バドミントン選手の左右上腕二頭筋の筋線維伝導速度

松永 智¹⁾, 佐渡山亜兵²⁾, 小野満 哲³⁾
増田 正²⁾, 勝田 茂⁴⁾

- 1) 大阪市立大学教養部
- 2) 生命工学工業技術研究所
- 3) 茗溪学園中学校・高校
- 4) 筑波大学体育科学系

Muscle Fiber Conduction Velocity in Right and Left Biceps Brachii for Badminton Players

Satoshi MATSUNAGA¹⁾, Tsugutake SADOYAMA²⁾, Satoru ONOMITU³⁾
Tadashi MASUDA²⁾ and Shigeru KATSUTA⁴⁾

- 1) Department of Liberal Arts, Osaka City University
- 2) National Institute of Bioscience and Human-Technology
- 3) Meikei Gakuen Junior and Senior High School
- 4) Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

The purpose of this study was to investigate the laterality of muscle fiber conduction velocity in biceps brachii for badminton players, who have stronger arm in the handedness side for long term training. The muscle fiber conduction velocity was calculated from the propagation time of the action potentials along the muscle fibers and the electrode separation using cross-correlation method.

For badminton players, significant lateral differences (e.g. right side skillfull) were observed in the upper arm girth ($P < 0.01$) and isokinetic peak torque at 0, 10, 20, 30, 40 rpm ($P < 0.01$). For control subjects, significant lateral differences were in upper arm girth ($P < 0.05$) and isokinetic peak torque at exactly 30 rpm ($P < 0.05$). As for muscle fiber conduction velocity, there were no statistically significant differences between right (4.16 ± 0.34 m/sec) and left (4.08 ± 0.34 m/sec) sides in badminton players, and the control group exhibited same tendency (right: 4.36 ± 0.25 m/sec, left: 4.28 ± 0.33 m/sec) as well.

These results suggest no training-induced change in the muscle fiber conduction velocity.

(Ann. Physiol. Anthropol. 12(4): 251-257, 1993)

Key words: Muscle fiber conduction velocity, Badminton players, Biceps brachii, Laterality

筋収縮中の活動電位が筋線維を伝わる速度は多点の表面電極を用いて得られる筋電図より容易に計測されるようになった(Lynn, 1979). これは電極直下の多数

の筋線維の活動電位を加重した干渉波形からなる筋電図より得られるもので(三木威勇治と時実利彦, 1967), 活動している多数の運動単位の平均的な活動電位伝導

速度と言われている (Masuda et al., 1982).

この筋線維伝導速度は収縮力にともなって増大し (Sadoyama et al. 1985), 筋疲労にともなって低下することから (Eberstein & Beattie, 1985), 運動単位タイプとの関連性が示唆されている (Arendt-Nielsen & Mills, 1985). このため, この筋線維伝導速度は「サイズの原理」(Henneman et al., 1965) に基づく運動単位タイプの新たな指標として提案されている (Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989).

この伝導速度は筋電図より得られるパワースペクトル (Bigland-Ritchie et al., 1981; Sadoyama et al., 1983; Arendt-Nielsen & Mills, 1985) と密接に関連していることが知られている. また運動単位の発火頻度 (Nishizono et al., 1989), 筋線維の太さ (Troni et al., 1983; Broman et al., 1985) や筋線維組成 (宮田ら, 1985) などにより影響を受けることが報告されている (Morimoto & Masuda, 1984; Juel, 1988; Arendt-Nielsen & Zwarts, 1989).

その中でも筋線維組成との関連から, 宮田ら (1985) は陸上競技の短距離選手と長距離選手の外側広筋の筋線維組成と筋線維伝導速度との関係を調べ, そこに有意な関係を見だしている. さらに宮田ら (1989) は各種スポーツ選手の外側広筋の筋線維伝導速度を調べた結果, その筋に速筋 (FT) 線維の占める割合が高い瞬発的な競技種目の選手は筋線維伝導速度が速いことを, また遅筋 (ST) 線維の割合が高い持久的な競技種目の選手はその速度が遅い傾向を示した. このことにより, 筋線維の伝導速度はスポーツ適性を知るための手段として示される一方, そのためにはトレーニングによる影響を考慮する必要があることが示唆された.

