

研究概要報告書 【サウンド技術振興部門】

( 1 / 3 )

研究題目	骨格筋収縮に伴う音の伝播速度による筋スティフネスの計測	報告書作成者	吉武康栄
研究従事者	吉武 康栄（鹿屋体育大学 スポーツ生命科学系），篠原 稔（ジョージア工科大学 応用生理学部）		
研究目的	<p>体力医科学分野において，筋スティフネスは，加齢変化や神経・筋疾患患者における筋強剛や筋固縮などの評価指標にしばしば用いられる．また，スポーツアスリートにおいて，パフォーマンス（100m 走タイム，ジャンプ力）は筋スティフネスと強い関連性があることが示唆されている．このように，筋スティフネスは，神経・筋生理，発育・加齢，スポーツ，呼吸・循環などの多種多様な研究分野に渡り，ヒト生体の骨格筋機能メカニズムを解明するうえで非常に重要な生体情報である．一方で，従来の骨格筋スティフネスは，学術的に「精度が高い」手法としては，トランスデューサを筋内に挿入する侵襲的手法に限定されている．一方，最新の超音波測定技術である剪断波エラストグラフィ法は，生体組織のスティフネスをリアルタイムで測定可能とし，近年では骨格筋を対象にした研究に応用されている．しかしながら，この測定では比較的高価な装置を必要とするため，汎用性に問題がある．そこで，精度が高く非観血的で安価な筋スティフネス評価法を確立することは，基礎生理学，臨床，スポーツ科学分野などにおいて非常に意義があると考えられる．</p> <p>そこで，我々はヒト骨格筋の随意収縮中の筋線維振動によって生じる筋収縮音に着目し，本研究では，「音の伝播速度は伝播物質の硬さ（スティフネス）を反映する」という物理法則を利用して筋のスティフネスを求める，という新しいアイディアの妥当性を検討することを目的とした．</p>		

## 研究内容

対象は、健康な若齢者の上腕二頭筋を対象の筋とした。課題動作は、肘関節角度 90 度による等尺性肘屈曲動作とした。対象者の手首は、その外側にロードセル (LUR-A-1KNSA1, 共和電業社製) と接続されたストラップと中間位にて接続し固定した。対象者は予め測定した最大随意筋力 (MVC) を基準に、15, 30, 45, 60% MVC を目標値として力発揮を行わせた。対象者前方約 1m 前方には 21 インチ型のモニタを設置し、目標値となる力および DC アンプ (DPM-712B, 共和電業社製を介して得られた実際に発揮した力をそれぞれラインで表示した。対象者は、自分の発揮した力を示すラインが目標値にできるだけ合うよう約 8 秒間力発揮を維持した。

筋音図は、4 つの小型加速度センサ (352C65, PCB Piezotronics 社製) を上腕二頭筋の長頭と短頭の境目の皮膚表面上に配列した。筋音図波形および力信号は、16 ビットの A/D 変換器 (PowerLab 16/35, ADInstruments 社製) を用いて、サンプリング周波数 2000Hz でデジタル信号に変換後、パーソナルコンピュータに取り込んだ。随意筋収縮中に各センサが測定した筋収縮音 (加速度信号) のフィルター処理後の相互相関分析により、筋収縮音の伝播速度の定量を行った。この筋収縮音の伝播速度 (c) を得ることにより、 $\rho c^2$  ( $\rho$ : 密度 1000 kg/m<sup>3</sup>) の計算式から筋のスティフネス (kPa) を算出した。また、筋硬度のリファレンスとなる値としては、上腕二頭筋短頭から超音波剪断波エラストグラフィ装置 (Aixplorer, SuperSonic Imagine 社製) により、剪断率 (kPa) を定量化した。上記の筋収縮音伝播速度分析から求められた筋スティフネスが、それらの段階的変化に対応した正しい値を示すかどうかを検討した。

研究のポイント	<p>我々の研究グループでは、等尺性筋収縮中に、ある一定の目標値にできるだけ精確に発揮する力を合わせるという課題において、力の変動とレーザ変位計で導出した筋表面振動（変位）は波形類似性があることを確認した。力変動は疲労，加齢，不活動，運動神経疾患により増加することから，将来的には，筋音図を用いることで新しい神経・筋機能評価法の確立が可能となりえる。このように，筋音図は新しい生体信号として，基礎生理学および臨床面での活躍が期待されている。本研究は，筋音図測定を応用研究に採用し，今後臨床面での活用できる将来性を検証した研究として，独創性があると考えられる。</p> <p>近年，乳癌検診などを目的とし，非侵襲的に生体組織内部のスティフネス（剪断率）の測定が可能である超音波剪断波エラストグラフィ法が開発された。これは，生体組織内部に一定強度に設定された剪断波（振動）を外因的に与え，その伝播速度より組織内部のスティフネス（剪断率）を絶対定量できる最新超音波技術を駆使したシステムである。剪断波エラストグラフィは，伝播速度の2乗は物体のスティフネス（硬さ）に比例するという原理を用いて筋スティフネスを算出し，リアルタイムにカラーマッピングにより筋スティフネスの大小を表示する（図参照）。この方法の利点は，超音波プローブによる圧迫が不要であるため検者のスキルに依存せず，他の超音波機器にはない超高速イメージング（20000 フレーム / 秒）で画像を収集し，計測値に高い精度と再現性があることが挙げられる。一方で，装置は比較的高価である欠点を持つ。本研究では，安価である筋音図センサによって筋硬度の推定し，エラストグラフィによるリファレンス値との差異について検討を試みたことに新規性がある。</p>
研究結果	<p>本研究の結果は，</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3/8 名は筋音図から筋硬度が比較的精度が高く推定可能であった</li> <li>・ 5/8 名に関しては，推定が困難であった</li> </ul> <p>推定が困難であった理由としては，</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 筋音図に混入したノイズの影響，または</li> <li>・ エラストグラフィで推定した筋硬度推定箇所が，筋音図によるそれと異なるため，そもそも筋硬度が異なる箇所ですでに測定をしていた</li> </ul> <p>などが考えられる。</p>
今後の課題	<p>精度の向上に向けた実験プロトコルを見直す必要がある。</p> <p>特に，ノイズの混入には，筋音図センサの筋振動由来以外の理由（例，ケーブルの動き等）が考えられるため，センサを我々が先行研究で採用した非接触型のレーザ変位センサ（Yoshitake et al. 2008）で行うなどの工夫を行うべきであろう。</p>



図 1. 測定手法と研究概要図

図 3. 筋音図およびエラストグラフィから推定した伝播速度

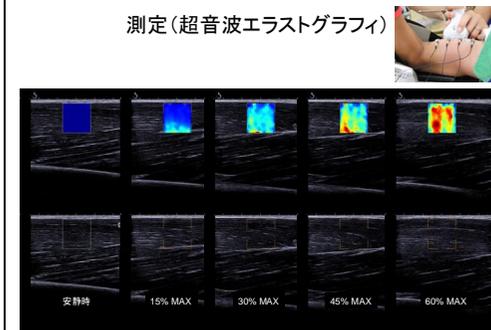


図 2. 筋収縮中における超音波剪断波エラストグラフィによる筋硬度測定  
(青色から赤色になるほど筋硬度が高い)

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)