
4週間の自己負荷抵抗トレーニング（セルフレジスタンストレーニング）が上腕筋群の筋力および周径围に与える影響

遠藤隆志 1)、小宮山伴与志 2)、村松成司 3)

1) 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部内

2) 千葉大学教育学部保健体育教室 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

3) 千葉大学教育学部スポーツ科学教室 263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

“Effect of resistance training which was performed both sides of upper limb in human subjects.”

Takashi Endoh1) Tomoyoshi Komiyama2) Shigeji Muramatsu3)

1) The United Graduate School of Education, Tokyo Gakugei University In Faculty of Education, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba City, 263-8522, Japan

2) Department of Health and Sports Sciences, Faculty of Education, Chiba University 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba City, 263-8522, Japan

3) Division of Sports Sciences, Faculty of Education, Chiba University 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba City, 263-8522, Japan

Abstract

This study investigated the effects of a new training method that was developed recently and termed “self resistance training (SRT)”. SRT consists of an isokinetic-like contraction produced by lateral elbow movement. The opposite direction of force exerted by contralateral elbow movement was used for training resistance.

Six volunteers (21-24 yrs.) engaged in the training program 7 times a week for 4 weeks. A training session consisted of 3 sets of 5 maximal voluntary elbow flexion-extensions. Before and after a 4-week training period, changes in maximal voluntary contractions (MVC) at 30, 60, 90 and 120 degrees of elbow flexion and extension and anthropometric measurements (the circumference and skinfold thickness of the upper arm) were performed in both the dominant and nondominant arm.

After a 4-week training period, the flexion and extension MVC significantly increased. Further, in partly, MVC of untrained flexion and extension also significantly improved. However, there were no anthropometric changes.

It was concluded that this training method, the SRT, was sufficiently effective to improve strength in the upper arm and this improvement could be attributed to neuromuscular adaptation.

I. 序論

レジスタンストレーニングは負荷強度、頻度および期間が十分であれば、筋線維肥大を生じさせ、最大筋力も増加させることから、筋力の増加やけがのない体づくりを目的としたスポーツ競技者だけでなく、健康の維持増進や痩身、運動不足の解消などの目的に広く利用されている。レジスタンストレーニングの多くはスポーツジムでトレーニングマシンやフリーウェイト、または自宅にてダンベルやチューブ等を用いて行われている。しかし、これらの器具を用いたトレーニングについては、1) 経済的な問題、2) トレーニング時のフォーム、負荷強度および扱い方の誤りによる障害、3) トレーニングスペースや器具を用いることによる手軽さの問題、4) 重力または張力が関与するため、全ての筋長時に十分な負荷を与えられない、など多くの短所が指摘されている (1, 2)。

そこで、我々は上記の問題を解決し、かつ大きな筋力増強効果を生み出す自己負荷抵抗によるトレーニング法（セルフレジスタンストレーニング（SRT））を考案した。このトレーニング法は、等尺性トレーニング法を改良し、自ら力を掛ける側と抵抗する側の発揮筋力比を変化させて動きをつけるものである。SRT は、器具を用いずに自分の関節運動を負荷抵抗として用いているため、1) 費用および広いスペースが必要ない、2) トレーニングを行う時のコンディションに合わせて自由に負荷の設定を自分で調節できるため、負荷が大きすぎたために起きるけがが生じない、3) 同時に2カ所の筋群に刺激を与えることができるため、トレーニング効率に優れている、4) 負荷調節が自由で、等速で行うことより様々な筋力レベルで等速性筋収縮に近い筋収縮様式でトレーニングをすることが可能である、などの長所がある。

本研究では、両腕による SRT を4週間実施し、その後の形態的变化、関節角度30°、60°、90°および120°における最大随意筋力（MVC）および筋放電パターンの変化を観察し、そのトレーニング効果および電気生理学的特性について検討した。

