

学位論文

口唇トレーニング前後における口腔周囲筋の筋疲労と
顎下部の形態変化

山田 紗織

大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座
(主指導教員:増田 裕次 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士(歯学)学位申請論文

Alterations in fatigue of the perioral muscles and
submandibular morphology according to lip training

Saori Yamada

Department of Oral and Maxillofacial Biology, Graduate School of Oral Medicine
(Chief Academic Advisor : Professor Yuji Masuda)

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

緒言

近年、フレイル(虚弱)が問題視されており、負のスパイラルから要介護状態へつながってゆく危険性がある。フレイルへ至るプロセスに歯と口腔の健康が深く関わるとする概念¹⁾がある。歯、口腔の管理がおろそかになると咀嚼機能の低下、嚥下機能の低下などから栄養不足になり、身体的な健康が障害を受ける。また舌運動低下、歯の喪失に伴う顔貌の変化などによって、滑舌や表情が曇り、人との交流も億劫になるなどの社会的な健康も危ぶまれている。さらに、心理面においても不安定になることから健康を損ねる。フレイルは、健康と機能障害の中間にあり、可逆的であることが特徴の一つである。プレフレイルやフレイル状態で、口腔機能を維持・向上する必要がある。また、口腔機能のひとつである口唇閉鎖機能は哺乳、捕食、咀嚼、嚥下、発音、表情による感情の表出などの様々な口腔機能を営む上で重要な役割を持つことが知られている。口唇トレーニングが口腔機能維持に役立つ可能性がある。

これまでに口唇の器具を用いたトレーニングには口唇閉鎖力や口唇から歯列に向けての力を増強させるものが行われている²⁻⁷⁾。さらに筋電図を分析した基礎的な研究により、トレーニング時の負荷量やその頻度により口唇閉鎖力に対する効果は異なることが報告されている⁸⁾。つまり、瞬発的な力の増強と持久的な力の増強のトレーニング法に相違があることが示唆されている。このことから、口唇機能の増強にどのような負荷をかけるべきかを検討することは重要であると考えられる。多方位口唇閉鎖力測定装置⁹⁻¹¹⁾をもとに、口唇閉鎖力をディスプレイ上に表示して、ビジュアルフィードバックを用いた的あてゲームが松本歯科大学で開発中であり、このゲームを週に3回、4週間継続することで、最大口唇閉鎖力の増強や口唇閉鎖調節能力の向上が明らかにされている¹²⁾。高齢社会を迎えた現代では、トレーニングに対する取り組みやすさや継続しやすさは重要な要素のひとつであり、ゲーム感覚で行えるトレーニングはこれらの点に優位性が高いと考えられる。

骨格筋のトレーニングには、持久力を高めるためのトレーニングと筋が発揮する力(筋力)を高めるためのトレーニングが存在する¹³⁾。筋力トレーニングの主な原則は、規則性、過負荷、および進行(強度、繰り返し回数、および頻度の観点から)である¹⁴⁾。筋力を高めるためのトレーニングには、筋原線維タンパク質の合成と筋肥大を刺激するために、短時間(<60秒)の強い収縮活動と重い抵抗負荷が必要である¹⁵⁾。あるひとつのトレーニングセッションは、急性疲労を引き起こし、繰り返し行うトレーニング中に神経筋系の適応につながると、一般的に言われている。つまり、疲労と回復を繰り返すことで、筋力の増強が引き起こされると考えられている¹⁴⁾。

一方、筋疲労は、表面筋電図のパワースペクトルの振幅と平均周波数の変化に反映され、この方法でテストされたすべての筋肉グループの平均周波数は減少する^{16,17)}。さらに、波形の振幅と周波数の変化は疲労の結果と相関し、信号の振幅が増加すると、平均周波数は減少することが示されている¹⁶⁻¹⁸⁾。そこで、本研究では、松本歯科大学で開発中の口唇閉鎖トレ

ーニングの継続時間による口輪筋および舌骨上筋群の疲労に対する効果を調べるために、実験 1 を行った。筋疲労の定量的な評価には、一定の収縮を示す筋活動中の筋電図を周波数分析した結果を用いた。

運動が引き起こすエネルギー代謝の改善によって、さまざまな健康上のメリットが達成される¹⁹⁾。これらのメリットは、筋肥大と脂肪量の減少によって引き起こされる体組成の改善を通じて長期的に持続すると言われている²⁰⁻²⁵⁾。口唇トレーニングを行うことで、口唇閉鎖に関わる筋の周囲の代謝が上がり、エネルギー消費を行うと考えると、口周囲の脂肪量の減少が起こり、顎下部の形態変化を起こす可能性がある。このことを検証するために、実験 2 を行った。筋疲労を引き起こすゲーム感覚で行う口唇トレーニングを 4 週間継続し、顔面形態を三次元的に解析して、顎下部の形態変化を調べた。合わせて、最大口唇閉鎖力およびゲームの巧みさを表す的あて回数を同時に記録した。

実験材料および方法

本研究は松本歯科大学研究等倫理審査委員会の承認を得て行った(承認番号 第 0269 号)。

本研究では、実験 1 として、筋疲労に対する口唇トレーニング時間の影響が筋により相違するかどうかを検証し、実験 2 としてトレーニングが顎下部形態におよぼす影響を明らかにした。

1. 口唇トレーニング

口唇閉鎖トレーニングとしてビジュアルフィードバックを用いた的あてゲームを使用した¹²⁾。的あてゲームには多方位口唇閉鎖力測定装置とディスプレイを用いた(図 1A)。被験者は背筋をのばして、椅子に座らせ装置のグリップを握り、顔は前方を向く。後頭部はバンドで、前頭部はヘッドレストで固定し、カンペル平面が床と平行になるようにした。この状態でプローブを咥えさせた。測定プローブには歯が当たらないように、また測定時には上下の歯が咬合しないように指示し、口すぼめ運動を行えるようにした(図 1B)。トレーニングに先立ち、最大努力で 3 秒間、口唇を閉鎖した時の方向別最大口唇閉鎖力を測定した。最大口唇閉鎖力の測定法は以前の研究^{9-12, 26)}に則った。

被験者の約 25cm 前方にディスプレイを設置した。このディスプレイを用いて、ビジュアルフィードバックによる随意的な口唇閉鎖力の調節を指示した。今回は以前の研究²⁶⁾から、口唇閉鎖力が発揮されにくいことが分かっている左右の 2 方向を除いた 6 方向を用いて実験を行った。測定時にはディスプレイ上に 6 方向のうち 1 方向に黄色い四角で的が映し出される。各方向での最大口唇閉鎖力の 50% を的の中央の値とし、 $\pm 8\%$ の大きさで的が表示された。口すぼめ時には赤色のバーで、的が表れた方向の口唇閉鎖力をリアルタイムで表示した(図 1C)。現れる的に合わせてその方向の口唇閉鎖力を維持するように口唇に力

を入れ、0.2 秒維持されると到達音とともに的は消え、すぐに新たな的が表示される。ディスプレイ上にはランダムな方向に次々と的が現れる。もし、0.2 秒維持されない場合は 2 分間のゲーム中、同じ場所に点灯したままである。このゲームを 2 分間行い、素早くと到達するとの的当て回数が増えることになる。