松永ら (1990) は筋力の増大と筋肥大を引き起こした16週間の筋力トレーニングの前後で, 筋線維伝導速度を計測した結果, その速度はわずかに増加したが, 有意差は認められないことを報告した. しかし, 長期間のトレーニングによって, 伝導速度がどのようにに影響を受けるかということに関しては明らかにされていない.

そこで本研究は, 長期間にわたりトレーニングを行っているバドミントン競技者の利き手, 非利き手の形態・機能的差異を測定し, 長期にわたるトレーニングが筋線維伝導速度に及ぼす影響について, 利き手と非利き手に着目して検討を行った.

方 法

被検者はバドミントン部 (関東1部リーグ) に所属する大学生6名である. これらの被検者は7~10年間のバドミントン競技歴を持ち, この競技の種目特性から上肢の利き側を主にトレーニングしている学生である (P群). また特には上肢の一侧をトレーニングしていない健康な成人6名を対照群 (B群) とした. あらかじめ各被検者に利き手を申告させた結果, P, C群ともすべての被検者は右利きであった. 表1に被検者の身体的特性を示した.

Table 1 Physical characteristics of subjects in badminton players and control group

Variables	Players		Control	
	Mean	SD	Mean	SD
Age(yrs)	21.0	1.3	24.7	1.4
Height(cm)	168.4	3.4	172.0	5.5
Weight(kg)	63.8	4.2	62.7	4.3
Body fat(%)	8.9	8.9	9.0	1.5
Careers(yrs)	9.0	1.3	---	---

トレーニングにより形態的变化が生じていることが考えられるため, 形態的測定として, 上腕囲及び皮脂厚を計測した. 上腕囲の測定にはマルチンの巻尺を, 皮脂厚には榮研式皮脂厚計を用いた. なお皮脂厚はトレーニング効果の部位による差が考えられるため, 上腕の前部 (Anterior), 後部 (Posterior), 内側部 (Inside), 外側部 (Outside) と, そして体脂肪率を推定するために腹部並びに大腿部を測定した (佐藤, 1975).

機能的測定として等速性並びに等尺性最大肘屈曲力と筋線維伝導速度を計測した. 等速性並びに等尺性最大肘屈曲力の測定にはCybex II (ルーメックス社製) を用いた. これらの測定に際し, 被検者は椅座位で正対した台上に上腕をのせ, 等速性最大筋力の測定では肘関節が180度の伸展状態から90度に至る肘屈曲運動を角速度10, 20, 30, 40度/秒 (rpm) で, 等尺性最大筋力の測定では, 肘関節を90度に固定して肘屈曲運動

Fig. 1 Schematic representation of an surface electrode array (a) an example of four myoelectric signals (b).

を行った。また測定は2回行い、体重差を考慮するためにその値は体重による相対値として算出し、その高値を最大筋力とした。

筋電位の導出には、直径1.0mm、長さ10.0mmのステンレス線を5.0mm間隔で5本平行に並べたアレイ電極を用い(図1(a))、この電極を筋線維の走行と直角となるように、かつ神経支配帯より遠位に配位した(Sadoyama et al. 1985)。その際、予備的に最大下の随意収縮を行なわせ、コンピューター画面上に一定時間遅れを持つ筋電波形が得られるようアレイ電極の位置と方向を調節した。被検者には椅座位で正対した台の上に上腕をのせた姿勢で、肘関節角度90度、回外位の

状態で最大肘屈曲運動を行わせ、この最大等尺性収縮中(図2)の筋電位を計測した。この筋電位は隣り合う電極から双極性に4チャンネル同時に記録し(図1(b))、アース電極は肘頭上に置いた。

