



# 随意運動における筋粘弾性と伸張反射の調節に関する研究

楠本, 秀忠

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1997-03-11

(Date of Publication)

2012-07-09

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2123

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3129886>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002123>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	楠 本 秀 忠 <small>くすもと ひでただ</small>	（大阪府）
博士の専攻分野の名称	博士（学術）	
学位記番号	博ろ第76号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成9年3月11日	
学位論文題目	随意運動における筋粘弾性と伸張反射の調節に関する研究	

審査委員	主査 教授 赤澤 堅造
	教授 峯本 工 教授 土屋 禎三

### 論文内容の要旨

ヒトの手足の運動制御の機能は、学習、記憶、適応などの高位中枢神経系の制御・情報処理機能に支えられているのは勿論であるが、伸張反射系などの下位の運動制御系、力を発生する筋、そしてそれらを調節する脳という階層的な神経制御の機構によって始めて実現されている。特に注目すべき点は、ヒトの手足は、“動きの柔らかさ”が調節できる点である。これは、脳からの指令により筋粘弾性と下位の運動制御系（伸張反射系）の特性が変化するというメカニズムが基礎となって実現されている。しかし、随意運動において筋粘弾性や伸張反射系の特性が脳を含む高位中枢によってどの程度調節され、どの程度運動成果に影響を与えるかについてはまったく分かっていない。ヒトの運動機能を的確に評価するためには、まず、随意運動時に脳が筋粘弾性と伸張反射系の特性をどの様に調節しているかを量的に明らかにする研究が重要な意味を持つ。

これまで、ヒトの骨格筋の粘弾性に関していくつかの報告があるが、随意運動時に脳による筋粘弾性の調節機構を量的に検討した報告はない。筋粘弾性は収縮力（筋活性レベル）に依存するという非線形特性を持つ。従来報告では、この非線形特性が十分考慮されず、収縮力が変化している状態で計測が行われている。収縮力が変化する実験条件からは、脳による筋粘弾性の調節の程度について信頼できる結論は得られない。

一方、伸張反射の特性が脳からの指令によって調節されることがHammondらにより報告されて以来、主に筋電図をもとにして数多くの解析がなされている。しかし、張力応答に基づいた報告はない。

以上のような観点により、本研究は、随意運動時に、脳が筋粘弾性ならびに伸張反射系の特性を調節していることを実験的に示すと共にその度合をモデルとシミュレーションにより定量的に明らかにすることを目的とした。本研究では、脳による調節を筋の収縮レベルを変えることと、張力制御における刺激反応のモードを変えることの2種類の実験から解明しようとした。

各章の内容は次の通りである。

第1章では本論文の目的と意義を述べた。

第2章では骨格筋の構造、収縮機構、神経支配ならびに伸張反射について生理学的知見を述べた。

また、力学的性質および力学モデルについて説明した。

第3章では、筋の活動レベルと筋粘弾性の関係を明らかにした。ここで重要なことは、 $\alpha$ 運動ニューロンの発火により、筋が収縮力を発生する場合、その出力は筋の短縮あるいは張力発生として観察される。つまり、力学的には、筋は、収縮力Aと変位Xが入力で、張力Fが出力となる2入力-1出力の系である。AとXのいずれかあるいは両者が未知であると測定される張力Fから筋粘弾性ならびに伸張反射の応答性を推定できないということである。本章では、収縮力Aが一定である期間の応答を用いた。高剛性のサーボ機構を用いることにより再現性の高い変位入力Xを与えた。一定の収縮力を維持している筋をランプ状に伸張（短縮）したときの張力応答Fから、筋粘弾性による張力成分を抽出した。まず、本実験装置の位置制御の再現性が高いことを示した。筋の活動レベルが一定に維持されている伸張（短縮）開始後約35msまでの期間の張力応答を用い、筋粘弾性によって発生する張力成分が筋の活動レベルと共に比例的に増大することを示した。伸張時と短縮時においてこの関係には顕著な差異は見られなかった。5名の被験者について同一の収縮力において、筋粘弾性の大きさには個体差があることを示した。

第4章では、力学モデルを用いて筋の粘性・弾性係数を推定する手法を提案した。ヒト長母指屈筋に適用し、種々の筋活動レベルについて粘性・弾性係数を推定した。直列および並列弾性係数と低速時の粘性係数が高い感度で推定できることを示した。直列および並列弾性係数は筋の活動レベルと共に比例的に増大した。また、伸張（短縮）速度が低い時の粘性係数が、筋の活動レベルと比例関係にあることを示した。これらの結果は、伸張時と短縮時で差異は殆どなかった。さらに、粘性・弾性係数と実験動物の報告との比較を行った。両者はほぼ同等の値であり、本推定法の妥当性を示した。