2. 実験 1 筋疲労に対するトレーニング時間の影響が筋により相違するかどうかの検証

1) 被験者

健常成人男性 14 名 (22~39 歳、平均年齢 28.4 歳)、健常成人女性 14 名 (22~30 歳、平均年齢 25.8 歳) を対象とし、研究の内容を理解し同意が得られた者とした。すべての被験者には自覚的・他覚的な顎関節症の症状は認められず、個性正常咬合を有していた。ただし、第三大臼歯以外の歯の欠損を持つ者、重度叢生を認める者、顎口腔領域に疼痛や機能障害を持つ者、オーバージェットが 0 mm 以下あるいは 5 mm 以上の者は除外した。

2) 口輪筋、舌骨上筋群の筋電図を記録

口輪筋、舌骨上筋群の表面筋電図を記録するために、正中から右に 1cm の上唇部、下唇部および顎下部に電極間距離 2cm として脳波用皿電極 (NE-103A、日本光電工業(株)、東京) を貼付した。

口唇トレーニング直前と直後に、20 秒間の最大努力での口唇閉鎖中に筋電図を記録した。記録された筋電図の波形はアンプを介して増幅された。筋電図データはリアルタイムで AD 変換 (サンプリングクロック: 2000Hz) され、パソコンの波形分析ソフトである spike2 (CED 社製、ケンブリッジ) に取り込んだ。

3) 筋電図周波数分析のプロトコール

口唇トレーニングは 3 回行った。被験者を男女別、ランダムに 7 名ずつのグループ (A, B) に分けた。A グループは口唇トレーニング時間を 1 回目 2 分、2 回目 2 分、3 回目 1 分とし、B グループは 1 回目 2 分、2 回目 1 分、3 回目 2 分と設定した。それぞれのトレーニング間に 30 分間のインターバルを置いた。2 分と 1 分のトレーニングの直前と直後には最大努力での口唇閉鎖を 20 秒間行った (図 2)。

4) 周波数分析

筋疲労の有無を評価するために、筋電図を周波数分析し、周波数帯域の比較には中間周波数を用いた。20 秒間の最大努力での口唇閉鎖中のうち、前半 10 秒間の筋電図波形を高速フーリエ変換 (FFTsize: 512 ms, Window: Hanning) を用いて、周波数分析を行った。得られたパワースペクトルから、中間周波数を算出した。

5) 統計解析

3 回の繰り返しの比較には繰り返しのある一元配置分散分析 (Repeated measured 1 way ANOVA) により有意な変化を調べた。各筋および各試行において、トレーニング前後における中間周波数の変化は paired t-test により調べた。これらの検定では有意水準を 5%とした。

3. 実験 2 トレーニングが顎下部形態に及ぼす影響を明らかにするための検証

1) 被験者

トレーニング群として健常成人女性 14 名 (19~40 歳、平均年齢 26.1 歳) とコントロール群として健常成人女性 11 名 (24~31 歳、平均年齢 26.7 歳) を対象とした。研究の内容を理解し同意が得られた者とした。すべての被験者には自覚的・他覚的な顎関節症の症状は認められず、個性正常咬合を有していた。ただし、第三大臼歯以外の歯の欠損を持つ者、重度叢生を認める者、顎口腔領域に疼痛や機能障害を持つ者、オーバージェットが 0 mm 以下あるいは 5 mm 以上の者は除外した。トレーニング群には 2 分間の口唇トレーニング、一日 2 回を毎週 3 回、4 週間実施した。コントロール群には普段通りに 4 週間生活してもらった。トレーニング群、コントロール群ともに、1 週間ごとに体重変動を自己申告させた。

2) 最大口唇閉鎖力

トレーニング群において、トレーニングに先立ち測定した方向別最大口唇閉鎖力のうち、初回トレーニング日の結果と最終日の結果を比較した。さらに、6 方向の総和を総合最大口唇閉鎖力として比較した。

3) 的あて回数

トレーニング中の初回トレーニング日の 2 回の平均値と 4 週間後の最終日の 2 回の平均値を比べた。

4) 顔面三次元画像解析

撮影時、被験者には背筋をのばして立ち、顔は自然な状態で前方を向くように指示した。カンペル平面が床と平行になるように頭位を保ってもらい、下顎安静位を保ってもらった。2 台のステレオカメラを用いて同時撮影を行った。撮影で得られた 2 枚の写真 (図 3A1、A2) をもとに三次元画像解析ソフトウェア (QM-3000、トプコンテクノハウス社製、東京) を用いることで、3D 画像 (図 3A3) が得られる。その画像内で正中矢状断のラインを導出 (図 3B) し、トレーニング前と 4 週後でこのラインを重ね合わせた。コントロール群では、トレーニングを行わずに最初と 4 週後に撮影を行い、同様にラインを重ね合わせた。

正中矢状断のラインから顎下部に変化が認められたかどうかの判断は、2 人の分析者が

それぞれ主観的に行い、一致した判断を用いた。

5) 統計分析

トレーニング群とコントロール群の年齢比較には **t-test** を用いた。トレーニング群における最大口唇閉鎖力および的あて回数のトレーニング前後の比較には **Paired t-test** を使って変化を調べた。トレーニング群とコントロール群の顎下部変化(上がった、変化なし、下がった)の人数の比較には、カイ二乗独立性の検定を用いた。これらの検定では有意水準を 5%とした。

結果

1. 実験 1

図 4 にトレーニング前後で記録した、口輪筋上唇部(UOO)、下唇部(LOO)および舌骨上筋群(SH)の、20 秒間の最大努力での口唇閉鎖時の筋電図活動と、上からの口唇閉鎖力(LF)を示す。この一例ではトレーニング後に筋活動の減少と口唇閉鎖力の減少が認められた。

図 5 は、2 分間のトレーニング前後において、20 秒間最大口唇閉鎖力を発揮したときの筋電図のパワースペクトルを示している。左は口輪筋上唇部、右は舌骨上筋群のパワースペクトルを表している。上段がトレーニング前、下段がトレーニング後の結果である。トレーニング後にはパワースペクトルが全体的に左に寄っていること、つまり周波数が低くなっていることから、筋疲労が起こったと考えられる。

1) 3 回の繰り返しの比較

図 6A に男性のトレーニング前の各筋における中間周波数の平均の結果を示す。回数による有意な相違は認められなかった。30 分間のインターバルで疲労から回復していることが分かった。図 6B は女性の結果を示す。男性と同様、回数による有意な相違は認められず、30 分間のインターバルで疲労から回復していることが分かった。

2) 筋疲労の評価

30 分間のインターバルで疲労から回復していることが明らかとなったため、2 回目 2 分と 3 回目 2 分の結果を合わせて 2 回目以降 2 分のひとつの群とし、2 回目 1 分と 3 回目 1 分を合わせて 2 回目以降 1 分のひとつの群として比較した。図 7A に男性の結果を示す。口輪筋上唇部および下唇部では、2 分間と 1 分間のいずれのトレーニングでも中間周波数の有意な低下が認められた($p < 0.001$)。舌骨上筋群では 2 分間のトレーニングでは有意な低下が認められた(1 回目 2 分: $p < 0.05$, 2 回目以降 2 分: $p < 0.001$)が、1 分間のトレーニングでは有意な変化は認められなかった。図 7B に女性の結果を示す。口輪筋上唇部および下唇部では、2 分間と 1 分間のいずれのトレーニングでも中間周波数の

有意な低下が認められた ($p<0.001$)。舌骨上筋群では 2 分間のトレーニングでは有意な低下が認められた ($p<0.05$) が、1 分間のトレーニングでは有意な変化は認められなかった。