生体増幅器の周波数帯域は53Hz~1kHzとし、増幅された筋電信号はサンプリング周波数5kHzでA/D変換し、フロッピーディスクに1チャンネル当り4096ポイント、約0.8秒間記録した。図1(b)は、筋活動電位の伝播パターンの一例である。活動電位の伝導速度は隣り合う2つの電極から得られる筋電波形の伝播時間差と電極間距離から相関法により計測した(Naeije & Zorn, 1983)。またその際、信号間の相関係数が最も高い組合せを選択し、その相関係数が0.8以下の場合には、筋電位の再計測を行なった。

実験結果

形態測定の結果として、表2に左右の上腕囲と表3に皮脂厚の平均値と標準偏差を示した。

Table 2 Upper arm girth

Variables	Players		Control
Girth (cm)			
R	29.1 ± 1.5	**	27.8 ± 1.8
L	27.4 ± 1.5		27.0 ± 1.8
Diff.	1.7 ± 0.6	#	0.7 ± 0.7

Values are expressed as means±SD of the mean. R and L designed right and left, respectively. Diff. designed value of R minus L. *, ** indicate a significant difference between right and left ($P<0.05$, 0.01). # indicates a significant difference between players and control ($P<0.05$).

Fig. 2 Schematic representation of measurement of muscle fiber conduction velocity.

上腕囲についてはP群では右側 (29.1 ± 1.5 cm) が、左側 (27.4 ± 1.5 cm) より1%水準で有意に高値を示し、C群もまた右側 (27.8 ± 1.8 cm) が左側 (27.0 ± 1.8 cm) より5%水準で有意に高値であった。また、左右の違いはP群の方がC群より大きかった ($P < 0.05$)。

皮脂厚については、P群では上腕外側部の右側 (6.3 ± 1.3 mm) が左側 (7.1 ± 1.4 mm) より有意に低値を示した ($p < 0.05$)。C群では左右による差は認められなかった。

一方、機能的測定については、肘屈曲の等速性最大筋力を体重に対する相対値で図3に示した。P群では全ての角速度で右側が左側より有意に高い値を示した ($P < 0.01$)。また、C群でも同様に右側が左側より高い値を示したが、有意差が認められたのは30rpmの場合だけであった ($P < 0.05$)。

Fig. 3 Isokinetic peak torque at different elbow angular velocity during elbow flexion exercise. All statistical comparison are between right and left sides: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

また図4に等尺性最大肘屈曲力を体重による相対値で示した。この最大筋力はP群の右側が左側より有意 ($P < 0.05$) に高値を示したが、C群にはその差は認められなかった。

Fig. 4 Isometric torque during elbow flexion exercise. All statistical comparison are between right and left sides: * $P < 0.05$.

等尺性最大筋力発揮時における活動電位の伝導速度について、P群およびC群の左右差を図5に示した。P群では、伝導速度は右側 (4.16 ± 0.34 m/sec) が左側 (4.08 ± 0.34 m/sec) よりわずかに2.0%速かったが有意差は認められなかった。C群についても右側 (4.36 ± 0.25 m/sec) が左側 (4.28 ± 0.33 m/sec) より1.9%速い値を示したが有意差は認められなかった。P群とC群を比較すると、ややC群の方が速い値を示したが有意差は認められなかった。

Fig. 5 Muscle fiber conduction velocity in biceps brachii of badminton players and control subjects.

考 察

ヒトにはいわゆる利き手, 利き足のように, 機能的に非対称で一側優位の左右差が認められており, これに関する多くの研究が古くから行われている(万井ら, 1971; 木村と浅枝, 1974; 浅見ら, 1981). 本研究では, 長期にわたるトレーニングが筋線維伝導速度に及ぼす影響について調べるために, バドミントン競技者の利き手, 非利き手の形態, 機能的測定を行い, トレーニングと筋線維伝導速度の関係を検討した.

