能である総合筋力測定装置を用いて上腕

の屈筋群と伸筋群の収縮速度特性について検討した。

方 法

I. 被験者

本研究の被験者は体育学部男子学生15名であった。被験者の年齢、身長及び体重の平均と標準偏差値はそれぞれ21.8±0.9歳、171.3±4.2cm及び71.9±10.1kgであった。各被験者には研究の目的、内容等について十分説明し、本研究への任意による参加の同意を得た。

II. 等尺性最大筋力の測定

等尺性最大筋力の測定はBiodex System2 AP model (Biodex社、New York, USA) のIsometric modeを用いて、肘関節の屈曲と伸展について実施した。測定時の肘関節角度は屈曲及び伸展時で、それぞれ60°及び90°屈曲(完全伸展時を0°とする)とし、重力補正は完全伸展位で行った。

測定に際しては被験者を測定用椅子に座らせ、股関節角度を90度とし、体幹部をシートベルトで固定した。測定は全被験者とも利き手について行った。各被験者とも随意最大努力での試行を3度行い、最も高い値を最大トルクとして採用した。各測定の試行間の休憩は被験者の疲労を考慮し、約3分間とした。

表1. 肘関節屈筋群と伸筋群の筋収縮速度

Load (Nm)	Flexion		Extension	
	%MVC	Velocity(deg/sec)	%MVC	Velocity(deg/sec)
0	0	400.9 ± 38.5	0	435.9 ± 5.8
5	3.4±0.6	397.5 ± 31.5	2.5±0.6	434.3 ± 7.4
10	17.1±2.8	348.6 ± 40.7	12.7±3.2	430.4 ± 6.6
15	25.7±4.2	297.1 ± 42.5	19.1±4.7	425.2 ± 18.5
20	34.3±5.5	247.9 ± 41.9	24.9±6.7	411.3 ± 26.6
25	42.8±6.9	190.4 ± 35.2	31.8±7.9	387.8 ± 42.9
MVC	100	0	100	0

%MVC：随意最大筋力に対する比率を示す。

Mean ± S.D.

Ⅲ. 等張力性収縮による筋収縮速度の測定

筋収縮速度の測定は最大筋力の測定と同様に Biodex System2 の Isotonic mode (測定可能な最大速度は $500^{\circ}/\text{sec}$) を用いて実施した。肘関節屈曲と伸展の等張力性収縮による短縮性筋活動での筋収縮速度は0、5、10、15、20及び25Nmの負荷での最大角速度と肘関節角度が 30° 変化した時点の角速度(CJA30)を測定した。また、最大角速度発生時の肘関節角度も検出した。最大筋収縮速度や関節角度の検出は測定装置に連結されたマイクロコンピュータ (Biodex System2 用分析Soft) によって行った。測定に際しては試行順序や筋疲労等が測定値に影響を及ぼさぬよう各負荷の順序は無作為とし、全被験者とも試行間に十分な休息(4から5分)を与えた。

結 果

本研究で得られた肘関節の屈筋群及び伸筋群における等尺性最大トルクはそれぞれ $59.9 \pm 10.4\text{Nm}$ 及び $82.9 \pm 18.1\text{Nm}$ であり、伸筋群の方が有意高い値を示した($p < 0.001$)。

表1は短縮性活動による等張性収縮時の屈筋群及び伸筋群における筋収縮速度を加重負荷との関係について示した。最大筋力に対する加重負荷の割合は屈筋群が0から42.8%、伸筋群で0から31.8%であった。

屈筋及び伸筋ともに最大収縮速度は無負荷加重で出現し、それぞれ $400.9 \pm 38.5^{\circ}/\text{sec}$ 及び $435.9 \pm 5.8^{\circ}/\text{sec}$ であった。各筋群ともその速度は負荷の増大に伴って低下する様相がみられたがその傾向は屈筋においてより顕著であった。

表2は各加重負荷における最大収縮速度が生じた関節角度を示したものである。最大収縮速度が得られた関節角度は加重負荷の大小に関係なく、屈筋群では約 86° から 94° 屈曲付近で、伸筋群では約 35° から 40° 屈曲付近であり、負荷による顕著な差異は認められなかった。