2. 実験 2

年齢は 2 群間で有意差は認められなかった (図 8A)。

またトレーニング群とコントロール群はともに体重増減の変動は 1 キロ以内であった (図 8B)。図 9 に総合 6 方向の力の和である総合最大口唇閉鎖力の 4 週間後の変化(A)と、的あて回数の変化(B)を示す。4 週間後、総合最大口唇閉鎖力および的あて回数ともに有意な変化が認められた ($p<0.05$)。方向別最大口唇閉鎖力の変化を図 9C に示す。4 週間後、右上、右下、下、左下方向の力に有意な変化が認められた (右上: $p<0.05$ 、右下: $p<0.05$ 、下: $p<0.05$ 、左下: $p<0.05$) が、その他の方向では有意な変化は認められなかった。

図 10 にトレーニング前と 4 週間後で正中矢状断のラインを重ね合わせて比較した一例を示す。顎下部のラインが 4 週間後に上昇し、顎下部が上がっている、つまり引き締まっていることがわかる。25 名の結果について、2 人の分析者の判断はすべての被検者について一致していた。トレーニングを 4 週間行った結果、顎下部のラインが下がった人は 1 名、変化なしは 5 名、上がった人は 8 名となった。コントロールでは下がった人は 2 名、変化なしが 8 名、上がった人は 1 名となり、トレーニング群と比べて有意な相違が認められた (図 11)。

考察

1. 被験者

最大口唇閉鎖力は男性に比べて女性の方が弱く、方向別口唇閉鎖力の対称性も女性の方が弱い²⁶⁾。さらにビジュアルフィードバックを用いて方向別口唇閉鎖力を一定に維持する口唇閉鎖調節能力も男性に比べて女性の方が低い¹⁰⁾。このように、最大口唇閉鎖力および口唇閉鎖調節能力には、男女差があることが明らかにされている。さらに、男性健常高齢者においては口唇閉鎖調節能力が健常成人に比べて低いことが知られている¹⁰⁾。本研究においては、健常成人を対象として研究を行った。実験 1 では、トレーニングによる筋疲労の程度に男女差があるかどうかを調べるために、男性と女性を対象にしたところ、男女ともに疲労による中間周波数の減少は 2 分間のトレーニングで口輪筋上唇部、下唇部と舌骨上筋群に認められた。1 分間のトレーニングでは口輪筋上唇部と下唇部に認められ、男女間に相違は認められなかった。トレーニングの効果には男女の相違は認められないと考えられる。この点を考慮して、実験 2 では、女性のみを対象に研究を行った。

2. 実験プロトコールに関して

本研究では、トレーニングの継続時間の影響を調べるために、順序効果を排除する必要があった。そのために、30 分間のインターバルを置いて、疲労からの回復を待って研究を行った。過去の手のグリップ運動をトレーニングする際に、最大努力での力の 50% で 10 秒間のグリップ運動を行うと、1 分間で回復すると報告²⁷⁾がある。しかし、本研究のように、繰り返し行う運動に対して回復にどれくらい時間がかかるかは不明であった。予備実験で、2 分間継続した口唇トレーニング後に 30 分間のインターバルを取ると、中間周波数が元に戻ることが見いだされたので、本研究では 30 分間のインターバルを取ることにした。研究プロトコールに示すように、最初に 2 分間の口唇トレーニングを行い、疲労から回復した 2 回目、3 回目のデータを比較することとした。結果として、調べた 3 筋のいずれにおいても、最初の 2 分間も、2 回目以降の 2 分間も同様に疲労を起こすことが明らかになった。一方、2 回目以降 1 分間の口唇トレーニングでは、上下口唇に疲労を起こすものの、舌骨上筋群に関しては疲労を起こさないことが明らかとなった。事実、口唇部に関しては被験者全員からもトレーニング後に疲労感を感じるとの感想を得たが、顎下部に関しては疲労感を感じない者も居た。トレーニングの効果は運動強度（発揮する力や継続時間）に依存することはよく知られている。つまり、適度な運動よりも、運動が疲労感をもたらすまで実行されると、骨格筋のリモデリングに関与する代謝ドライブが駆動すると言われている^{28, 29)}。運動強度という点を考慮すると、2 分間継続する口唇トレーニングは、疲労をもたらす、筋の代謝を活性化する効果があったと考えられる。

3. トレーニング効果

本研究では、実験 2 で一日 2 回、週 3 回、4 週間の口唇トレーニングの効果調べた。以前の研究¹²⁾で、コントロール群に比べて、トレーニング群では最大口唇閉鎖力および口唇閉鎖力調節能力が有意に向上するという結果が得られているので、その研究のトレーニング回数および期間に則って行った。本研究でも、最大口唇閉鎖力や的当て回数の向上が認められ、同じ結果となった。筋力を高めるためのトレーニングには、短時間 (<60 秒) の強い収縮活動と重い抵抗負荷が、筋原線維タンパク質の合成と筋肥大を刺激する必要がある¹⁵⁾。本研究では筋が発揮する力(筋力)を高めるためのトレーニングとなったので、50% の力でも短時間の収縮を 2 分間繰り返すことで、筋力の増強がもたらされたと考える。ただし、筋肥大については確認できていないが、三次元画像解析でわかるほどの肥大は認められなかった。筋力トレーニングとして、強度、繰り返し回数、および頻度が重要であるが¹⁴⁾、今回用いたトレーニングの 50% の力を維持すること、一日 2 回、週 3 回、4 週間という設定は筋力の増強に適していたと考える。

さらに、的当て回数の向上という点を考慮すると、筋力の増強のみならず、運動の巧みさも向上したと考えられる。これは運動学習の中の運動適応学習の効果によるものと考えられる³⁰⁾。運動学習は、運動適応学習、運動機能学習、運動連合学習に分けられる。中でも運動適応学習は、習得している運動技能を繰り返し練習することによって、効率よく運動が遂行できるよ

うになるタイプの運動学習である。この学習の過程では、神経系において運動遂行機能の改良が起こるとされている。

4. 顎下部の形態変化

全身の抵抗性運動は、皮下腹部脂肪組織からの脂肪分解(脂肪細胞からのグリセロールの動員)の一時的な増加と筋肉内の脂肪酸酸化の増加の累積効果によって、脂肪量の慢性的な変化に寄与する可能性があると言われている³¹⁾。運動が引き起こすエネルギー代謝の改善によって、筋肥大と脂肪量の減少によって引き起こされる体組成の改善を通じて長期的に持続する²⁰⁻²⁵⁾。このように、筋が抵抗力に対して収縮する一過性の負荷が脂肪量の減少に寄与する可能性がある。これまでの研究^{19) 31) 32)}は全身運動を対象に行われているが、本研究のような口腔領域の局所的な運動でも同様の効果が期待できる。実験1で舌骨上筋群に疲労を伴うようなトレーニング効果が期待できることが明らかとなり、実験2で顎下部の引き締め効果がある人の人数が増えたとの本研究結果から、口唇運動を繰り返すトレーニングは顎下部の皮下脂肪の減少をもたらす可能性が示された。この効果には個人差があるが、口唇閉鎖運動を行う際に、舌骨上筋群を大いに使って運動する人と舌骨上筋群をそれほど使わない人が居たためだと考えられる。前述のように2分間の口唇トレーニングで顎下部に疲労感を得た人と得なかった人が居たことも事実である。また、4週間というトレーニング期間を設けたが、それよりも長期にわたりトレーニングを継続することで効果が現れる人もいたかもしれない。今後の研究課題である。いずれにしても、引き締まった人の人数が多くなるということは口唇閉鎖運動の顎下部引き締め効果が得られる可能性を示している。