II. 方法

A. 被検者およびトレーニング

被検者は、継続的なレジスタンストレーニングを行っていない健康な男子大学生6名（年齢22.2 ± 1.17歳、身長169.4 ± 6.57cm、体重60.9 ± 4.61kg : mean ± SD）を用いた（Table1）。これらの被検者に SRT を4週間実施させ、トレーニング前後に形態測定および MVC の測定を行った。また、トレーニング前およびトレーニング開始2週間後には SRT 実施中の筋放電パターンを記録し、トレーニング前後の変化を観察した。

両腕による SRT は、立位にて両腕とも肘関節を伸展位にて、正面に向けた利き腕の手掌の上に、尺骨側を下にして把持状態にした非利き腕の拳を置き、非利き腕の伸展運動を抵抗としながら、肩を動かさないように利き腕を屈曲させるように指導した。トレーニング強度は、屈曲時に利き腕の屈曲を全力で行い、抵抗する非利き腕の伸展力は10秒間で完全屈曲できるように調整させた。伸展時には屈曲時の場合を逆に非利き腕の伸展を全力で行い、抵抗する利き腕の屈曲は10秒間で完全伸展できるよう、調節させた。また、この屈曲および伸展時の角速度は一定（約0.26rad/s）にするように指示した。トレーニング角度は、腕を伸ばした状態（0°）から各被験者の利き腕における肘関節の最大屈曲角までとした。

トレーニング処方として、両腕で肘関節を屈伸する SRT を4週間毎日、1日あたり1セット5回の屈伸を3セット、1回の屈曲および伸展を角速度は一定でそれぞれ10秒間で行うように指示した。また、その強度は毎回その時に発揮できる最大努力にて行うように指示した。

B. 形態測定

形態測定として、身長、体重、胸囲および両腕の上腕周径囲を計測した。また、上腕周径囲の肥大が筋肥大によるものなのか、または脂肪の増大によるものかを明らかにするためにキャリパーで両腕の上腕前部および後部の皮脂厚を測定した。

C. EMG

EMG は双極表面誘導法を用い、時定数0.03、高

域遮断周波数1KHzにて生体アンプシステム（日本光電、RM-6000）により増幅した。EMG 導出のための記録電極（日本光電、M-150）は、被験者の左右の上腕二頭筋および上腕三頭筋（外側部）の筋腹部に約30mm 間隔で貼付した。電極の貼付に先立ち、十分に皮膚の角質層を削り皮膚抵抗を1 k Ω 以下まで落とした。トレーニング中の肘関節の角度はゴニオメーター（電機計測販売）を用いて同期的に測定した。測定で得られたデータは、データレコーダー（TEAC、DR-M3b-A）に記録し、後に再生して、筋放電量とその積分値、筋力発揮持続時間、および関節角度を分析した。

D. MVC 測定

デジタル力量計（竹井機器工業）を用い、両腕それぞれの肘関節屈曲および伸展の MVC を測定した。筋力測定を行った肘関節角度は30°、60°、90° および120° であった。測定では胸部、腰部および肩を実験用の椅子に固定して、肘関節以外の動作を行うことができないようにした。MVC は屈曲および伸展とも各角度において数回測定し、その中の最大値を結果に用いた。なお、疲労の影響をなくすため、各測定間には十分な休息時間を設けた。

E. 統計処理

全ての測定項目について、トレーニング前後の変化を調べるために検定には対応のある Student t-test を用い、有意水準5%以内を統計上有意な差と評価した。

III. 結果

A. 形態的变化

4 週間の SRT によって非利き腕の上腕前部皮脂肪が有意に増加したが（ $p<0.05$ ）、他の項目には有意な変化は見られなかった（Table1）。

B. EMG

SRT 中、0.5mV 程度の顕著な筋放電活動が利き腕の上腕二頭筋および非利き腕の上腕三頭筋に認められた（Fig. 1）。一方、負荷が加わっていない利き腕の上腕三頭筋および非利き腕の上腕二頭筋には、大きな筋放電活動は見られなかった。また、両腕の肘関節角度は直線的に変化したため、SRT は等速性筋収縮に近い運動であったことが示された。SRT 前に比してトレーニング開始2週間後の筋放電パターンおよび肘関節の角速度は、有意な変化が認められなかった。