また、関節角度が動作開始から30度変化した時

点の収縮速度(CJA30)とその最大速度に対する比率(%PV)を屈筋と伸筋群について加重負荷との関係で比較したのが表3である。屈筋群及び伸筋群ともに、CJA30は無負荷で最も高い値を示し、25Nmの負荷で最も低い値を示した。他の負荷についてみると、屈筋群では加重負荷が増大するに伴って収縮速度は低下する傾向を示した。これに比較して伸筋群の場合は5-20Nmの負荷には関係なく約 300 から $340^{\circ}/\text{sec}$ の値であった。

%PVは屈筋群及び伸筋群ともに加重負荷量との間に様な様相はみられなかった。しかし、その値は屈筋群と伸筋群では異なる傾向が認められた。

論 議

本研究では短縮性筋活動による肘関節屈筋群と伸筋群の等張性収縮での筋収縮速度特性について検討した。その結果、等尺性随意最大筋力は屈筋群に比べて伸筋群の方が著しく高い値を示した。これはこれまでに報告されている結果を強く支持するものである(金子ら(1976)、Jorgensen(1976)、Hortobagui and Katch (1990))。

最大収縮速度は屈筋及び伸筋ともに無負荷加重で出現し、それぞれ $400.9 \pm 38.5^{\circ}/\text{sec}$ 及び $435.9 \pm 5.8^{\circ}/\text{sec}$ であった。各筋群ともその速度は負荷の増大に伴って低下する様相がみられたがその傾向

表2. 肘関節屈筋群と伸筋群の最大筋収縮速度が観察された時点の関節角度

Load (Nm)	Flexion (deg)	Extension (deg)
0	94.2 ± 10.3	38.3 ± 9.1
5	94.4 ± 9.1	40.8 ± 12.7
10	93.0 ± 8.9	38.1 ± 10.2
15	93.0 ± 11.3	38.4 ± 10.0
20	91.3 ± 12.0	38.4 ± 8.6
25	86.9 ± 18.7	35.1 ± 9.7

関節角度は完全伸展位を0度とする。 Mean \pm S.D.

は屈筋においてより顕著であった。

これまでにヒトの肘関節屈筋と伸筋の力-速度関係に関する研究によると、屈筋群に比べて伸筋群の方が等尺性最大筋力は高く、相対筋力(加重負荷の最大筋力に対する比率)あたりの筋収縮速度も高いことが5名の被検者で確かめられている(Jorgensen (1976))。その差異を生じさせた要因として、上腕二頭筋に比較して上腕三頭筋の方が速筋線維の割合が高いことがあげられている。また、青木ら(1982)は上腕伸筋群での短縮性活動時で、筋や関節の粘弾性要素による力学特性に加えて、収縮前半の神経系の制御機構の関与する期間と主動筋のもつ化学反応に基づいた力-速度特性の関与する期間の2つに分離して考えられることを示唆している。

本研究で得られた力-速度関係はJorgensen (1976)の報告と同様に%MVCあたりの筋収縮速度は屈筋より伸筋群の方が高い値を示す傾向が認められた。さらに、本研究での伸筋群の筋収縮速度は加重負荷の増大に伴って、その低下割合は屈筋群より顕著でなかったことである。これは青木ら(1982)が指摘している筋や関節の粘弾性要素による力学特性と神経系の制御機構の関与が屈筋と伸筋では異なっていることが推察される。

一方、最大収縮速度が検出された関節角度は屈筋及び伸筋群ともに、それぞれ加重負荷量に関係なくほぼ一定の値であり、屈曲が約86から94°、伸展が約35から40°であった。このことは筋力ト

レーニング実施の際に収縮速度への効果は屈曲と伸展では異なるであろうことを示唆しているものと考えられる。

また、屈筋と伸筋のトレーニングの可能性は変わらない(金子ら(1976))が筋力トレーニングの方法によって筋の力-速度関係は変化することが指摘されている(Jorgensen (1976)、Behm and Sale (1993))。そこで、これまでに報告させているBiodex System2 総合筋力測定装置での筋力-筋収縮速度関係に関する測定では等尺性や等速性での測定が主であり(Perrin (1993))、等張性収縮による試みはほとんどなされていない。スポーツや身体活動の場面においては等張性収縮での筋収縮特性について、さらに検討する必要性が考えられた。