5. 今後の展望

方向別口唇閉鎖力は歯列不正に関与することが示されている³³⁻³⁵⁾。口唇トレーニングは矯正歯科医学の臨床分野で有効に利用できる可能性がある。今後、矯正歯科の治療段階に合わせて口唇トレーニングが活用できるかを調べる必要がある。

さらに、高齢社会における口腔機能の低下に対しても、口唇トレーニングが寄与する可能性がある。口唇閉鎖運動は様々な口腔機能を営む際に重要な役割を持つので、口唇機能の向上が口腔機能全般の向上に役立つ可能性がある。このような、口唇機能の向上による口腔機能の向上に関しても今後の研究が待たれる。

本研究で得られた口唇トレーニングによる顎下部の引き締め効果は、美容の分野においても朗報であろう。この効果を高めるための口唇トレーニングのプログラムを構築する必要があるが、将来に向けて、明るい展望があると考えられる。

ここに述べたような、多分野に寄与する口唇トレーニングを楽しくゲーム感覚でできるという点にも意味があるだろう。単純なトレーニングではなく、ゲームとして取り組むことで、継続性が増し、広く社会に貢献できる可能性が高いと考える。

結論

1. 松本歯科大学で開発されたゲームを繰り返し行う口唇トレーニングを2分間行うことにより口輪筋上唇部、下唇部および舌骨上筋群に疲労が認められ、トレーニング効果を示すことが明らかとなった。
2. 1分間の口唇トレーニングでは口輪筋上唇部と下唇部に疲労が認められたが、舌骨上筋群には疲労が認められなかった。
3. 2分間のトレーニングを利用して一日2回、週3回を4週間行うと口唇閉鎖力の増強と的当て回数の向上が認められた。
4. 2分間のトレーニングを一日2回、週3回を4週間行うと、顎下部が引き締まった人数が増加した。

これらの結果より、2分間のトレーニングを用いることが効果的であり、口唇機能の向上と顎下部が引き締まる可能性が示された。

利益相反

本研究に関連し、開示すべき利益相反(COI)関係にある企業などはありません。

謝辞

稿を終わるにあたり、始終ご懇篤なご指導とご校閲を賜った本学大学院 顎口腔機能制御学講座 増田裕次教授に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

1. 飯島 勝矢(2015)口腔機能低下予防の新たな概念:「オーラル・フレイル」. *Geriat Med* 53: 1177-82.
2. Kaede K, Kato T, Yamaguchi M, Nakamura N, Yamada K and Masuda Y (2016) Effects of lip-closing training on maximum voluntary lip-closing force during lip pursing in healthy young adults. *J Oral Rehabil* 43: 169-75.
3. Gerliner D (亀田 晃, 鴨井 久一 訳) (1981) 口腔領域における筋機能療法. 17-31, 350-67, 書林, 東京.
4. Moyers RE (1958) *Handbook of Orthodontics*. 97-122, Year Book Medical Publishers, Chicago.
5. Barrett RH and Hanson ML (1978) Oral myofunctional disorders. 86-101, Mosby Company, St. Louis.
6. 山口 秀晴, 大野 肅英, 吉田 康子, Zickefoose WE and Zickefoose J (1986) 口腔筋機能療法(MFT)の臨床, 212-23, 265-71, わかば出版, 東京.
7. 山田 晋司, 小笠原 正, 岡田 芳幸, 伊沢 正行, 磯野 員達, 増田 裕次, 齋島 弘之(2017)口唇閉鎖訓練の継続と中止による口唇閉鎖力の変化. *日摂食嚥下リハ会誌* 21:136-44.
8. 大矢 和可, 金子 知生, 半田 薫, 飯田 順一郎 (2009) 口輪筋の筋力, 持久力の強化に対する有効なトレーニング法について. *顎機能誌* 15: 131-38.
9. Nakatsuka K, Adachi T, Kato T, Oishi M, Murakami M, Okada Y and Masuda Y (2011) Reliability of novel multidirectional lip-closing force measurement system. *J Oral Rehabil* 38: 18-26.
10. Miyamoto T, Yamada K, Hijiya K, Kageyama T, Kato T, Sugo H, Shimono R and Masuda Y (2019) Ability to control directional lip-closing force during voluntary lip pursing in healthy young adults. *J Oral Rehabil* 46: 526-32.

11. Hijiya K, Masuda Y, Miyamoto T, Shimono R, Katoe T, Kageyama T and Yamada K (2021) Age-related differences in maximum voluntary lip-closing force and ability to control lip-closing force. *J Oral Biosci* 63: 210-16.
12. 長井 健 (2018) ビジュアルフィードバックを用いた口唇閉鎖力トレーニングによる口唇機能の変化 学位論文
13. Coffey VG and Hawley JA (2017) Concurrent exercise training: do opposites distract? *J Physiol* 595: 2883-96.
14. Valkeinen H, Haikkinen A, Hannonen P, Haikkinen K and Ale'n M (2006) Acute heavy-resistance exercise-induced pain and neuromuscular fatigue in elderly women with fibromyalgia and in healthy controls. *Arthritis Rheum* 54: 1334-39.
15. Damas F, Phillips S, Vechin FC and Ugrinowitsch C (2015) A review of resistance training-induced changes in skeletal muscle protein synthesis and their contribution to hypertrophy. *Sports Med* 45: 801-7.
16. Farina D (2006) Interpretation of the surface electromyogram in dynamic contractions. *Exerc Sport Sci Rev* 34: 121-7.
17. Stashuk D (2001) EMG signal decomposition: how can it be accomplished and used? *J. Electromyogr Kinesiol* 11: 151-73.
18. Calder KM, Stashuk DW and McLean L (2008) Physiological characteristics of motor units in the brachioradialis muscle across fatiguing low-level isometric contractions. *J Electromyogr Kinesiol* 18: 2-15.
19. Laurens C, de Glisezinski I, Larrouy D, Harant I and Moro C (2020) Influence of acute and chronic exercise on abdominal fat lipolysis: an update. *Front Physiol* 11: 575363. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.575363>.
20. Ross R and Bradshaw AJ (2009) The future of obesity reduction: beyond weightloss. *Nat Rev Endocrinol* 5: 319-325.