C. MVC

Fig. 2にトレーニング開始前、トレーニング開始2週間後および4週間後における利き腕屈曲（D-F）および非利き腕伸展（N-E）の各関節角度別の MVC 変化を示した。D-F における MVC では測定した全ての関節角度において、トレーニング開始4週間後でトレーニング前に比べて有意な増加が認められた（30° および90° : $p<0.01$, 60° および120° : $p<0.05$ ）。また、同様に N-E では、関節角度30°、60° および90° においてトレーニング開始4週間後に有意な MVC の増加が認められた（30° および90° : $p<0.01$, 60° : $p<0.05$ ）。関節角度120° における N-E の MVC もトレーニング

Table1 Changes in anthropometrics data

	pre-training	4weeks
Height(cm)	169.4 $\pm$ 6.61	169.4 $\pm$ 6.50
Weight(kg)	61.0 $\pm$ 4.95	61.4 $\pm$ 4.51
Chest circumference(cm)	89.9 $\pm$ 4.96	91.0 $\pm$ 3.45
Circumference of dominant upper arm(cm)	27.1 $\pm$ 1.92	27.8 $\pm$ 1.58
Circumference of nondominant upper arm(cm)	26.7 $\pm$ 1.60	27.4 $\pm$ 1.63
Biceps skinfold thickness of dominant arm(cm)	3.7 $\pm$ 1.03	3.7 $\pm$ 1.09
Triceps skinfold thickness of dominant arm(cm)	12.3 $\pm$ 4.77	11.9 $\pm$ 3.75
Biceps skinfold thickness of nondominant arm(cm)	3.3 $\pm$ 0.683	3.8 $\pm$ 0.938 *
Triceps skinfold thickness of nondominant arm(cm)	11.4 $\pm$ 5.75	11.4 $\pm$ 3.95

Data are shown by the grand mean and S.D. The results for t-test are shown as *($p<0.05$).

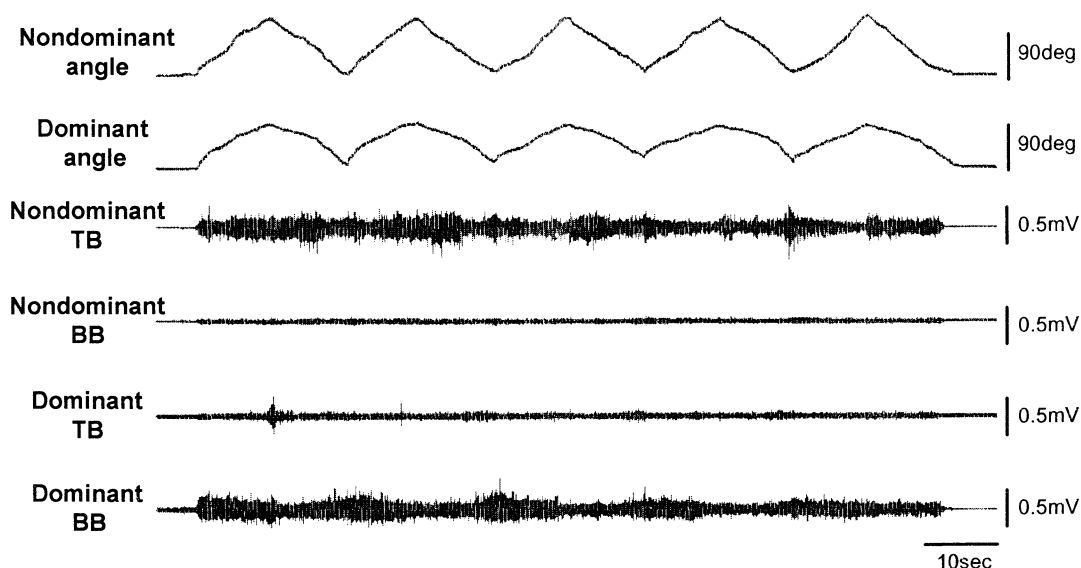


Fig.1 Specimen records of 1st set of SRT. The upper and second traces show the changes in the elbow joint of the dominant and nondominant side, respectively. In the other traces, electromyogram of nondominant arm TB, nondominant arm BB, dominant arm TB and dominant arm BB are shown, respectively. BB:Biceps brachii TB:Triceps brachii

