

写真1 圧電式音響センサ

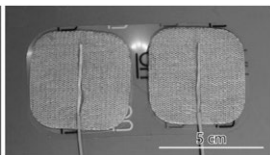


写真2 電気刺激を与える電極

## 筋音とは

### ● 最初の発見は1665年

筋肉が音を出している、と言われて皆さんは信じますか？実は、筋肉は収縮する際に音を発しており、学術的には筋音と呼ばれています。筋音の歴史はとても古く、文献では1665年にイタリアの科学者である Francesco Maria Grimaldi の著書、「光、色、虹に関する物理・数学的論考」に初めて筋音の記述が登場します<sup>(1)</sup>。その後1800年台前半に、英国の外科医 William Hyde Wollaston や、フランスの外科医で聴診器を発明したとされる René Laennec、ドイツの外科医 Paul Erman などが筋音に関する研究を行っていました。また1845年には、熱力学の第1法則やギブズ-ヘルムホルツの式、ヤング=ヘルムホルツの三色説、電気二重層のヘルムホルツ・モデル、ヘルムホルツ共鳴器などで有名なドイツの外科医・物理学者の Hermann von Helmholtz が、初めて筋音信号を機械的に増幅して計測することに成功しました。

### ● 最初は音かと思われたが実は圧力だった

筋音は発見当初、音を検出するセンサである聴診器やマイクロフォンを使って計測されてきました。そのため、英語では「音」を意味する acoustic や sound を用いて AMG (acoustic myogram)、SMG (sound myogram) と表記されており、それが筋音と和訳されて現在に至ります。

しかし近年の研究成果により、筋音は「筋線維の収縮により側方に拡大変形する際発生する、一種の圧力波(機械的信号)である」という見解に統一されつつあります。そのため、acoustic や sound ではなく「機械的」を意味する mechanical を用いて、MMG (mechanomyogram) と表記するようになりました。

### ● 筋音に関する論文は少ない

筋肉の活動状況を知る手段として筋電があります。筋肉が収縮する際に筋線維から発生する活動電位を計測する方法ですが、初めて観察されたのは、1849年(ドイツの生理学者 Emil du Bois-Reymond)とされています。実は筋音の方が約200年も早く知られていたこととなります。

ところが、筋音と筋電に関する学術論文の本数を調べてみると、筋電に関する論文は35,081件なのに対して、筋音に関する論文は、わずか744件でした(2020年3月、Web of Science調べ)。

### ● ようやく筋音を測れるセンサなどが整ってきた

約200年も早く発見されていたのに、研究に大きな差があるのは、計測のしやすさにあると言われてます。電極を通じて皮膚表面の電位を計測する「筋電」計測の手軽さに対して、マイクロフォンや加速度センサなどで皮膚表面の振動や圧力波を計測する筋音は、近年まで小型で高感度なトランスデューサがなかったため、計測のハードルが高かったようです<sup>(2)</sup>。

本稿では、写真1に示す圧電式の音響センサ AE-900S-WB (NF回路設計ブロック) を使って、実際の筋音波形を計測してみます。

## 筋音で分かること

### ● その1…トレーニングやリハビリの効果

そんな不遇だった筋音ですが、センサや計測器の発達に伴って研究が進んでいます。筋音の発生メカニズムとしては、

- ① 筋肉全体の動き (Lateral movement)
- ② 筋肉の直径方向への拡大・縮小 (Radius change)
- ③ 筋肉・筋繊維の共振 (Oscillation)

の3つの、筋肉の収縮モードの重ね合わせであることが分かってきました<sup>(3)</sup>。

筋音を計測・分析することで、筋肉の物理的な収縮特性が分かります。比較的短い時間の経時変化から筋疲労の評価ができたり、長期的な経時変化からは筋力トレーニングやリハビリテーションの効果が評価できたりするのはと期待されています。

これまでの研究で、本人の意思による運動(随意運動)中の筋音を計測した結果、強い力を発揮する際に、より高い音を発することや、筋疲労が生じると筋音小さくなるのが明らかになってきました<sup>(4)</sup>。