その結果, 上腕囲がバドミントンプレーヤーであるP群で5.9%($P<0.01$), 対照としたC群で3.7%($P<0.05$)それぞれ左側より右側で有意に大きかった. また, 皮脂厚がP群の外側部で右側より左側で有意に高値を示したが($P<0.05$), その他の部位ではP, C群とも右側, 左側との間に差がみられなかった. 浅見ら(1981)も剣道, 投てき選手の上腕最大囲は, 利き側が有意に大きいこと(剣道: $P<0.01$, 投てき: $P<0.05$)を示し, こうした違いが非対称的運動の結果生じたものと考察している. これらのことから, 本研究の場合も利き側の上腕にP, C群ともに一側を優位にトレーニングを行った影響が表れたと考えられる(表2, 3).

Table 3 Skinfold thickness

Variables		Players	Contorol
Skinfold (mm)			
Anterior	R	3.0 ± 0.5	3.1 ± 1.0
	L	2.8 ± 0.7	2.7 ± 0.3
Outside	R	6.3 ± 1.3	6.6 ± 1.2
	L	7.1 ± 1.4	6.4 ± 0.9
Posterior	R	6.3 ± 1.7	5.1 ± 0.4
	L	6.8 ± 2.2	4.9 ± 1.0
Inside	R	2.8 ± 0.8	2.6 ± 0.4
	L	2.3 ± 0.6	2.9 ± 0.9

Values are expressed as means±SD of the mean. R and L designed right and left side, respectively. * indicates a significant difference between right and left ($P<0.05$).

等速性最大筋力において, C群の30rpmを除いた角速度では右側と左側には差がみられなかったが, P群では全ての角速度で右側が左側より有意に大きかった($P<0.01$, 図3). 等尺性最大筋力においては, P群

で右側が左側より有意な差が認められた($P<0.05$, 図4). これらから, 利き側と非利き側の筋力の有意な差は優先的な一側優位の使用や長期間のトレーニングによる適応と考えられる.

筋電図による左右差に関する研究は, 最大下での筋収縮でKasser & Lehr (1979), Sato (1982)は上腕二頭筋を被検筋に用いた実験で, 周波数スペクトルには左右差がないことを報告している. 一方, DeLuca (1986)は最大随意収縮中, 利き手, 非利き手の第一背側骨格筋には周波数スペクトルに差があることを報告し, これが優先的な利き手使用によりもたらされた筋線維組成の変化に起因すると考察している.

本研究では, 多くの運動単位が筋活動に参加する最大随意収縮中の筋線維伝導速度を測定した結果, その速度はP群で2.0%, C群で1.9%左側より右側が速いものであったが, これらの差は有意なものではなかった.

Troni et al. (1983)は上腕周径が女性より大きい成人男性の筋線維伝導速度が有意($P<0.01$)に女性のそれより速かったことより, この速度は上腕の周径の違いに, そしてこれらより推測される筋線維の大きさの違いに影響されることを示唆している. Broman et al.

(1985)は収縮レベルの増加にともない筋線維伝導速度が増大するのは, 低強度では筋線維直径が小さいST線維が動員されているのに対し, 強度が増すにつれ筋線維直径が大きいFT線維が動員されることから, この速度は筋線維の大きさの違いに影響されると考察している. 一方, Sadoyama et al. (1988)は筋線維直径に差のない大学陸上競技部に所属する長距離ランナーと短距離ランナーの筋線維伝導速度は有意に短距離ランナーの方が速いことを明らかにし, 松永ら(1992)は筋線維直径が異なる二つのラット骨格筋を用いた実験で, 筋線維伝導速度は平均筋線維直径が有意に大きい筋線維から構成されているヒラメ筋が長指伸筋より有意に低値であったことを報告し, この速度は筋線維の大きさのみでは説明しきれないことを示唆している.