21. Peterson MD, Sen A and Gordon PM (2011) Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 43: 249-58.
22. Stoner L, Rowlands D, Morrison A, Credeur D, Hamlin M, Gaffney K, Lambrick D and Matheson A (2016) Efficacy of exercise intervention for weight loss in overweight and obese adolescents: meta-analysis and implications. *Sports Med* 46: 1737-51.
23. Evans PL, McMillin SL, Weyrauch LA and Witzak CA (2019) Regulation of skeletal muscle glucose transport and glucose metabolism by exercise training. *Nutrients* 11: 2432. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/10/2432>.
24. Hsu KJ, Liao CD, Tsai MW and Chen CN (2019) Effects of exercise and nutritional intervention on body composition, metabolic health, and physical performance in adults with sarcopenic obesity: a meta-analysis. *Nutrients* 11: 2163. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/9/2163>.
25. Viana RB, Naves JPA, Coswig VS, de Lira CAB, Steele J, Fisher JP and Gentil P (2019) Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT). *Br J Sports Med* 53: 655-64.
26. Murakami M, Adachi T, Nakatsuka K, Kato T, Oishi M and Masuda Y (2012) Gender differences in maximum voluntary lip-closing force during lip pursing in healthy young adults. *J Oral Rehabil* 39: 399-404.
27. Marina M, Torrado P and Bescós R (2021) Recovery and fatigue behavior of forearm muscles during a repetitive power grip gesture in racing motorcycle riders. *Int J Environ Res Public Health* 2021, 18, 7926. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157926>.
28. Burd NA, Mitchell CJ, Churchward-Venne TA and Phillips SM (2012) Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein

- synthetic responses after resistance exercise. *Appl Physiol Nutr Metabol* 37: 551-54.
29. Gibala MJ and McGee SL (2008) Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev* 36: 58-63.
30. 嘉戸直樹 (2013) 運動適応と神経筋機能. *関西理学* 13: 33-37.
31. Ormsbee MJ, Thyfault JP, Johnson EA, Kraus RM, Choi MD and Hickner RC (2007) Fat metabolism and acute resistance exercise in trained men. *J Appl Physiol* (1985) 102: 1767-72.
32. Allman BR, Morrissey MC, Kim JS, Panton LB, Contreras RJ, Hickner RC and Ormsbee MJ (2019) Fat metabolism and acute resistance exercise in trained women. *J Appl Physiol* (1985) 126: 739-45.
33. Mizuno R, Yamada K, Murakami M, Kaede K and Masuda Y (2014) Relationship between frontal craniofacial morphology and horizontal balance of lip-closing forces during lip pursing. *J Oral Rehabil* 41: 659-66.
34. Murakami M, Masuda Y, Kanazawa M, Mizuno R and Yamada K (2014) Relationship between balance of upper and lower lip-closing forces during pursing-like lip-closing and lateral craniofacial morphology. *Journal of Research and Practice in Dentistry* 2014: Article ID 171681.
<https://ibimapublishing.com/articles/DENT/2014/171681/>
35. Takehana Y, Masuda Y, Kageyama T, Okazaki R, Murakami M and Yamada K (2017) The relationship between lip-closing force and dental arch morphology in patient with Angle Class I malocclusion. *J Oral Rehabil* 44: 205-12.

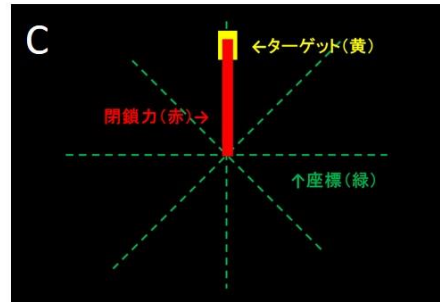
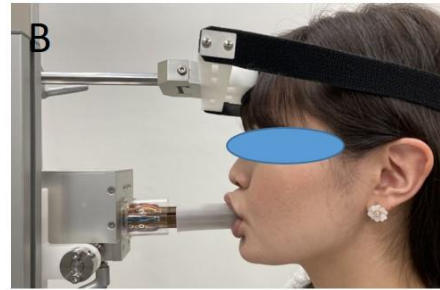
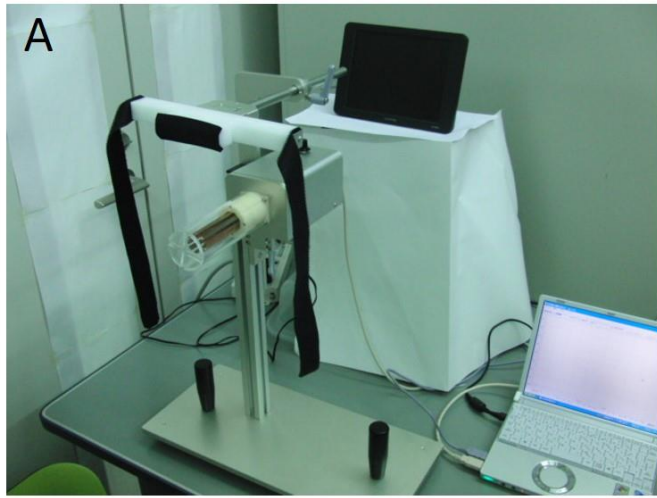


図 1 口唇トレーニング使用装置
A: 多方位口唇閉鎖力測定装置
B: トレーニング中の被験者
C: 口唇閉鎖運動中のディスプレイ

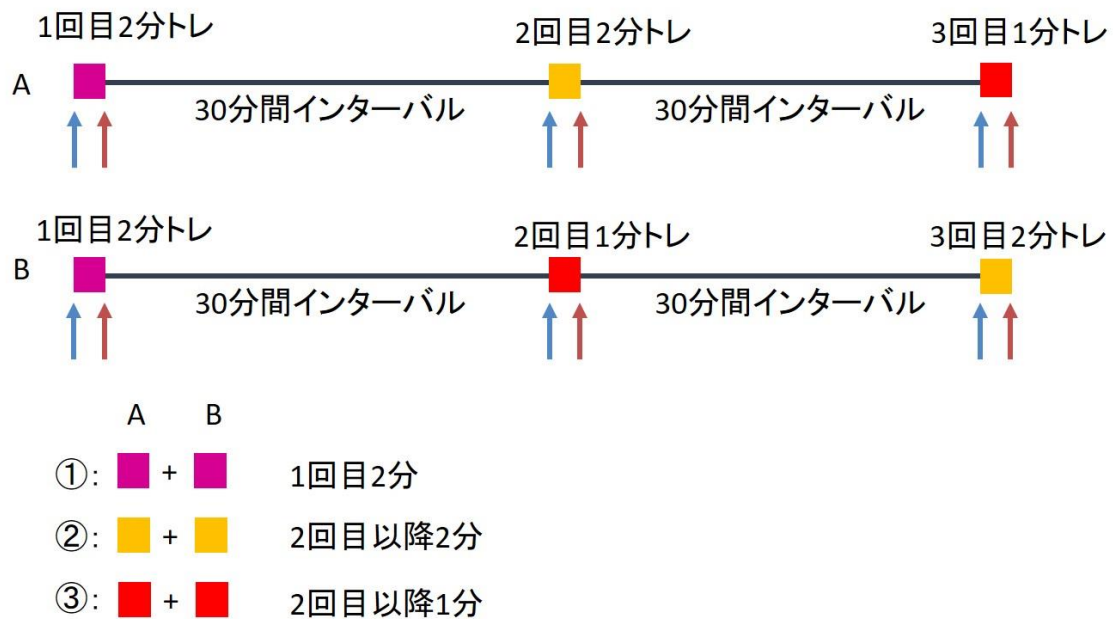


図2 筋電図周波数分析のための測定プロトコール(矢印)