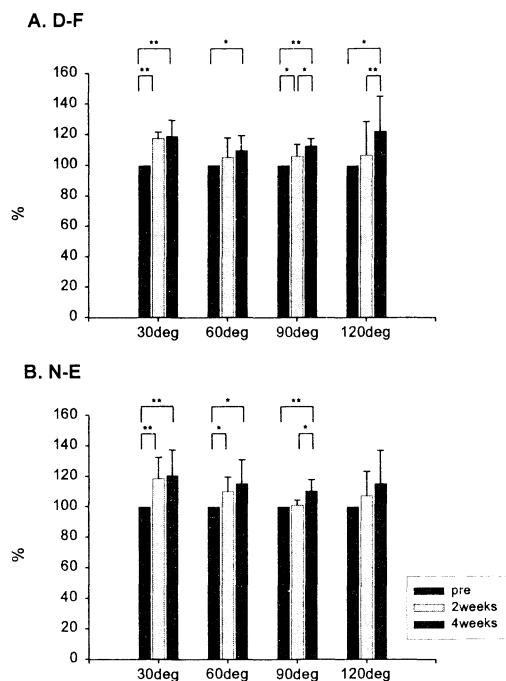


Fig2. Changes in MVC D-F and N-E at 30, 60, 90 and 120 degrees of elbow angle, which were trained. Data are shown by the grand mean and S.D. The results for t-test are shown as *($p < 0.05$) and **($p < 0.01$).

グ開始 4 週間後でトレーニング前に比べて増加する傾向があったが、有意な差は認められなかった。

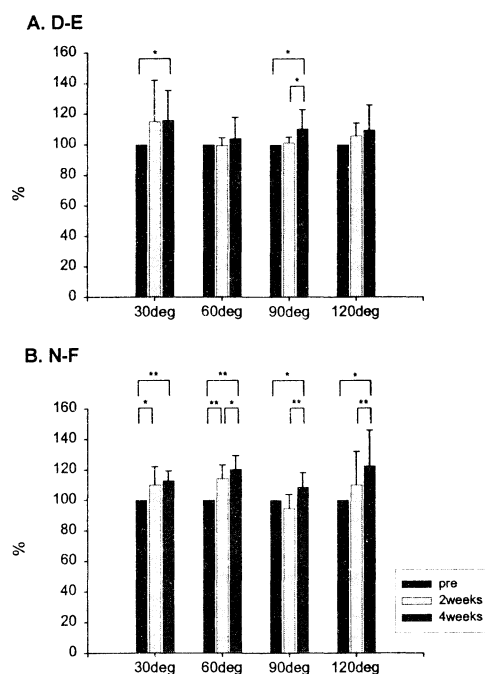


Fig3. Changes in MVC D-E and N-F at 30, 60, 90 and 120 degrees of elbow angle, which were untrained. Data are shown by the grand mean and S.D. The results for t-test are shown as *($p < 0.05$) and **($p < 0.01$).

Fig. 3にトレーニング開始前、トレーニング開始 2 週間後および 4 週間後における利き腕伸展

(D-E) および非利き腕屈曲 (N-F) の各関節角度別の MVC 変化を示した。N-F においては測定した全ての関節角度にて (30° および 60° : $p < 0.01$, 90° および 120° : $p < 0.05$)、および D-E においては関節角度 30° および 90° にて、トレーニング開始 4 週間後で有意な MVC の増加が認められた (ともに $p < 0.05$)。計測したその他の関節角度の MVC もトレーニング開始 4 週間後でトレーニング前に比べて増加する傾向があったが、有意な差は認められなかった。

IV. 考察

本研究では、4 週間の上腕における SRT を実施し、以下の結果が得られた。1) 随意的に負荷を加えた D-F および N-E において、有意に MVC が増加した、2) D-E および N-F の一部の関節角度においても有意な MVC の増加が認められた、3) 身体特性において筋力増加に影響を与えるような変化は見られなかった。

