

Title	多チャンネル型機能的電気刺激(FES)による平衡点制御モデルの提案
Author(s)	松居, 和寛
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52056
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (松 居 和 寛)

論文題名

多チャンネル型機能的電気刺激 (FES) による平衡点制御モデルの提案

論文内容の要旨

近年機能的電気刺激 (FES : Functional Electrical Stimulation) は重度の麻痺に対しても、適用可能な手法として注目されている。

しかし、電気刺激の強さと筋力や筋長の変化の間に強い非線形性があること、少なくとも1つ以上の拮抗筋ペアによって駆動される関節の運動制御では冗長性に起因する ill-posed problem を解く必要があることなどから、FES コントローラに組み込む適切なモデルの導出は容易ではない。

本研究では FES コントローラに組み込む、ヒト本来の運動を基にしたモデルを明確にすることを目的とし、拮抗駆動系の平衡点と剛性が中枢神経系によって制御されているとする平衡点仮説に基づいたモデル (平衡点制御モデル) を提案した。

これまで筋電図 (EMG) を用いたヒトの運動制御戦略の解析により、筋骨格系を構成する拮抗筋ペアの筋電位の比で表された筋拮抗比と和で表された筋活性度が、平衡点に相当する関節角度と関節剛性と密接な関係があると報告されている。これらの概念を FES 制御に応用し平衡点と剛性を分離して平衡点を一意に決定することで、ヒトの関節運動を線形近似しモデル化することができると考え、拮抗駆動系の代表例としてヒトの肘関節をとりあげ提案する方法を用いてそのモデル化を試みた。

まず、手先変位を拘束した拘束環境下における周波数特性解析を用いたモデル化実験で、6人の被験者に対し水平面内における肘関節運動が2次遅れ系+ムダ時間のカスケード結合モデルで説明できることがわかり、そのモデルを神経筋系モデルとした。次に手先変位が可能な状態にした非拘束環境下において肘関節運動を神経筋系+筋骨格系の直列結合モデルで説明できると考え、3人の被験者に対し周波数特性解析を用いた筋骨格系モデルの特定を行った。特定した筋骨格系モデルと、先に特定した神経筋系モデルを結合した結果と、肘関節運動全体の系の周波数特性を比較し、提案したモデルが妥当であることを確認した。

また、1人の被験者に対し非拘束環境下における肘関節随意運動時の EMG を取得し、随意運動時のヒト肘関節の周波数特性を特定した。その特性と上記モデルを比較し提案した平衡点制御モデルがヒトの運動制御戦略に即していることを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (松 居 和 寛)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	宮 崎 文 夫
	副 査	教 授	和 田 成 生
	副 査	教 授	野 村 泰 伸
	副 査	教 授	西 川 敦 (信州大学学術研究院繊維学系)

論文審査の結果の要旨

近年、身体に麻痺を抱えた患者の運動支援や機能代行の実現に向けた研究が盛んに行われている。特に、抹消筋系を直接電気刺激することで筋活動の活性化を促し問題の解決を図る機能的電気刺激(FES: Functional Electrical Stimulation)は、重度の麻痺に対して適用可能な手法として多くの注目を集め、最近では、BMI(Brain Machine Interface)に代表される脳情報や神経活動の解読から身体を直接制御する手法としても、その応用可能性が期待されている。しかし、電気刺激の強さと筋力や筋長の変化の間に強い非線形性があること、少なくとも1つ以上の拮抗筋ペアによって駆動される関節の運動制御では冗長性に起因するill-posed problemを解く必要があることなどから、特定の筋肉への電気刺激に留まっているのが現状である。

本研究は、複数筋群を同時刺激しながら身体を協調的に制御する方法の確立を目指し、制御システムに組み込む適切なモデルの導出を試みたものである。筋電図(EMG)を用いたヒトの運動制御戦略の解析により、筋骨格系を構成する拮抗筋ペアの筋電位の比で表された筋拮抗比と和で表された筋拮抗和が、中枢からのコマンドに含まれる関節角度の平衡点と関節剛性と密接な関係があることに着目し、まず拮抗筋ペアに対する電気刺激強度を電氣的筋拮抗比と電氣的筋拮抗和に基づいて決定する方法を提案した。この方法を肘関節の拮抗筋ペアに適用し、FES刺激による等尺性運動および非拘束環境下の運動を介して、肘関節運動に関わる神経筋系モデルと筋骨格系モデルを導出した。また、これらのモデルに基づくFES制御実験や随意運動時の筋電解析を通し、モデルの妥当性を検証した。すなわち、FES制御によって実現される肘関節運動がモデルを介して十分な精度で予測できること、また随意的に行った運動時の筋電解析から得られた中枢コマンドがFES制御時の制御コマンドと類似した特性を持つことを明らかにした。

以上のように本研究は、今後一層臨床への導入が進むと予想される医療ロボティクスの発展に大きく貢献するものであり、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。