A:Aグループ、B:Bグループ

①:1回目2分の記録時点

②:2回目以降2分の記録時点

③:2回目以降1分の記録時点

矢印の時点で、20秒間最大努力での口唇閉鎖運動中の筋電図記録を示す。

青矢印:各トレーニング直前の記録

赤矢印:各トレーニング直後の記録

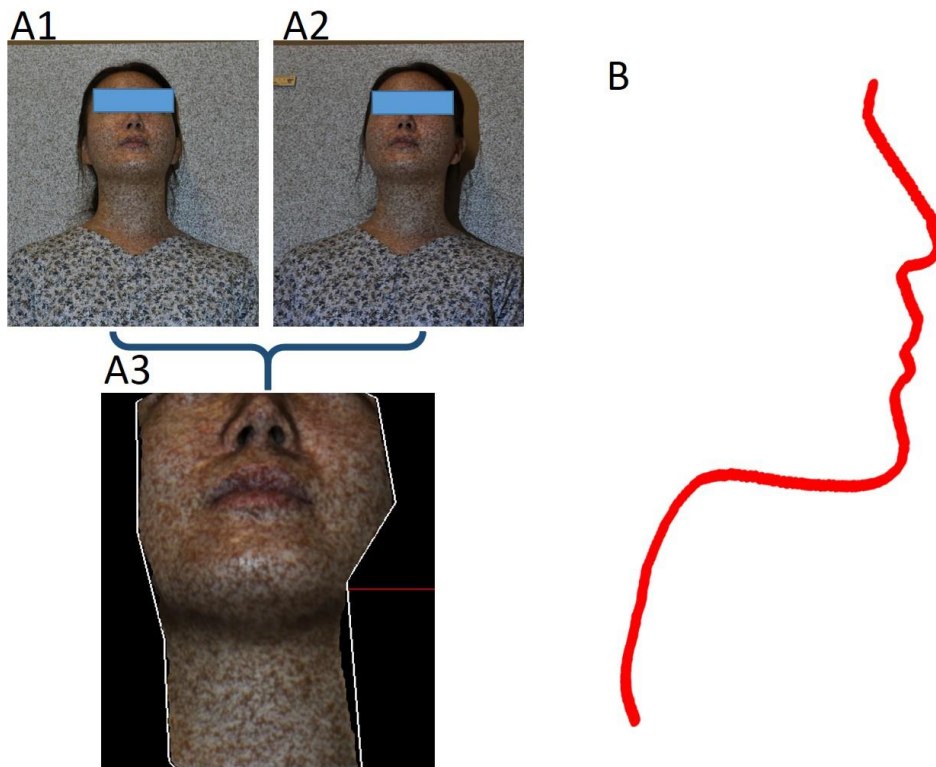


図 3 三次元画像解析

A: 撮影された写真 (A1、2) と三次元解析で得られた画像 (A3)

