

研 究 成 果

サブテーマ名：インテリジェントFESによる生体機能再建システムの開発			
小テーマ名：インテリジェントFES / TESシステムの構築			フェーズ
インテリジェントFES / TESシステムのための筋疲労情報検出			フェーズ
インテリジェントFESシステム基盤技術の開発			フェーズ
上肢多関節系の近似的フィードバック制御方式の開発、筋疲労の 定量化早期検出を可能にする計測方式の開発			
サブテーマリーダー			
東北大学大学院工学研究科	客員(共同)研究員	星宮 望	フェーズ
東北大学大学院工学研究科	客員(共同)研究員	二見亮弘	フェーズ
研究従事者			
東北大学情報シナジーセンター	客員研究員	渡邊高志	
財団法人みやぎ産業振興機構	派遣研究員	巖 光文	
財団法人みやぎ産業振興機構	研究補助員	中谷裕教	
東北大学大学院工学研究科	客員(共同)研究員	星宮 望	
工藤電機株式会社	企業出向研究員	寿田一男	
研究の概要、新規性及び目標			
研究の概要			
インテリジェントFESシステムの基盤技術を開発するため、多チャンネル閉ループFES制御手法の開発、フィードバック情報としての筋疲労の検出・評価手法の開発、フィードバック情報への応用のための神経情報の取得方法の開発の3点について研究開発を行った。			
研究の独自性・新規性			
多チャンネル閉ループFES制御手法の開発においては、多関節の多自由度運動を複数の筋を電気刺激して閉ループ制御する方法の開発が臨床応用上必要である。しかし、電気刺激と再建動作との間に冗長性があり、ある動作を再建するための筋の電気刺激方法は一意には決まらない。このような系を対象として閉ループFES制御手法を開発することが、本研究の独自性・新規性を有する点である。			
筋疲労の検出・評価方法については、従来から用いられている一般的な誘発筋電図(M波)を使用するだけでなく、ダブルパルスにより誘発されるM波を利用する方法を検討することが本研究独自の方法であり、新規的な点である。また、筋内の局所酸素代謝による筋疲労検出については、FESの分野ではこれまでに検討されていないことから、本研究の独自性・新規性がある。			
神経情報の取得方法については、末梢神経束から個々の活動電位を検出し、弁別することは難しい。本研究では、統計学的手法に基づき、信号対雑音比が低い場合でも活動電位を検出する方法、活動電位の客観的かつ自動的分類手法を開発する点に本研究の独自性がある。			
研究の目標			
閉ループFES制御手法の開発においては、冗長性を有する系の多チャンネル閉ループFES制御手法を開発することを最終的な目標とした。また、閉ループ制御アルゴリズムの開発を進めるためには、健常被験者での基礎的な実験を行う必要があるので、閉ループ制御機能を有する実験用多チャンネルFESシステムを構築することを最初の目標とした。筋疲労の検出・評価方法については、誘発筋電図(M波)を利用する方法の利用可能性を明確にするとともに、新たに、近赤外光を利用した筋内の局所酸素代謝計測による方法の筋疲労推定への利用可能性を確認することを最初の目標とし、それらを利用した筋疲労評価指標の導出を目指した。神経情報の取得方法については、FES制御に関連するフィードバック情報を末梢神経束から取得することを想定し、雑音の多い信号から活動電位を検出する方法を開発すること、また、神経束等から計測した信号から神経線維ごとの活動を定量的に推定する方法を開発することを目標とした。			
研究の進め方及び進捗状況			
多チャンネル閉ループFES制御手法の開発については、最初に、実験用多チャンネル閉ループFESシステムを開発した。また、制御アルゴリズムとして、多関節の多自由度運動を複数の筋を電気刺激して制御するPID制御器とそのパラメータ決定方法を開発した。制御アルゴリズムは、原理的な有効性は実験的に証明され、基盤技術としては確立できたといえる。			
筋疲労の検出・評価方法については、誘発筋電図(M波)を利用すること、近赤外光により計測する筋内の局所酸素代謝を利用することで、筋疲労を評価する方法を実現可能であることを示した。筋内の局所酸素代謝に関しては、評価パラメータとして、酸素消費速度を推定する方法を提案し、その有効性を示した。これら2つの方法で、等尺性条件ではあるが、筋張力の推定に有効になることが示された。M波に関しては、ダブルパルスに関連するM波を用いることで、より詳細な筋疲労の評価を行える可能性があることも示された。			
神経情報の取得方法については、記録電極としてカフ電極を用いることにより、再現性良く安定して神経活動電位を計測できることを確認した。また、複数の神経線維活動から構成されている時系列データから単一神経線維活動を推定する方法や、雑音を多く含んだ記録データから神経活動電位の検出を行う方法を確立した。これらの信号分類手法や信号検出手法については、実験により、また、計算機シミュレーション			

<p>ンにより、過去の方法に比べて有効であることが確認された。</p>
<p>主な成果 具体的な成果内容： 実験用多チャンネル閉ループFESシステムを開発した。 冗長性を有する系の閉ループ制御手法を開発した。 誘発筋電図（M波）を利用すること、近赤外光により計測する筋内の局所酸素代謝を利用することで、筋疲労を評価する方法を実現可能であることを示した。 筋内の局所酸素代謝に関連する酸素消費速度を推定する方法を提案し、筋疲労評価におけるその有効性を示した。 M波と筋内局所酸素代謝の2つの方法が、等尺性条件において、筋張力の推定に有効になることを示した。 ダブルパルスに関連するM波を用いることで、より詳細な筋疲労の評価を行える可能性があることを示した。 複数の神経線維活動から構成されている時系列データから単一神経線維活動を推定する方法を確立した。 雑音を多く含んだ記録データから神経活動電位の検出を行う方法を確立した。</p> <p>特許件数：1件 論文数：10件 口頭発表件数：28件</p>
<p>研究成果に関する評価</p> <p>1 国内外における水準との対比 閉ループ制御手法については、冗長性を有する系の閉ループFES制御法の開発について研究を行っているのは、我々の研究グループ以外にはなく、先進的な研究成果である。 筋疲労評価については、M波を用いた筋張力推定などは国外でも行われており、我々の研究結果と同様の報告も見られる。また、時間変動する筋張力の推定を行っている研究グループが進んでいるといえる。しかし、筋疲労評価の観点からダブルパルスの利用を含めて検討しているのは我々のグループだけである。また、筋内局所酸素代謝をFES分野に応用することを検討したのは、我々のグループが最初である。 末梢神経からの情報取得については、神経束から個々の神経活動を計測する研究が少なく、一般には、複合活動電位として計測結果を処理している。これに対し、低S/Nの計測信号から活動電位を検出する方法、検出した活動電位を客観的かつ自動的に分類する方法を考案した点は先進的である。</p> <p>2 実用化に向けた波及効果 閉ループ制御法、筋疲労の検出・評価法、末梢神経からの情報取得法のいずれの研究成果についても、該当する分野の基盤技術になることが期待される。</p>
<p>残された課題と対応方針について これまでの研究により、閉ループ制御法、筋疲労の検出・評価法、末梢神経からの情報取得法の基盤技術を開発してきており、また、いくつかの点で実用化を考慮した検討を行ってきた。今後は、臨床で使用可能にするための方法への展開と実用性の改善が必要である。</p>
<p>代表的な設備名と仕様 [既存（事業開始前）の設備含む] JST負担による設備： 地域負担による設備：</p>