Komi ら (3) や Hakkinen ら (4) は、トレーニング後に IEMG の増加を確認し、トレーニング初期における筋力増加の主要因は、神経系の適応現象によるものであるとした。本研究では、1) トレーニング期間が 4 週間と短かったこと、2) 筋肥大が認められなかったこと、3) 負荷を加えていない D-E および N-F においても有意な MVC の増加が認められたこと、より 4 週間の SRT による筋力増加は神経系の適応によって引き起こされた可能性が高いと考えられる (5-12)。この神経系の適応による筋力増加のメカニズムとして大脳および脊髄レベルの可塑的变化によるものと考えられている (11, 12)。しかし、本研究では神経生理学的アプローチを行っていないため、SRT による筋力増加がどのような要因によるものなのかは不明であり、さらなる研究が必要である。

トレーニングにおける課題特異性の一つとして、関節可動域を限定してトレーニングを行った場合、トレーニングで行った筋長付近の筋力しか増加しないことが確認されている (13, 14)。本研究では、随意的に負荷を加えた D-F および N-E にお

いて N-E の 120° を除く計測した全ての角度において有意な MVC の増加が認められた。このことは、SRT は広い関節角度において筋力増加を促すのに十分な負荷が加えられており、SRT が筋力増強に非常に効果的なトレーニング法であることを示唆する。また、トレーニング開始 2 週間後の筋放電パターンに変化がみられなかったことは、このトレーニング法は習熟が容易であり、初心者にもトレーニング効果が期待できることが示唆される。

一般的に、トレーニング効果について、用いた筋収縮様式や動作に特異的に生じるという課題特異性が確認されている (15-17)。本研究では、トレーニング中は動的な筋収縮を行っていたが、静的な筋収縮である MVC において有意な増加が認められた。この要因としては、SRT は筋を短縮性筋収縮だけでなく伸張性筋収縮も行い、また筋収縮様式が等速性筋収縮に近いという SRT の特徴が挙げられる。伸張性筋収縮にて行うトレーニングは、短縮性筋収縮によるトレーニングよりも筋力増加に効果的であるという報告があり (9, 18)、伸張性筋収縮の有効性が示唆されている (19, 20)。また、Narici ら (21) は等速性トレーニングを行い、有意な MVC 増加を認めている。SRT は筋収縮様式が等速性に類似しているため、その効果も同様であったと考えられる。さらに等速性トレーニングは等張力性トレーニングよりも効果的であると報告されている (22, 23) ことより、SRT は非常に効率的に筋力増大を生じさせていたと考えられる。

本研究では、SRT 中に負荷が加えられていない D-E および N-F における多くの関節角度においても有意な MVC の増加が認められた。この要因は、1) SRT が腕を体幹に引きつける動作であること (24)、2) 主働筋収縮中に拮抗筋が活動する共収縮 (8)、によることなども考えられる。しかし、SRT 中に利き腕の上腕三頭筋や非利き腕の上腕二頭筋において顕著な筋放電活動が見られなかった。また、本研究における筋力増加は神経系の適応によるものと考えられたことから、この結果は同側筋によるトレーニング効果がトレーニングを行っていない対側の同名筋にも伝播する cross-education に

よるものである可能性が考えられる。cross-education による筋力増大は10~15%程度生じると報告されており(11)、本研究結果もこの範疇に入る。Hortobagyi らは短縮性トレーニング群と伸張性トレーニング群を比較し、cross-education は伸張性筋収縮を行うことによってより大きく引き起こされることを報告している(9)。SRT は伸張性筋収縮を含むため、本研究においてもcross-education が大きく引き起こされたと考えられる。

本研究では、EMG 記録および形態測定は上腕に限定されており、肘関節屈曲における共同筋である腕橈骨筋及び上腕筋、円回内筋、浅指屈筋および橈側手根屈筋、肘関節伸展における共同筋である肘筋による影響は考慮していない(25)。筋力増加がこれらの筋によるものである可能性も考えられるため、今後これらの筋に関する調査も必要であると思われる。

