

## 筋音図を用いた咀嚼筋の非侵襲的機能評価法の確立

### Establishment of noninvasive evaluation method for masticatory muscle function using mechanomyography

2041005



研究代表者

愛知県心身障害者コロニー  
発達障害研究所

主任研究員

伊 東 保 志

#### [研究の目的]

わが国は平成 19 年に高齢化率が 21.5% に達し、その後も高齢化率の上昇が続いている。こうした社会では健康寿命を延ばすことが課題であり、近年では加齢に伴う様々な身体機能の低下とその予防が重要視されている。本研究で注目した摂食・嚥下機能もその一つである。

厚生労働省の発表によれば、人口の高齢化とともに肺炎の発症が増加しており、平成 23 年には肺炎が脳血管障害を抜いて死亡原因の第 3 位となった。加えて、肺炎で亡くなる方の 9 割近くが 65 歳以上の高齢者であり、高齢者の肺炎の多くが誤嚥性であるとも云われている。誤嚥とは、摂食・嚥下の過程において、本来食道へ導かれるはずの飲食物が誤って気管へ流入することであり、直接的には、嚥下反射が機能しない、あるいは不十分に機能することによって発生する。一方で、誤嚥をする人の多くは食塊形成の機能が十分に働いていないとの指摘もあり、誤嚥の問題を考える上では、咀嚼筋の機能評価も重要であることが示唆されている。ところで、近年、骨格筋の筋機能評価の指標として“筋音図”なる信号が注目されている。筋音図は、筋収縮に伴って発生する体表面微細振動の記録であり、計測技術の躍進を背景に研究が本格化し、近年では運動単位レベルでの筋活動を分析できる新たなツールとして期待されている。

本研究の目的は、この新たなツールの実用的な利用方法として、摂食・嚥下に関連する筋、その中でも特に咀嚼に関わる咬筋を対象とした機能評価法の確立を目指すことである。

#### [研究の内容、成果]

一般に、筋機能には、筋力（どれだけ大きな力を出せるか）と筋持久力（どれだけ長く力を出し続けられるか）がある。これまでの報告で、長時間にわたる持続収縮中の筋音図は時間に伴って特徴的な変化することが報告されている。本研究では、この特徴に注目し、以下の方法で筋音図による咬筋の疲労耐性評価の可能性を検討した。

被験者は健常成人 8 名（平均  $21.2 \pm 0.4$  歳）とした。なお、研究に参加するにあたり、すべての被験者には、予め研究の目的および危険性を十分に説明した後、書面による同意を得た。実験では、咬筋を対象に、疲労困憊に至る等尺性持続収縮中の筋音図（MMG）と表面筋電図（EMG）の計測を行った。持続収縮中の目標発揮筋力は、最大咬合力の 35% と 75%（以降、35%MVC、75%MVC と表記）とした。MMG の導出は、左右の咬筋の筋腹に貼付した加速度計（メディセンス、MP101-10-101）と専用の増幅器（メディセンス、MPS110、バンドパスフィルタ：1-250 Hz）を介して行った。EMG

の導出は、左右ともに、筋線維の走行に沿って上述の加速度計を挟むように貼付した2枚の表面電極と筋電図検査装置（日本光電，WEB-9104，バンドパスフィルタ：5 Hz-10 kHz）を用いて行った。咬合力の導出は、被験者毎に作成したマウスピースを利用した咬合力導出デバイスを用いて行った。なお、デバイスの作成では、試行錯誤の結果、安定して咬合力を導出するために、上下歯のマウスピースの第一・第二大臼歯付近を薄くコーティングし、その上面を平らに加工して直径1 cmの咬合面を確保し、ここにシート型圧力センサ（ニッタ，FlexiForce A201-100）を装着することとした（図1）。導出された各信号はAD変換装置（ADInstruments，PowerLab 8sp，サンプリング周波数：4 kHz）を介してパーソナルコンピュータに記録した。また、咬合力については、実験中、被験者が目標の咬合力を保持し易いように、導出と同時にターゲットとともにモニタに表示した。