ま と め

本研究では体育学部男子学生15名を対象として、Biodex System2 AP modelを用いて、短縮性筋活動による上腕の屈筋群と伸筋群の等張性収縮時の収縮速度特性について検討した。

その結果、等尺性最大トルクは屈筋に比べて伸筋の方が著しく大きな値を示した。最大筋収縮速度は各筋群ともに無負荷時で得られ、負荷の増大に伴って減少する様相を示したがその傾向は屈筋群でより顕著であった。最大筋収縮速度が現れた関節位置は各筋毎に、全ての負荷でほぼ同様な角度であった。また、最大速度に対する30度変化時

表3. 肘関節角度30度変化時の筋収縮速度

Load (Nm)	Flexion		Extension	
	(deg/sec)	%PV	(deg/sec)	%PV
0	253.2 ± 54.4	62.5 ± 9.6	360.9 ± 81.2	82.7 ± 18.7
5	246.6 ± 51.6	61.1 ± 10.3	341.9 ± 79.8	78.5 ± 18.3
10	202.6 ± 51.6	57.3 ± 11.5	324.6 ± 83.8	75.3 ± 19.6
15	190.4 ± 51.9	65.8 ± 17.7	333.3 ± 82.0	78.4 ± 19.5
20	132.0 ± 55.6	51.6 ± 12.5	306.3 ± 85.3	74.0 ± 26.9
25	99.0 ± 56.4	49.5 ± 15.6	284.3 ± 90.0	74.2 ± 29.0

%PVは最大収縮速度に対する比率を示す。

Mean ± S.D.

の速度の比率は各負荷ともに伸筋群の方が高い傾向を示した。

本研究は体育学部附属体育研究所の平成6年度研究助成によって実施した。

引用・参考文献

- 1) 青木 久, 三田勝巳, 矢部京之介: 肘関節伸展における動的筋力, 速度, パワーの分析. 体育学研究 27(1): 27-34, 1982.
- 2) Behm D.G. and Sale D.G.: Velocity specificity of resistance training. Sports Medicine 15(6):374-388, 1993.
- 3) Fenn WO, and Marsh BS: Muscular force at different speeds of shortening. J Physiol 85: 277-297, 1935.
- 4) 福永哲夫: 筋の形態変化と筋力アップ. J.J. Sports Sci. 12(3): 152-159, 1993.
- 5) 福永哲夫, 川上泰雄: 筋の活動様式と筋力. 体育の科学41(1): 63-68, 1991.
- 6) Gulch R.W.: Force-velocity relations in human skeletal muscle. Int J Sports Med 15: S2-S10, 1994.
- 7) Hill A.V.: The heat of shortening and the dynamic constants of muscles. Proc Roy Soc B 126: 136-195, 1938.
- 8) Hortobagui T and Katch FI: Eccentric and concentric torque-velocity relationships during arm flexion and extension. Eur J Appl Physiol 60: 395-401, 1990.
- 9) Jorgensen K: Force-velocity relationship in human elbow flexor and extensors. Biomechanics V, 145-151, 1976.
- 10) 金子公宥, 山崎 武, 穴倉保雄: 肘の屈・伸筋力における「トレーニング能」について. 体育学研究 21(2): 95-99, 1976.
- 11) 金子公宥: 慣性エルゴメーターによる人体・筋パワーの研究. 体育学研究 8: 72-82, 1972.
- 12) 川初清典, 猪飼道夫: ヒトの脚筋パワーと力・速度要因(II) 力・スピード・パワーにおける個人特性について. 体育学研究 17: 17-24, 1972.
- 13) Seger J.Y., et al.: A new dynamometer measuring concentric and eccentric muscle strength in accelerated, decelerated, or isokinetic movements - validity and reproducibility -. Eur J Appl Physiol 57: 526-530, 1988.
- 14) 田巻弘之 ら: 最大随意収縮および電気刺激による母指内転運動の張力・速度関係. J.J. Sports Sci. 10(12): 828-834, 1991.
- 15) Perrin DH: Isokinetic exercise and assessment. Human Kinetic Publishers, 1993.
- 16) Perrin J.J. and Edgerton R.: Muscle force-velocity relationships under isokinetic loading. Med Sci Sports 10: 159-166, 1978.
- 17) Wilkie DR: The relation between force and velocity in human muscles. J Physiol 110: 249-280, 1950.