筋線維伝導速度に影響を及ぼすその他の要因として報告されているものに筋線維伝導速度との関係が挙げられる. 宮田ら(1985)は, 筋線維伝導速度と筋線維組成に有意な相関関係を認め, FT線維の筋線維伝導速度がST線維のそれより速いことを示唆し, An-

dreassen & Arendt-Nielsen (1987) も同様の報告を行っている。松永ら (1992) はラット下肢筋を用いた実験で、筋線維伝導速度は速筋である長指伸筋が遅筋であるヒラメ筋より有意に速かったことを報告している。これらのことから、本研究で左右の上腕二頭筋に上腕周径に有意差が認められたにもかかわらず、筋線維伝導速度には差が認められなかったことは、筋線維組成に差が認められなかったためと推察される。

以上のように、形態的にも、機能的にも長期間のトレーニングによって、その関与する筋にはそれに見合う適応が認められたにもかかわらず、電気生理学的な活動電位の伝導速度にはわずかな変化しか認められなかった。そのため、この筋線維伝導速度は、その期間にかかわらずトレーニングにより影響を受けないことが明らかとなった。

まとめ

長期にわたり、一側優位にトレーニングを行っているバドミントン選手の利き手(右側)、非利き手(左側)の上肢筋の構造的、機能的特性を調べた。結果は以下の通りである。

(1)上腕囲は、バドミントンプレーヤー群(P群)の右側が左側に比べ1.7cm有意に高値を示した($P<0.01$)。また対照群(C群)も同様の傾向が認められた($P<0.05$)。上腕部の皮脂厚はP群の上腕外側部においてのみ右側と左側に有意差が認められたが($P<0.05$)、他の部位においてはP群、C群ともに右側と左側には差はみられなかった。

(2)肘屈曲時の等速性最大筋力はC群では角速度が30rpm($P<0.05$)で、P群では10, 20, 30, 40rpmで($P<0.01$)、また等尺性最大筋力($P<0.05$)においても右側が左側より有意な高値を示した。

(3)等尺性最大筋力発揮時の左右の上腕二頭筋の筋線維伝導速度はP群の右側で 4.16 ± 0.34 m/sec、左側で 4.08 ± 0.34 m/sec、C群の右側で 4.36 ± 0.25 m/sec、左側で 4.28 ± 0.33 m/secであり、P、C群ともに右側と左側に有意な差は認められなかった。

以上の結果より、長期のトレーニングで上腕囲が肥大化し、筋力が上昇するものの、筋線維伝導速度には影響を及ぼさないことが明らかとなった。

文 献

- Andreassen, S. and Arendt-Nielsen, L., 1987: Muscle fibre conduction velocity in motor units of the human anterior tibial muscle: A new size principle parameter. *J. Physiol.*, 391: 561-571.
- Arendt-Nielsen, L. and Mills, K. R., 1985: The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fibre conduction velocity. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 60: 130-134.
- Arendt-Nielsen, L. and Zwarts, M., 1989: Measurement of muscle fibre conduction velocity in humans: techniques and applications. *J. Clin. Neurophysiol.*, 6: 173-190.
- 浅見高明, 多田繁, 岡田修一, 1981: スポーツ選手の一側優位性の比較検討. 筑波大体育科学紀, 4: 99-109.
- Bigland-Ritchie, B., Donovan, E. F. and Roussos, C. S., 1981: Conduction velocity and EMG power spectrum changes in fatigue of sustained maximal efforts. *J. Appl. Physiol. Environ. Exercise Physiol.*, 51: 1300-1305.
- Broman, H., Bilotto, G. and DeLuca, C. J., 1985: A note on the noninvasive estimation of muscle fiber conduction velocity. *IEEE Trans. Biomed. Eng., BME-32*: 341-344.
- Eberstein, A. and Beattie, B., 1985: Simultaneous measurement of muscle conductin velocity and EMG power spectrum changes during fatigue. *Muscle Nerve*, 8: 768-773.
- DeLuca, C. J., Sabbahi, M. A. and Roy, S. H., 1986: Median frequency of myoelectric signal-Effects of hand dominance-. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 457-464.
- Henneman, E., Somjen, G. and Carpenter, D. O., 1965: Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J. Neurophysiol.*, 28: 561-580.
- Juel, C., 1988: Muscle action potential propagation velocity changes during activity. *Muscle Nerve*, 11: 714-719.
- Kasser, R. J. and Lehr, R. P., 1979: Electromyographic frequency response of the biceps brachii in

