

## 筋肉がしゃべる？

竹井 裕介

筋肉がしゃべる，と言われて，皆さんは信じられるだろうか？実は，筋肉は収縮する際に音を発している．学術的には，この「筋肉が発する音」は「筋音」と呼ばれている．この「筋音」の歴史は古く，文献では，1665年にイタリアの科学者である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する<sup>1)</sup>．その後1800年台前半に，イギリスの外科医Wollastonや，フランスの外科医で聴診器を発明したとされるLaennec，ドイツの外科医Ermanなどが，筋音に関する研究を行った．また，1845年には，熱力学の第1法則，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用して計測されてきた．そのため，英語では「音」を意味する“acoustic”や“sound”を用いてAMG (acousticmyogram), SMG (soundmyogram)と表記されており，それが「筋音」と日本語に翻訳されて現在に至っている．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る．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った<sup>2)</sup>．

筋肉の活動状況を知る手段としては，筋肉が収縮する際に筋線維から発生する活動電位である「筋電」を計測する方法が一般的であるが，筋電が初めて観察されたのは，1849年（ドイツの生理学者Reymond）とされており，「筋音」のほうが「筋電」よりも約200年も早く，知られていたことになる．

しかし，これまでの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31,623件なのに対して，「筋音」に関する論文は，わずか678件である（2018年9月Web of Science調べ）．「筋音」のほうが，約200年も早く発見されていたのにも関わらず，ここまで論文の本数に大きな差があるのは，「筋電」計測の容易さにあるといわれている<sup>3)</sup>．電極を通じて，皮膚表面の電位を計測する「筋電」計測のお手軽さに対して，

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（変換器）がなかったため，計測のハードルが高かったようである．

さて，そんな不遇だった「筋音」であるが，近年はセンサや計測器の発達に伴って，研究が進んでいる．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わかってきた<sup>2)</sup>．筋音を計測することで，筋肉の物理的な収縮特性がわかる．そのため，筋音の短い経時変化を見ることで筋疲労の評価，長期的な経時変化を見ることで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るようになるのではと期待されている．

また，筋電が電気的信号なのに対し，筋音が機械的な信号であることを利用して，筋肉電気刺激中の筋肉の収縮を筋音で計測する試みも行われている<sup>4)</sup>．筋肉電気刺激は，皮膚に電極を貼付し，筋肉に数十Vの電圧をかけることで筋肉を強制的に収縮させるもので，マッサージや筋力トレーニングなどに使われているが，筋肉電気刺激によって引き起こされる筋収縮の様子を筋電で計測しようとすると，筋収縮によって発生する1 mV以下の筋電の信号が，数十Vの電気刺激信号に埋もれてしまって同時に計測できないという問題があった．しかし，機械的な信号である筋音ならば，電気刺激の信号と干渉することなく，同時に計測することができる．筋肉への電気刺激と筋音計測の組合せで，新たな筋肉の定量的な評価手法が確立できる日が来るかもしれない．

皆さんも是非，筋肉のおしゃべりに耳を傾けてみてはどうだろうか．

- 1) Grimaldi, F. M.: *Physico-mathesis de lumine, coloribus, et iride*, Victorii Benatii (1665).
- 2) Orizio, C. et al.: *Eur. J. Appl. Physiol.*, **90**, 326 (2003).
- 3) Stokes, M. et al.: *Muscle Sounds in physiology, sports science and clinical investigation: applications and history of mechanomyography*, Medical Intelligence Oxford (2001).
- 4) Takei, Y. et al.: *Proc. IEEE Micro. Elect.*, p. 55 (2018).