第5章では、筋を伸張したときの張力応答から、伸張反射によって発生する張力成分を抽出する手法を提案し、ヒト長母指屈筋に適用した。筋伸張の後、35msからは短潜時の反射（SR）による張力、60msからは長潜時の反射（LR）によるより大きな張力が発現することを示した。等尺性張力（筋の活動レベル）を増大した場合、SR、LRによる発生張力は増大した。すなわち、モータサーボ系（筋粘弾性と伸張反射を含む系）のスティフネスが筋の活動レベルの増大と共に大きくなることを示した。

第6章では、伸張反射の応答性が脳によってどの程度調節されるかをより詳細に明らかにするため、伸張反射系の神経機構（筋紡錘・中枢神経系）の伝達特性を数学モデルを用いてパラメトリックに推定する手法を提案した。ヒト長母指屈筋に適用し、SRとLRの微分ゲインとLRの1次遅れの時定数を高い感度で推定できることを示した。被験者に行わせる張力制御のモードを種々変更した場合について解析した。母指が伸展されたとき、伸展に対して「張力を増大しろ」指示の場合、「脱力しろ」指示の場合に比べて、脳はLRの神経機構の微分ゲインを2.3倍、比例ゲインを40倍、1次遅れの時定数を3.3倍に増大させていることを示した。これらの結果から、次に行う随意的な運動を補助するように、脳が、伸張反射の特性、特にLRの神経機構の特性を調節（プリセット）していることが示唆された。また、随意的に筋の収縮力を増大するとき（脊髄 $\alpha$ 運動ニューロンの活動を増大するとき）、脳はSRとLRの神経機構の微分ゲインを比例的に増大させていることを示した。

最後に、本研究で得られた結果を第7章においてまとめた。

## 論文審査の結果の要旨

ヒトの手足の運動は筋の収縮と弛緩によっている。筋は収縮により力を発生するのみでなく、粘弾性を有し、それが変化するという大きな特徴がある。一方、運動の神経制御においては、脳だけでな

く下位の制御系が重要な働きをしており、特に、筋紡錘・反射中枢・筋からなる伸張反射弓の果たす役割は大きい。伸張反射の特性が脳により直接制御されるという神経機構になっている点は興味深い。すなわち、ヒトの運動制御の機能で注目すべきは、筋粘弾性・伸張反射の特性が調節されるという点である。ヒトの運動制御の機序を知るには、これまでほとんど報告されていない随意運動におけるこれらの特性に関する定量的な解析が必要である。本論文は、以上の観点から、随意運動時における筋粘弾性と伸張反射の特性を計測する手法を開発し、ヒトの母指筋を用いてそれらを計測するとともに、脳による調節の度合いを定量的に明らかにした研究成果をまとめたものである。この成果は、生体計測ならびに筋生理学・神経科学の分野において重要な意味を持つものである。

第1章では目的と意義を述べている。

第2章では骨格筋の構造、収縮機構、力学的性質、神経支配ならびに伸張反射に関する生理学知見と、筋の力学モデルについて説明している。

第3章では、ヒトの母指筋を対象とした計測装置を試作し、測定張力から筋粘弾性による張力成分を抽出している。筋粘弾性が筋の活動レベルと共に比例的に増大すること、筋粘弾性の大きさには個体差があることを明らかにしている。

第4章では、力学モデルと伸展時の張力応答を用いて、筋の粘性・弾性係数を推定する手法を提案し、ヒト長母指屈筋に適用している。直列・並列弾性係数ならびに低速時の粘性係数が筋活動レベルと比例関係にあることを示している。さらに、実験動物の報告との比較を行い、本推定法の妥当性を示している。

第5章では、筋を伸張したときの測定張力から、伸張反射によって発生する張力成分を抽出する手法を提案し、ヒト長母指屈筋に適用している。筋の活動レベルを増大した場合、短い潜時の伸張反射(SR)と長い潜時の伸張反射(LR)の応答性が増大することを示している。

第6章では、伸張反射の数学モデルを用い、神経機構(筋紡錘・中枢神経系)の伝達特性を推定する手法を提案している。ヒト長母指屈筋に適用して、張力制御のモードの違いにおけるその伝達特性の違いを明らかにしている。

第7章は、本研究の結果をまとめている。

本研究は、ヒトの随意運動において、脳により筋粘弾性ならびに伸張反射の特性が大きく調節されていることを示している。ヒトの運動機能を代行する機器(動力義手、動力義足など)や機能的電気刺激の開発においては本研究の成果は重要な意義を持つものである。一方、LRのゲインがプリセットされ、そしてLRにより大きな張力が発生することを示した本論文の結果は、スポーツ科学の分野で重要な意味を持つ。

本研究は、ヒトの随意運動について筋粘弾性と伸張反射の調節を研究したものであり、筋ダイナミクスおよび運動の神経制御について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者楠本秀忠は、博士(学術)の学位を得る資格があると認める。