V. 要約

本研究では、男子大学生6名を対象とし、両腕で肘関節を屈伸するSRTを4週間毎日、1日あたり1セット5回の屈伸を3セット行わせ、トレーニング前後に肘関節角度30°、60°、90°および120°におけるMVC、形態的变化およびEMGを観察し、そのトレーニング効果を検討した。得られた結果は以下の通りである。

1) D-F および N-E では、N-E における関節角度120°を除く全ての関節角度において有意なMVCの増加が認められた。また、上腕において筋肥大は見られなかったため、この有意な筋力増加は神経系における適応現象によってもたらされたものと考えられた。

2) 随意的に負荷を加えていないD-EおよびN-Fの一部の関節角度においても有意なMVCの増加が認められた。この要因はcross-educationによるものと考えられた。

3) これらの結果は、本研究で用いたSRTは上腕屈筋および伸筋群の筋力増強を効果的に行えるトレーニング法であることを示唆している。

参考文献

1. 窪田 登 : ウェイト・トレーニングと安全、保健の科学, 39, 546-552, 1997
2. 渡會公治 : 「レジスタンストレーニングにおけるけがと障害」, トレーニング科学研究会編, レジスタンストレーニング, 朝倉書店, 271-281, 1994
3. Komi PV, Viitasalo JT, Rauramaa R, Vihko V : Effect of isometric strength training of mechanical, electrical, and metabolic aspects of muscle function. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 40:45-55, 1978
4. Hakkinen K, Komi PV : Electromyographic changes during strength training and detraining. *Med Sci Sports Exerc* 15:455-460, 1983
5. Akima H, Takahashi H, Kuno SY, Masuda K, Masuda T, Shimojo H, Anno I, Itai Y, Katsuta S : Early phase adaptations of muscle use and strength to isokinetic training. *Med Sci Sports Exerc* 31:588-594, 1999
6. Ploutz LL, Tesch PA, Biro RL, Dudley GA : Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 76:1675-1681, 1994
7. Moritani T, deVries HA : Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 58:115-130, 1979
8. Carolan B, Cafarelli E : Adaptations in coactivation after isometric resistance training. *J Appl Physiol* 73:911-917, 1992
9. Hortobagyi T, Lambert NJ, Hill JP : Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Med Sci Sports Exerc* 29:107-112, 1997
10. Cannon RJ, Cafarelli E : Neuromuscular adaptations to training. *J Appl Physiol* 63:2396-2402, 1987
11. Enoka RM : Neural adaptations with chronic

- physical activity. *J Biomech* 30:447-455, 1997
12. Sale DG : Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20:S135-S145, 1988
13. Thepaut-Mathieu C, Van Hoecke J, Maton B : Myoelectrical and mechanical changes linked to length specificity during isometric training. *J Appl Physiol* 64:1500-1505, 1988
14. Kitai TA, Sale DG : Specificity of joint angle in isometric training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 58:744-748, 1989
15. Thorstensson A, Hulten B, von Döbeln W, Karlsson J : Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 96:392-398, 1976
16. Rutherford OM, Jones DA : The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55:100-105, 1986
17. Jones DA, Rutherford OM : Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *J Physiol (Lond)* 391:1-11, 1987
18. Hortobagyi T, Barrier J, Beard D, Braspenning J, Koens P, Devita P, Dempsey L, Lambert J : Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol* 81:1677-1682, 1996
19. Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ, Buchanan P : Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med* 62: 543-550, 1991
20. Hather BM, Tesch PA, Buchanan P, Dudley GA : Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand* 143: 177-185, 1991
21. Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P : Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 310-319, 1989
22. 宮下充正, 金久博昭 : Isokinetic トレーニングの特徴, 体力科学, 28, 181-184, 1979
23. Smith MJ, Melton P : Isokinetic versus isotonic variable-resistance training. *Am J Sports Med* 9: 275-279, 1981
24. 船渡和男, 福永哲夫, 浅見俊雄, 池川繁樹, 金久博昭, 奥山秀雄 : 思春期前児童における肘関節屈曲の静的トレーニング効果, 体力科学37, 64-76, 1988
25. Thompson, CW, Floyd, RT (栗山節郎監修) : 身体運動の機能解剖, 医道の日本社, 46-59, 1997