

神経ネットワークを用いた、運動中の膝関節トルクの推定

新潟医療福祉大学 理学療法学科・久保雅義
新潟医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科・徳永由太

【背景】

運動中の膝関節トルク値とその変化は、重力下での身体運動および付随する関節障害の発生機序を理解する上で重要な情報であるが、その測定は間接的な方法をとらざるを得ない。

筋電図は運動中の筋活動量測定にすぐれているが、筋活動量と筋の発生する関節トルクの関係は、その時の関節の角度や角速度の関数であり、等尺性の運動を除いては筋電図-筋力の一定した関係を仮定して関節トルクを推定することはできない。

本研究では、同一被験者に対し、その膝関節運動にともなう筋電図および膝関節トルクと角度変化を計測し、神経ネットワークにそれらの変数間関係を学習させ、さらに学習された個体の特性に基づいてその被験者の一般的運動時の筋電図・膝関節運動測定値から関節トルクの推定を試みた。

【方法】

一名の被験者に対して、座位にて膝の屈伸運動をさせ、下肢筋群の活動・膝関節角度と角速度、および関節トルクの計測をダイナモメーターで行った(課題1)。関節運動は、求/遠心性の二つの収縮様式、関節トルクの大きさ、関節運動速度の3つのパラメーターを組み合わせた複数条件下で測定を行った。

次に同一被験者がスクワット運動を行い(課題2)、三次元動作解析装置と床反力計から得られた運動学・運動力学的測定値から専用ソフトウェア(BodyBuilder 3.6, OMG plc.)を用いて膝関節トルクを逆運動力学的に計算した。運動課題中の下肢筋群の筋電図も同時に記録された。

課題1で得られた筋電図・関節角度および角速度とともに神経ネットワークへの入力とし、対応する膝関節トルクを出力として学習を行わせた。本研究では、七つのノードを持つフィードフォワードネットワークに対して誤差逆伝搬法を用いて学習を行わせた。

学習を終えたネットワークに対して運動課題2で得られた筋電図と関節運動の時系列データを入力し膝関節トルクを推定した。逆運動力学的計算によって求められたトルクとの一致度は相関係数により評価した。

【結果】

課題1の測定値から、筋電図・膝角度変化と膝関節トルクの関係は神経ネットワークに学習させた。測定されたトルクと学習後のネットでは計算されたトルク間の相関係数は $r=0.97$ であった(図1)。

学習されたネットに課題2の測定値を入力し推定させた膝

関節トルクと、逆運動力学的に計算されたトルクの比較を図2に示す。二つのトルク間の相関係数は $r=0.89$ であった。スクワット動作開始時にネット推定トルクが負の値を示しているのに対し、逆運動力学的トルクはほぼゼロの値を示している。

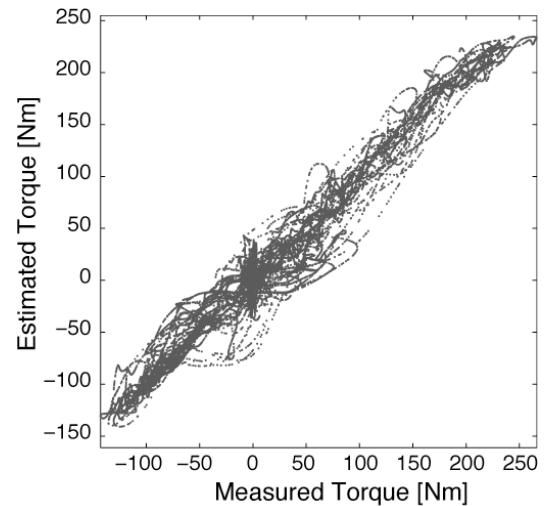


図1: 神経ネットワークの学習結果

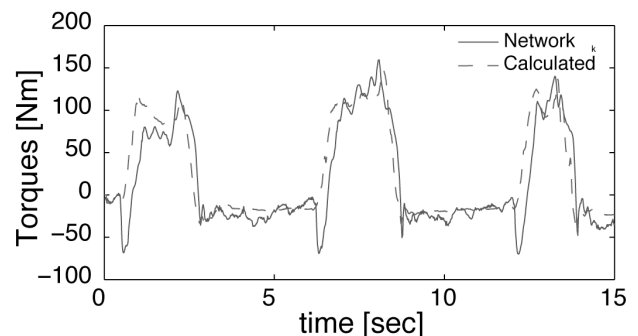


図2: ネット・逆運動力学的膝関節トルク間の比較

【考察】

今回使用した神経ネットワークは最も単純なものであったが筋活動・関節運動と関節トルクの関係は学習されたと考える。ネットワーク自体の学習アルゴリズムの高度化によりさらに精緻な学習が期待できる。

スクワットではその運動域全域で膝関節伸展トルク発生が予想できるが、運動前半部の遠心性筋活動による伸展トルクでの推定の一致度が低かった。ネットワーク学習に使用されたデータを筋収縮様式別にさらに分析してみる必要がある。

【結論】

筋電図と関節トルクの関係は、非線型で個人・測定環境に特異的でありモデル化が困難である。しかし神経ネットワークによる変数間関係の学習により、同一被験者の運動中の関節トルクの推定が筋電図・関節運動から高い一致度で可能になることが示唆された。