- isometric contraction to fatigue. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 19: 175-181.
- 木村邦彦, 浅枝澄子, 1974: ヒトの四肢の一側優位性について, *人類誌*, 82: 189-207.
- Lynn, P. A., 1979: Direct on-line estimation of muscle fiber conduction velocity by surface electromyography. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-26: 564-571.
- 万井正人, 谷口豊子, 伊東一生, 菊池邦雄, 1971: 人の作業特性としての右利き, 左利きの研究. *人間工学*, 7: 99-105.
- Masuda, T., Miyano, H. and Sadoyama, T., 1982: The measurement of muscle fibre conduction velocity using a gradient threshold zero-crossing method. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, BME-29: 673-678.
- 松永智, 佐渡山亜兵, 中村友浩, 勝田茂, 1992: ラット下肢筋の筋線維伝導速度と筋線維組成. *体力科学*, 41: 63-69.
- 松永智, 佐渡山亜兵, 宮田浩文, 勝田茂, 1990: 筋力トレーニングが筋線維伝導速度に及ぼす影響. *体力科学*, 39: 99-105.
- 三木威勇治, 時実利彦編, 1967: 筋電図入門, 3版, 東京, 南山堂, p93-113.
- 宮田浩文, 佐渡山亜兵, 勝田茂, 1985: 等尺性収縮における外側広筋の筋電位伝導速度 — その筋線維組成との関連 —. *体力科学*, 34: 231-238.
- 宮田浩文, 角直樹, 佐渡山亜兵, 増田正, 勝田茂, 1989: 各種スポーツ競技選手の外側広筋における活動電位伝導速度. *臨床スポーツ科学*, 6: 1371-1376.
- Morimoto, S. and Masuda, M., 1984: Dependence of conduction velocity on spike interval during voluntary muscular contraction in human motor units. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 53: 191-195.
- Naeije, M. and Zorn, H., 1983: Estimation of the action potential conduction velocity in human skeletal muscle using the surface EMG cross-correlation technique. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 23: 73-80.
- Nishizono, H., Kurata, H. and Miyashita, M., 1989: Muscle fiber conduction velocity related to stimulation rate. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 72: 529-534.
- Sadoyama, T., Masuda, T. and Miyano, H., 1983: Relationships between muscle fibre conduction velocity and frequency parameters of surface EMG during sustained contraction. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 51: 247-256.
- Sadoyama, T., Masuda, T. and Miyano, H., 1985: Optimal conditions for the measurement of muscle fibre conduction velocity using surface electrode arrays. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 23: 339-342.
- Sadoyama, T., Masuda, T., Miyata, H. and Katsuta, S., 1988: Fibre conduction velocity and fibre composition in human vastus lateralis. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 767-771.
- Sato, H., 1982: Functional characteristics of human skeletal muscle revealed by spectral analysis of the surface electromyogram. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 22: 459-516.
- 佐藤光毅, 1975: 日本人の body fat mass に関する研究 — 青年期における body fat mass について —. *体力科学*, 24: 134-150.
- Troni, W., Cantello, R. and Rainero, I., 1983: Conduction velocity along human muscle fibers in situ. *Neurology*, 33: 1453-1459.

(1993年2月22日受付)

Satoshi MATSUNAGA

Department of Liberal Arts, Osaka City University

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka-shi, Osaka 558, Japan

松 永 智

558 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学教養部保健体育科