

なぜ成長にともなって

筋弛緩がうまくなるのか？

横浜国立大学 森本 茂

(共同研究者) 同 金 炫 秀

東京慈恵会医科大学 小野寺 昇

Changes of Muscular Relaxation Manner during Growth

by

Shigeru Morimoto, Kim Hyun Soo

Yokohama National University

Sho Onodera

The Jikei University School of Medicine

ABSTRACT

Manner of muscular relaxation in elbow flexion was observed on the subjects aged from 7 to 22 years old. Relation between surface electromyogram of *m. biceps brachii* and tension of elbow flexion were used for the parameters for muscular relaxation.

Results were as follows: 1) At elder subjects, silence of surface electromyogram preceded to the tension decrease. But discharge of surface electromyogram preceded during muscular relaxation at younger subjects. 2) It could be observed the transient tension development before muscular relaxation. The appearance rate of the transient tension development increased as becoming elder.

From above results, it could be considered that the inhibibility of spinal alpha motoneuron pool did not yet developed for about 7 years old.

1. 緒 言

敏捷的な運動を行う際には、主働筋における張

力発揮勾配の大きさが重要な因子となると同時に、拮抗筋をいかにすばやく弛緩するかも重要な因子となる。Reciprocal innervation による拮抗

筋相互の作用が筋運動の根本的な問題になることはもちろんである。筋活動の制御は最終共通路としての脊髄α運動神経に対する末梢性および高次中枢性の興奮性および抑制性の支配によって行われている。そこに、興奮性あるいは抑制性に対して異なる感受性をもつ運動神経が存在するものと考えられる。

成長に伴って筋力は増大する。この筋力増大に関与する因子には、脊髄α運動神経の活動性、筋肉それ自体の生理、生化学的特性の変化が考えられる。しかし、筋力増大に伴う筋弛緩の能力の変遷についての研究は見あたらない。本報告は成長過程にともなう脊髄α運動神経群としての抑制性について、筋弛緩時の筋電図および張力曲線を指標にして検討することを目的とした。

2. 方 法

被験者は健康な男子（7歳から22歳）とし、25名を用いた。被験者の群分けおよび身体特徴は表1に示した。

被験者は椅座位にて上腕を机上に水平に置いた。肘関節を90度に規定し、前腕回外位でロードセルに連結するハンドルに手頸部を固定した。このとき、手頸部とハンドル、ロードセルが同じ高さになるようにロードセルの位置を調節した。上腕二頭筋から表面筋電図を時定数 30ms、双極誘導法にて導出した。表面筋電図および肘関節屈曲力は陰極線オシロスコープに表示し、連続撮影装置にてオシロペーパーに記録した。

実験に用いた目標張力は、実験条件下での最大

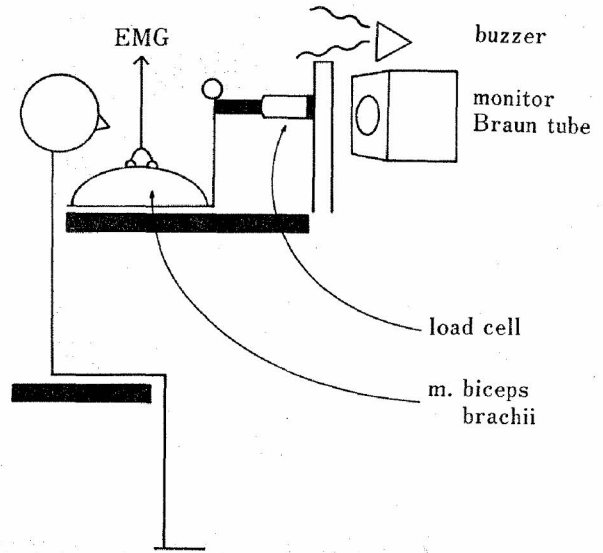


図1 Schematic illustration of experimental set-up.

