

3. 超音波検査 (US)

US (Bモード) がもたらす情報 —— 筋の線維構造評価を中心に

若原 卓 早稲田大学スポーツ科学学術院

超音波Bモード法は、筋のサイズ(筋横断面積、筋厚)のほか、筋束長、羽状角など、骨格筋の形態的な情報を非侵襲的に計測することができる。本稿では、超音波Bモード法がもたらす情報のうち、特に筋束長および羽状角に焦点を絞り、これまでの研究成果を紹介する。なお、超音波Bモード法では、筋束長や羽状角をさまざまな運動中においても計測可能であるが、ここでは、筋束長・羽状角を安静時あるいは静的(等尺性)収縮時に計測した研究に絞って概観する。ダイナミックな運動中の筋束動態については、優れたレビュー^{1)~3)}が存在するため、興味のある読者はそちらを参照されたい。

骨格筋の構造とその意義

筋の細胞である筋線維は、複数が集合して筋束を構成している。超音波Bモード法で観察される線維状のエコー(図1)は、筋束をとらえたものと考えられている。超音波Bモード法では、筋束の深部腱膜の付着部から浅部腱膜の付着部までの長さとして、筋束長を計測することができる。筋束長は、筋線維の長さと同じとしてとらえられることが多いが、実際には両者は必ずしも一致せず、筋束内で途切れる筋線維も存在する⁴⁾。ただし、筋束内で終わる筋線維は、直列に結合して全体として筋束長と同一の長さとなることから、筋束長は、むしろ機能的に意義のある長さと言える⁵⁾。筋束内には、筋収縮の最小単位である筋節(サルコメア)が直列に配列している。筋束長は、直列するサルコメアの数とその長さの積ととらえられる。個々のサルコメアの長さ変化が筋全体の長さ変化となるため、直列サルコメア数が多いほど、筋の最大短縮速度の値は大きくなる。すなわち、筋束長が長い筋ほど、最大短縮速度の値が大きい。また、筋束長やその単位時間あたりの変化である筋束短縮速度は、筋全体が発揮する力の大きさにも影響を及ぼす。これは、骨格筋の基本的な収縮特性である長さ-力特性⁶⁾や、速度-力特性⁷⁾によるものである。

骨格筋の筋束は、筋全体の力発揮方向に対して、斜めに配列していることが多い。筋全体の力発揮方向に対する筋束の角度を羽状角と言う。超音波Bモ

ド法では、筋束と腱膜のなす角度として、羽状角を計測することができる(図1)。羽状角が大きい筋ほど、同じ腱膜の付着面積に対してより多くの、あるいは、より横断面積の大きい筋束を配置することができる。一方、筋束が発揮した力のうち、身体外部への出力に貢献するのは羽状角の余弦成分のみであるため、羽状角が大きくなるほど力の伝達効率が低下する。すなわち、羽状角が大きいことは、横断面積を増加させて発揮筋力を高める作用と、余弦成分を低下させて力の伝達効率を低下させる作用の2つを併せ持ち、身体外部への出力はそれらの影響を受ける。Kawakami⁸⁾によれば、羽状角が45°までであれば、横断面積増加の効果は高く、身体外部への出力が高まる。一方、45°を超えると、力の伝達効率低下の影響が大きくなってしまい、身体外部への出力が低下する可能性がある。

このように、超音波Bモード法で計測できる筋束長・羽状角は、骨格筋の機能を左右する重要な因子である。

筋束長・羽状角の計測方法に関する研究報告

超音波Bモード法を応用して人間の骨格筋の筋束を観察し、筋束長・羽状角のデータを報告した研究は、筆者が知るかぎり、1992年のHenriksson-Larsenらの報告⁹⁾が初めてである。続いて、同年の同じ雑誌(*European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*)にも、超音波Bモード法を