B: 三次元画像から導き出した正中矢状断のライン

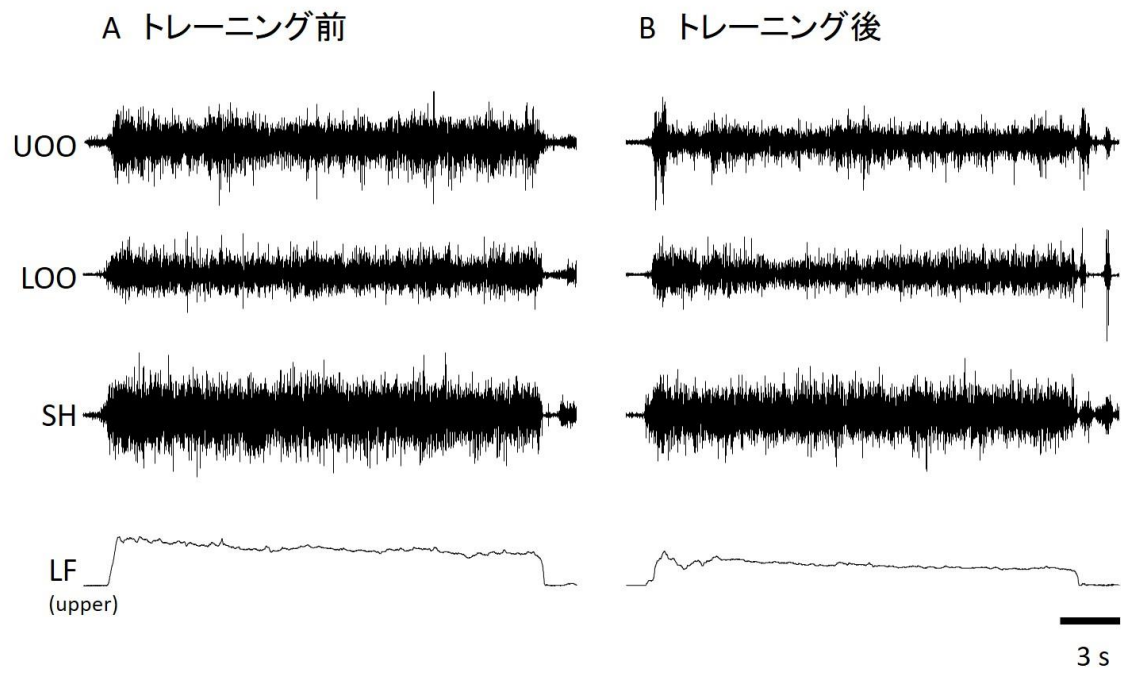


図 4 20 秒間の最大努力での口唇閉鎖時の筋電図の一例

A: トレーニング前の記録

B: トレーニング後の記録

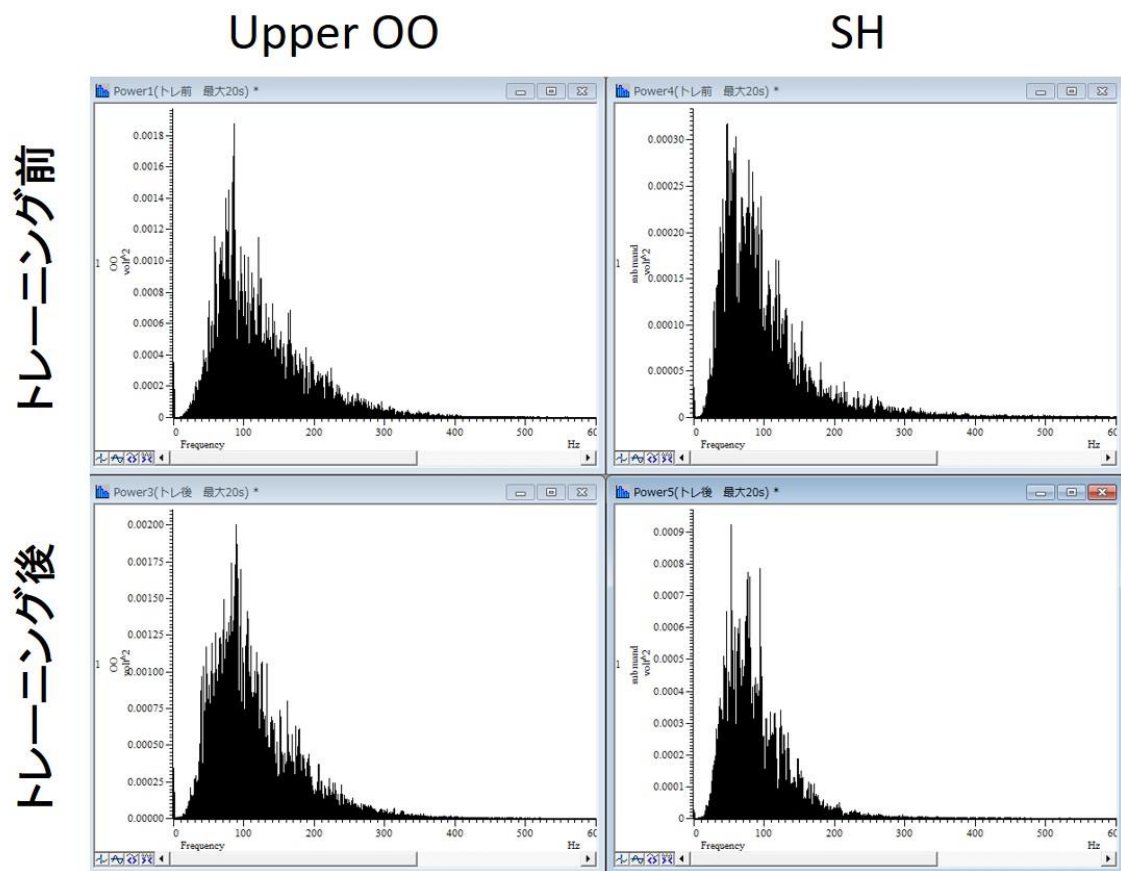


図5 トレーニング前後の周波数特性
 Upper OO:口輪筋上唇部、SH:舌骨上筋群

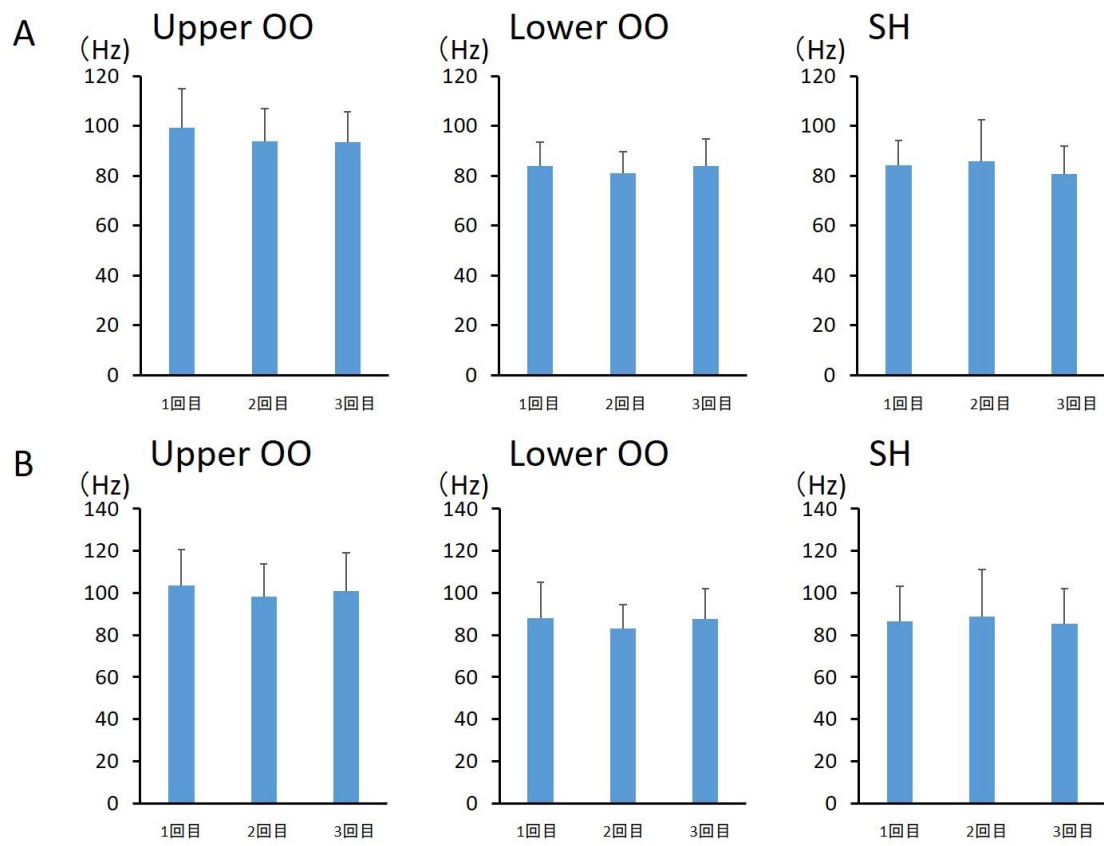


図 6 トレーニング前(30 分間のインターバル)

A: 男性、B: 女性、Upper OO: 口輪筋上唇部、Lower OO: 口輪筋下唇部、SH: 舌骨上筋群

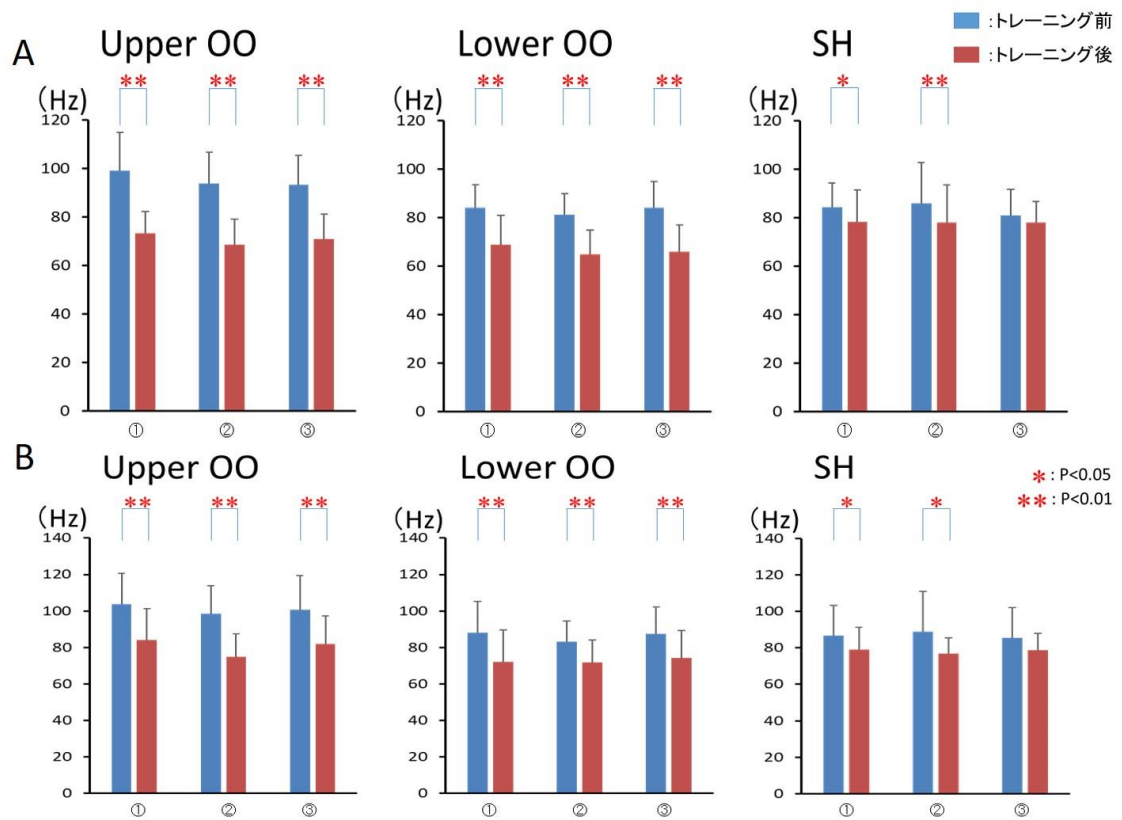


図 7 筋疲労の評価(中間周波数)

