



Title	Establishment of Statistical Methods for Quantifying Daily Lower Limb Muscle Activity Using Achilles Tendon Biosignals and an Anklet-Type Device
Author(s)	松本, 龍彦
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/101712">https://hdl.handle.net/11094/101712</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;大阪大学の博士論文について&lt;/a&gt;</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 松 本 龍 彦 )	
論文題名	Establishment of Statistical Methods for Quantifying Daily Lower Limb Muscle Activity Using Achilles Tendon Biosignals and an Ankle-Type Device (アンクレット型デバイスとアキレス腱生体信号を用いた日常下肢筋活動の定量化に関する統計手法の確立)
論文内容の要旨	
<p>筋活動の定量化は、運動制御メカニズムの理解等の分野で重要な技術である。本研究では、筋収縮時に腱から発信される振動によって筋活動を定量化するMechanotendography (MTG) と呼ばれる方法を確立した。統計手法によって筋活動を定量化し、運動状態を識別するための方法を導入することで、生理学的メカニズムおよび実践的応用の両面で重要な知見が得られた。</p> <p>第一の研究では、複数被験者に対して足首等尺性底屈運動を実施させ、収集したデータを縦断データとして扱い解析した。解析には構造方程式モデリングの枠組みで扱われる潜在曲線モデル(LCM)を用いた。その結果、発揮筋力とMTG間の非線形関係及び性差が明らかになった。女性は低い負荷レベルでMTGの急激な増加を示した一方で、男性は低い負荷レベルでMTGの緩やかな増加を示した。条件付きLCM解析では、脂肪や足首周囲径が特性に影響を与えていることが示唆された。これらの結果は、筋線維収縮によって生成された微細な振動が腱に伝播するという仮説を支持し、MTGが筋活動を定量化する可能性を実証した。また、SEMおよびLCMが運動生理学における仮説生成および解析において有力なツールであることが示された。</p> <p>特定したMTGと筋活動の関係を実際の運動で活用するには運動状態に対して特性を対応させることが重要である。第二の研究では、踵上げ運動を対象とし運動状態の識別を目的とした。隠れマルコフモデルをベースとしたLstpR-HMMを開発した上で、圧電フィルムセンサを含む複数センサを備えたアンクレットデバイスから得られた情報を用いて運動状態の新たな識別の方法を提案し評価した。提案アルゴリズムは既存のアルゴリズムと比較してより優れた識別精度を達成した。特に状態遷移を正確に検出する能力が既存技術よりも優れていることを示した。さらに、選択された特徴はLCM解析の結果と密接に関係しており、圧電フィルムセンサが非動的動作を含む筋活動レベルを捉える上で有効であることを強調した。</p> <p>本研究成果は、MTGが非侵襲的な筋活動定量化における有効なツールとなり、日常筋活動モニタリング等への展開の可能性を示している。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 松 本 龍 彦 )			
	( 職 )	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	杉本 知之
	副 査	教授	内田 雅之
	副 査	教授	鈴木 讓
	副 査	教授	狩野 裕 (同志社大学 文化情報学部)
<p><b>論文審査の結果の要旨</b></p> <p>本研究は生体信号の計量化に関するもので、筋肉が収縮する際、腱から観測される振動によって筋活動を定量的に測定・評価する方法(Mechanotendography, MTG)を統計学的に開発し発展させることを目的とした。筋活動の定量化は、人や動物の運動を制御するメカニズムを理解し応用する分野では根本的に重要な技術である。</p> <p>本研究の第一の成果は、構造方程式モデリングにおける潜在曲線モデル(LCM)によって、発揮筋力と発信信号の間の非線形関係を同定し性差を明らかにしたことである。女性は低い負荷レベルでMTGの急激な増加を示す一方で、男性は低い負荷レベルでMTGの緩やかな増加を示す。条件付きLCM解析では、脂肪や足首周囲径が発信信号の特性に影響を与えていることが認められた。これらの結果は、筋線維収縮によって生成された微細な振動が腱に伝播するという仮説を支持するものである。統計的方法論としては個人差を潜在変数で記述する潜在曲線モデルが有効に利用され、運動生理学における仮説生成および実証分析においても有力なツールであることが示された。</p> <p>第二の研究では、踵上げ運動を対象とし運動状態の識別を目的とした。隠れマルコフモデル(HMM)をベースとしたLstpR-HMMを開発した。LstpR-HMMは、隠れ状態の遷移対象ごとに観測変数を変更する柔軟なモデルとなっており、さらに、観測変数群をロジスティック回帰分析により1次元に縮約してからHMMを適用することで、大規模データに対するHMMによる解析を可能にした。提案アルゴリズムは既存のアルゴリズムと比較してより優れた識別精度を達成した。特に状態遷移を正確に検出する能力が既存技術よりも優れていることが示された。さらに、選択された特徴量はLCM解析の結果と密接に関係しており、圧電フィルムセンサが非動的動作を含む筋活動レベルを捉える上で有効であることが示された。</p> <p>本研究成果は、MTGが非侵襲的な筋活動定量化における有効なツールとなり、日常筋活動モニタリング等への展開の可能性を示しており、博士(工学)の学位論文として価値があると認める。</p>			