努力張力の10、30および50%とした。実験肢は被験者各自の利手とした。電極装着、手頸部固定後、被験者は前方のモニター用ブラウン管面上に表示された目標張力を示すスポットに屈曲力をあわせた。験者は、被験者が目標張力を発揮した後2~3秒のちにブザーを鳴らした。被験者はブザー音確認後、任意に屈曲力をなるべく素速く弛緩するように指示された。実験は約60秒間隔で、各目標張力毎10回実施した。実験にあたって、特に低年齢者に十分説明を行い、実験装置等に対する恐怖感をなくすよう努めた。

測定項目は、図2に示す2点とした。第一に筋弛緩による屈曲力低下の時点から上腕二頭筋筋放電が消失するまでの時間間隔（Motor Latency Time）とした。第二に屈曲力弛緩前に現われる一過性の張力増大（Transient Tension Development）の発現率を計測した。

表1 Hight, weight and maximum voluntary contraction of every subject groups.

	A (7-8 yr.)	B (10-11 yr.)	C (13-14 yr.)	D (18-22 yr.)
Hight (cm)	124.1±2.6	143.8±5.6	165.1±5.3	172.5±4.5
Weight (kg)	23.6±2.1	40.0±5.8	56.8±4.0	67.2±5.6
M.V.C. (kg)	8.9±1.1	13.6±1.2	22.0±2.1	25.6±6.2

(Mean Value ± S.D.)

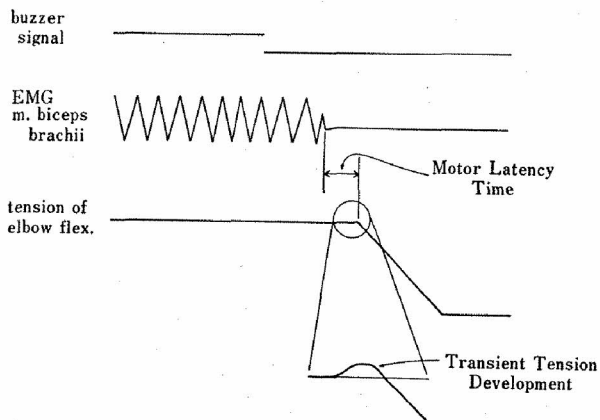


図2 Difinition of "Motor Latency Time" and "Transient Tension Development". *Motor Latency Time*; time between silence point of e. m. g. signal and starting point of tension decrease. *Transient Tension Development*; transient increment of tension before muscular relaxation.

なお、上腕三頭筋の節電図を同時に導出し筋弛緩時に拮抗筋活動があらわれた場合のデータを除外するための指標とした。

3. 結 果

1. 発育に伴う Motor Latency Time の変化

図3は各年齢群における各目標張力での Motor Latency Time を示している。図中 0 ms は肘関節屈曲力が目標張力より低下する時点を意見する。また、正の値は張力低下が上腕二頭筋筋放電の消失より先行することを意味する。

目標張力が大きくなるほど Motor Latency Time が正の値に近づくか、大きな正の値をとる傾向が各年齢群に共通して観察された。A群およびB群において、目標張力が30%以上の場合、張力低下の経過中にも筋放電が続いた。しかし、高年齢群Dでは、本研究に用いた目標張力範囲では筋放電消失が張力低下に先行した。C群は、A、B群からD群への移行型と考えられる結果が観察された。

2. Transient Tension Development の発現率

肘関節屈曲張力の弛緩直前にあらゆる一過性の張力増大現象は高い年齢群において高頻度で観察された。各年齢群での各目標張力毎の張力増大現象の発現率を図4に示す。A群において、目標張力が最大努力時の30%以下の場合、増大現象は観