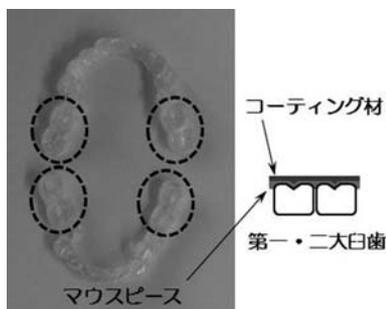


図1 咬合力導出のためのマウスピース

処理として、まず、発揮している咬合力が目標咬合力に達した時点から目標咬合力から5%MVCを超えて低下した時点までを持続時間と定め、これを算定した。また、MMGおよびEMGについては、短時間フーリエ変換法による時間一周波数解析を行った。すなわち、記録信号から0.1秒毎に1秒間の区間データを切り出し、FFT法により各区間のRMS値とパワースペクトルを算出した。さらに、各パワースペクトルからは、その平均周波数（MPF）を算出した。

結果として、持続時間は35%MVCで79.5±25.3秒、75%MVCで45.8±11.0秒であった（平均値±S.D.）。また、35%および75%MVCにおける咬合力、EMG、MMGの典型的な時間推移は図2に示したとおりであった。すなわち、EMGは、持続時間内（図中のsからeまで）において、35%と75%MVCの両方で、RMSが終始増加傾向を示し、MPFが終始減少傾向を示した。一方、MMGのRMSは時間とともに直線的に減少する傾向を示したが、MPFは50Hz付近で変動するものの、時間に伴う変化傾向はみられなかった。なお、図中の直線は時間とMMGのRMSの関係から求めた回帰直線であり、35%と75%MVCのいずれも相関係数は0.86以上であった。

筋の収縮活動において、収縮強度の増加とともに持続時間が減少することはよく知られており、本研究の結果も同様であった。また、75%MVCでの持続時間が45秒程度であった本結果は、咬筋以外の筋を対象とした他の報告[1]と概ね一致するものであった。一方、35%MVCでの持続時間は他の報告よりもやや短かった。言い換えれば、咬筋を対象とした本結果では75%MVCに対して35%MVCの持続時間は約1.7倍であったが、それは上腕二頭筋や大腿四頭筋などの場合に比べてやや低いものであった。このことは、対象とした筋を構成する筋線維の組成に関連があると推察する。すなわち、筋を構成する筋線維には大別して遅筋線維と速筋線維が存在する。前者は後者に比べて疲労耐性が高いが、発揮する張力が低く、MMGの振幅も小さい。上腕二頭筋や大腿四頭筋は、これらの異なるタイプの筋線維が概ね1:1の割合で存在する。これに対して、咬筋は疲労耐性の低い速筋線維のみで構成されると云われている。このことから、咬筋は、全筋としても上腕二頭筋などに比べて疲労耐性が低い傾向が予想され、特に、収縮強度が比較的低いときにその傾向が顕著に現われると考えられる。