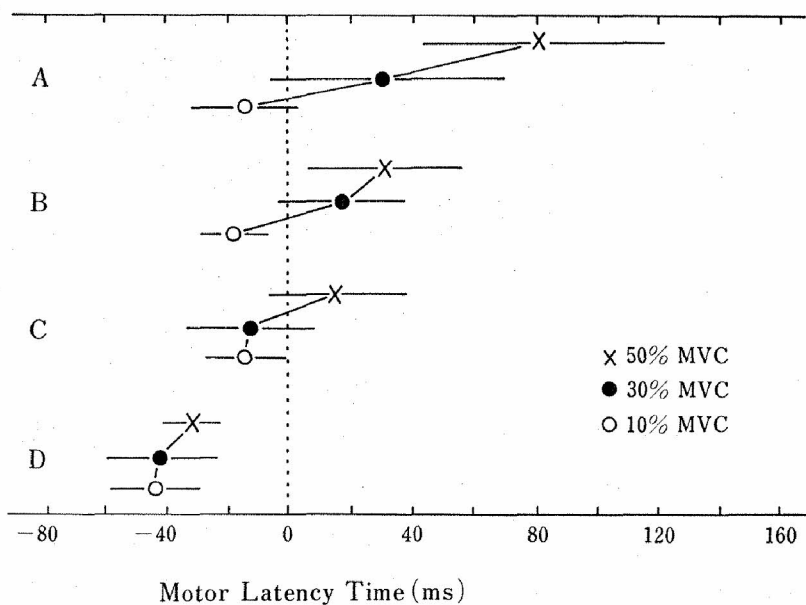


図3 Mean value and standard deviation of "Motor Latency Time" at every subject groups. 0 ms in the figure means starting point of muscular relaxation. Negative value means that signal of e.m.g. silenced before tension decrement.

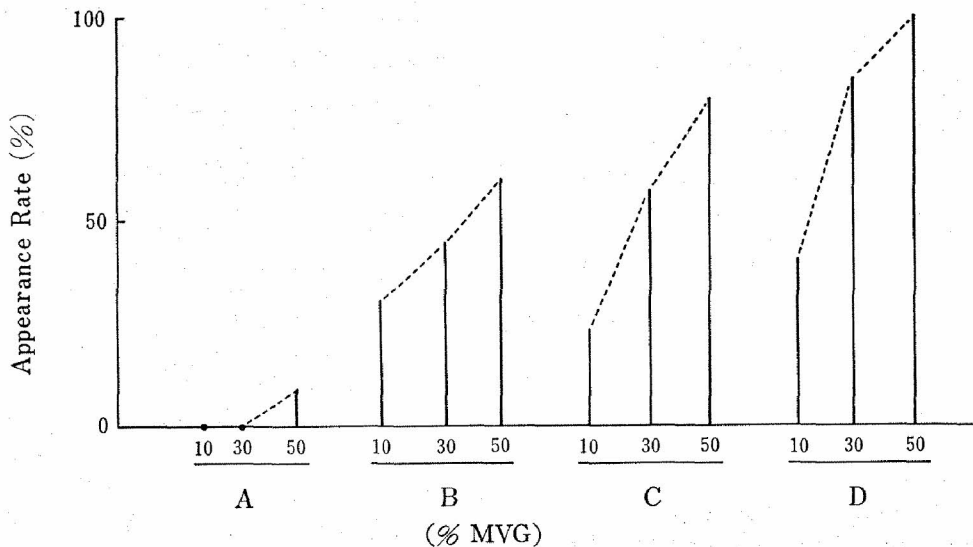


図4 Mean value of appearance rate of "Transient Tension Development" at every subject groups.

察されなかった。また50%の場合では約9%の発現率であった。B, C, D群間では、目標張力が高くなるほど発現率が高くなる傾向が共通して観察された。10%水準での発現率以外では、年齢がすすむにつれ張力増大現象の発現率が高くなり、D群の50%時では100%の発現率であった。

4. 考 察

肘関節屈曲力弛緩時の上腕二頭筋筋電図と張力曲線との関係について年齢別に観察を行った。その結果、高い張力（最大努力張力の30および50%）からの弛緩に際して、張力の減少が筋放電に先行する傾向が低年齢群に観察された。しかし、年齢がすすむにしたがい筋放電消失が筋張力低下に先行するようになった。

森本ら^{4,5)}および小野寺ら⁸⁾は筋弛緩時の単一運動単位の decruitment 様式を観察し、筋収縮時の recruitment 様式と異なる特性をもつことを報告している。弛緩勾配が大きくなるにしたがって、より早い時期に放電を消失 (decruitment) する運動単位が大多数をしめていることをあわせて報告している。この結果は、本報告での高年齢群が弛緩時に筋放電が張力低下に先行して消失する