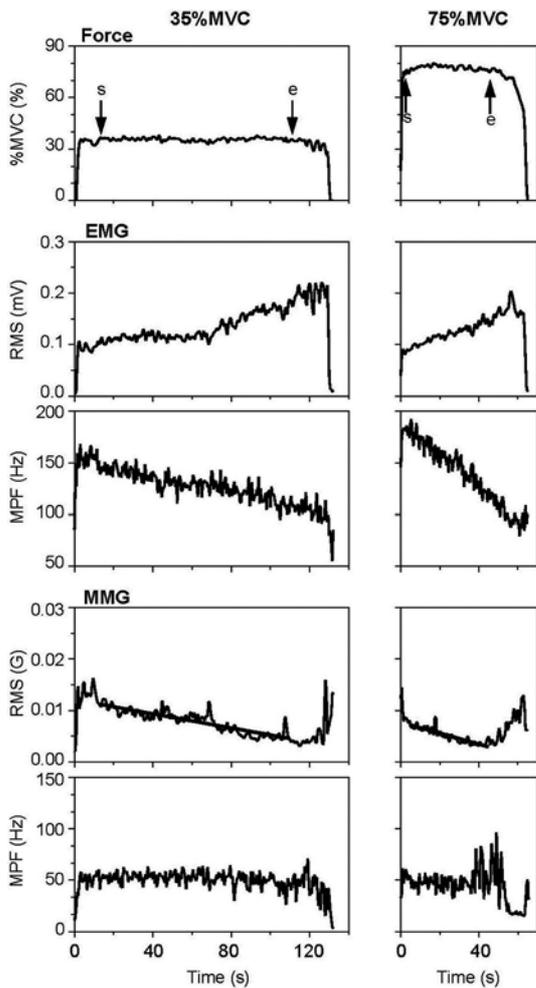


図2 35%および75%MVCでの持続的嚙締運動中の咬合力 (Force), 筋電図 (EMG), 筋音図 (MMG) の時間推移. 上段より, 咬合力, EMG の RMS, EMG の MPF, MMG の RMS, MMG の MPF を示している。

筋線維組成の違いによる影響は, EMG および MMG の RMS と MPF の時間推移にも関連すると推察する。すなわち, 上腕二頭筋や大腿四頭筋を対象にした報告 [1] では, 収縮強度による MMG の推移傾向の違いが顕著に現われていた。具体的には, 低収縮強度では MMG の RMS は時間とともに増加するが, 高収縮強度では減少する, などである。そして, その背景には, 低収縮強度では筋疲労に対する補償作用としてリクルートメントが主であり, 高収縮強度では発火頻度の調整が主であることが示唆されている。これに対して, 咬筋を対象とした本結果は, 35%MVC と 75%MVC の時間推移の傾向にほとんど違いはみられず, いずれも他

の筋の高収縮強度の場合と同様な減少傾向を示した。このことから, 速筋線維のみで構成される咬筋では 35% と 75%MVC のいずれの場合も筋疲労の発生に伴う運動単位活動様式に明らかな差異がないこと, さらに, 35%MVC という比較的低い収縮強度でも, 当初より, 筋を構成するすべての筋線維が活動しており, 筋疲労に対しての補償は主に発火頻度の調整で行っていることが予測される。

これまでの MMG に関する報告によれば, MMG の RMS の減少は加重が進んで完全強縮に近づいていることを示唆している。また, MMG の MPF は筋を構成する筋線維の平均的な発火頻度に比例している。一般に, 速筋線維は疲労し易く活動参加後間もなく筋疲労を発生する。筋線維の筋疲労に伴う変化としては, 発生張力の低下と収縮弛緩時間の延長であり, 結果, 筋線維の強縮亢進が起こる。強縮亢進の状態では, 発火頻度が同じでも加重が進み, 発生張力の低下による咬合力の低下を補償する効果がある。つまり, MMG の RMS が時間とともに低下した本結果は, 疲労の発生と進行に伴う速筋線維の収縮弛緩時間の延長とそれに伴う強縮亢進を反映していると考えられる。また, それに平行して MMG の MPF が変化を示さなかったことは, 目標咬合力を保持するにあたって平均発火頻度を概ね一定に保っていたことが反映されたのではないかと考えられる。そこで, 咬筋の疲労耐性評価の指標としては, MMG の RMS が時間とともに直線的に減少することに注目し, その傾きを指標候補として提案することを考えた。

#### [今後の研究の方向, 課題]

本研究では, 8名の被験者を対象に実験を行い, その結果から, 咬筋の疲労耐性を評価する指標として MMG の RMS の時間推移の傾きを提案することとした。今後は, 提案する指標の有効性をより詳細に検討するため, 被験者の数

を増やすとともにその年齢層も広げ、加齢に伴う影響などを分析しようと考えている。

[謝 辞]

本研究の遂行において様々な御助力、御助言を賜りました星城大学の久保金弥教授、三田勝己教授、ならびに朝日大学の藤原周教授、浦田裕介助教に心からの感謝の意を表します。

[参考文献]

- [1] Y. Itoh, K. Akataki, K. Mita, M. Watakabe, K. Itoh : Time-frequency analysis of mechanomyogram during sustained contractions with muscle fatigue. Systems and Computers in Japan, 35(1), 26-36 (2004)

[成果の発表, 論文等]

- [1] **Y. Itoh**, Y. Urata, S. Fujiwara, M. Yasubayashi, K. Kubo, K. Akataki, K. Mita : Assessment of swallowing function using surface electromyography and mechanomyography, LE2015, 2015.