結果を支持するものと考えられる。したがって低年齢群で観察された筋放電の残存現象は上腕二頭筋を構成する運動単位の機能的特性と考えられる。小野寺と小野⁷⁾は、ヒトの内側広筋から筋内埋入電極法を用いて単一運動単位の活動電位を導出し、発火頻度と motor latency time との関係を観察した。τ-S 関係から単一運動単位の機能的特性を分類したところ、Kinetic type と Tonic type とに全く異なる inhibitibility が存在することを報告している。上記の結果と本報告での結果から、運動単位の筋弛緩における機能的特性 (inhibitibility) が成長過程において変化する可能性を示唆される。

永見と中野⁶⁾は筋弛緩動作前にみられる一過性の張力増大現象 (Transient Tension Development) について、主働筋と拮抗筋との筋感覚受容器のかかわりあいから筋弛緩を早める機構であると考察している。本報告においても、年齢がすすむにつれて Transient Tension Development の発現率が增大することから後天的に習得される動作と考えられるが、その本態は不明である。

Close¹⁾は、ラットの長趾伸筋とヒラメ筋について、筋節長を生後1日と100日とで比較し、100

日齢の筋節長が小さな値を示すことを報告している。また春日と馬詰²⁾は、マウスの長趾伸筋とヒラメ筋を用い、成長に伴う筋長と筋節長の変化を観察し、筋の長育が著しい時期に筋中央部の筋節長が筋端部に比べ大きな値をもつことを報告している。これらの報告は、成長過程にある筋は腱方向に伸張されている状態にあり、伸長の程度が筋の中央部で大きいことを意味すると考えられる。この時期に筋節の構造を保つ働きをもつコネクチン³⁾等の細胞骨格が十分に発達した状態であれば筋節の長さに不均一はおこらないものと考えられる。したがって、Close, 春日と馬詰の報告から、細胞骨格が未発達な時期におこる現象であることが示唆される。本報告で用いた被験者の低年齢群が細胞骨格の未発達な時期にあると仮定すると、筋弛緩時の筋張力、筋の長さの急激な変化が筋に不可逆的な崩壊を生じさせる可能性が考えられる。合目的的に考察すると中枢神経系の inhibibility を弱くすることにより筋弛緩時の急激な筋の状態変化を少なくし、筋の崩壊を防止している可能性が考えられる。

5. 結 語

成長に伴う肘関節屈曲張力の弛緩様式について、上腕二頭筋電図と張力曲線を指標にして観察した。被験者は7歳から22歳までの健康成人男子25名とした。肘関節屈曲張力を各被験者の10%, 30%および50% MVCとして、2~3秒保持した後ブザー刺激により筋弛緩を行った。

以下に得られた結果を示す。

1) 30% MVC, 50% MVC からの筋弛緩時において、低年齢被験者群の場合、張力低下が筋放電消失に先行した。しかし、高年齢被験者の場合、筋放電消失が張力低下に先行した。

2) 筋弛緩直前に一過性の張力増大現象が観察され、その発現率は年齢が高いほど高頻度であった。

文 献

- 1) Close, R.I.; Dynamic properties of mammalian skeletal, muscle. *Physiol. Rev.*, **52** : 129—197 (1972)
- 2) 春日規克, 馬詰良樹; 生後発育にともなうマウス骨格筋線維長と筋節長の変化, *体力科学*, **32** : 134—139 (1983)
- 3) Marumama, K., Natori, R. and Nonomura, Y.; New eleastic protein from muscle. *Nature*, **262** : 58—59 (1976)
- 4) 森本茂, 長谷川豪志; 筋収縮及び筋弛緩における運動単位の phasic-static な特性について, *体力科学*, **25** : 113—117 (1976)
- 5) 森本茂, 倉田博, 増田允, 大森俊夫, 長谷川豪志; 筋弛緩における単一運動単位の活動参加様式, *体力科学*, **26** : 59—63 (1977)
- 6) 永見邦篤, 中野昭一; 筋弛緩動作の遅速とその要因について一脱力時及び拮抗筋活動をともなう抑制現象の比較一, *体力科学*, **28** : 112—121 (1979)
- 7) 小野寺昇, 小野三嗣; 筋弛緩における単一運動単位の活動様式, *体力科学*, **29** : 256 (1980)
- 8) 小野寺昇, 春日規克, 森本茂, 増田允; 筋弛緩時における運動単位の活動様式, 第6回バイオメカニクス国内セミナー予稿集, p. 15 (1982)