A: 男性、B: 女性、Upper OO: 口輪筋上唇部、Lower OO: 口輪筋下唇部、SH: 舌骨上筋群

①: 1 回目 2 分の結果

②: 2 回目以降 2 分の結果

③: 2 回目以降 1 分の結果

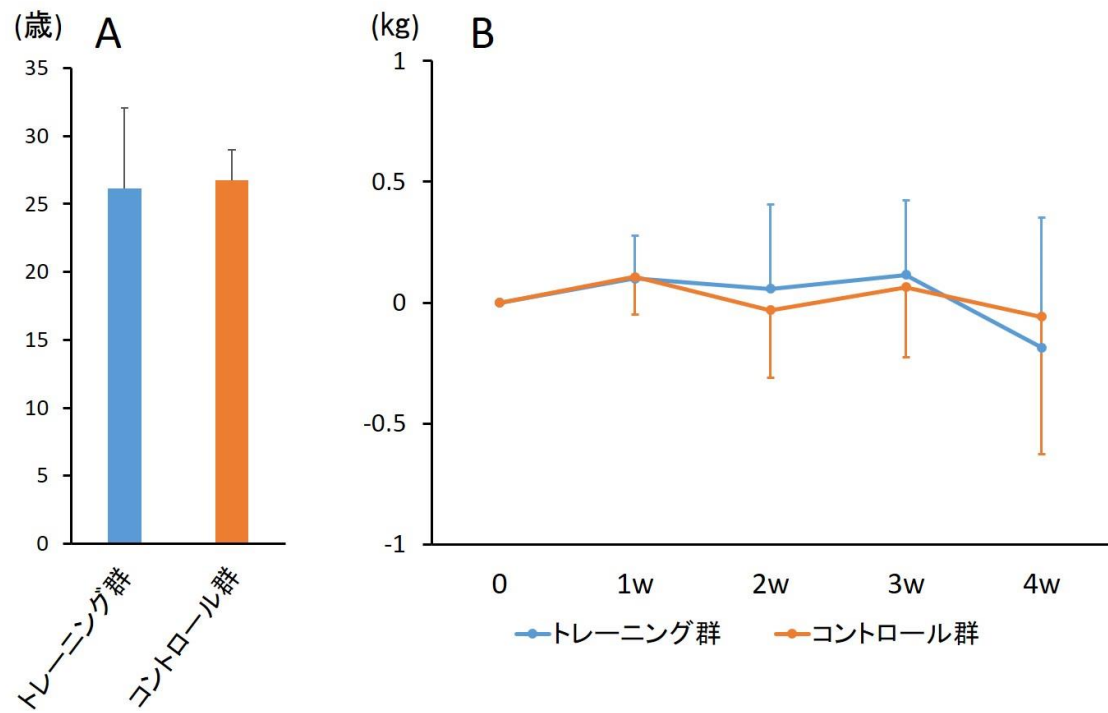


図 8 トレーニング群とコントロール群の比較

A: 年齢、B: 体重変化

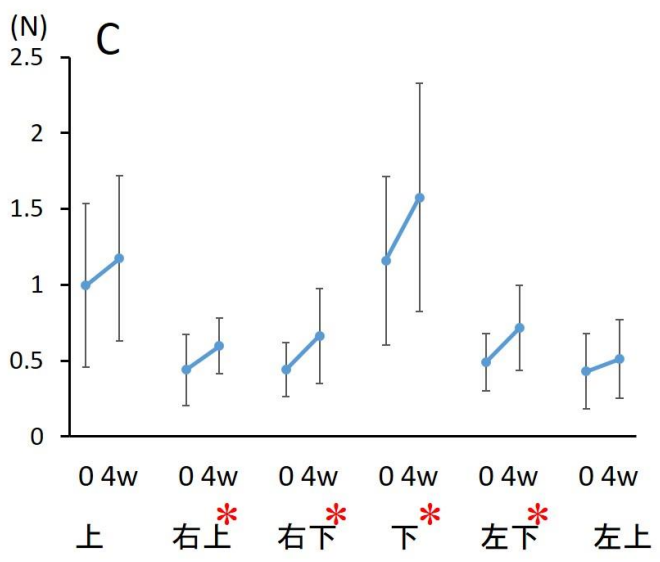
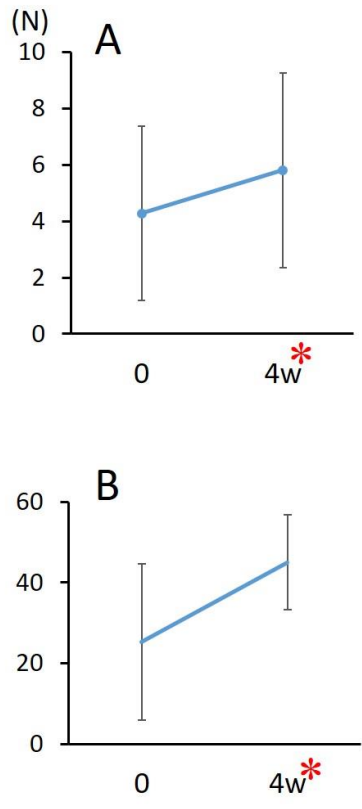


図9 トレーニング前後の比較
 A:最大口唇閉鎖力
 B:ポイント
 C:方向別最大口唇閉鎖力

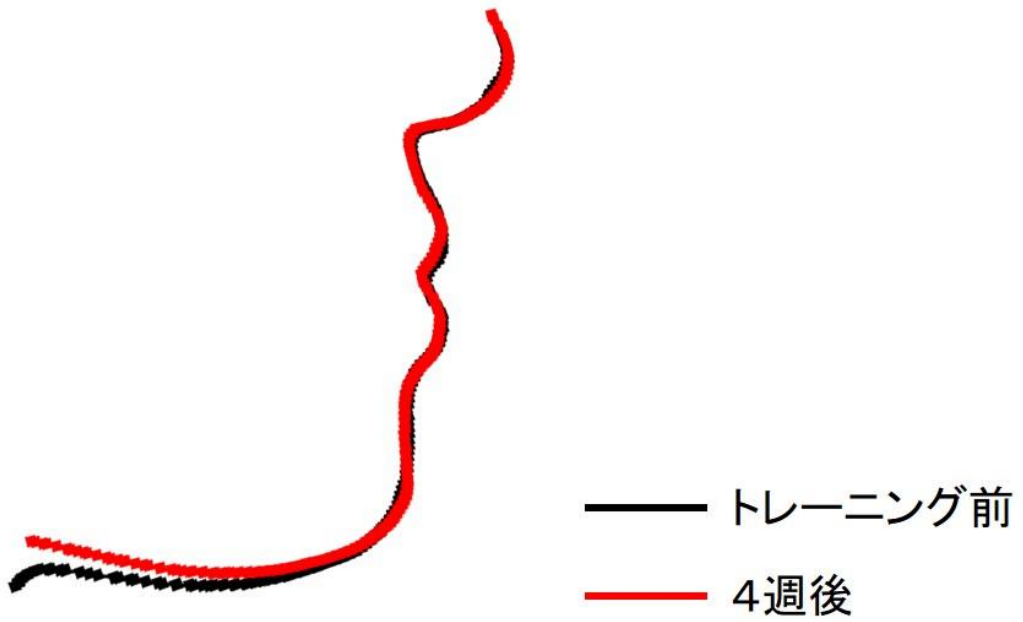


図 10 顎下部のラインの変化(一例)
トレーニング前後での正中矢状断のラインの重ね合わせ

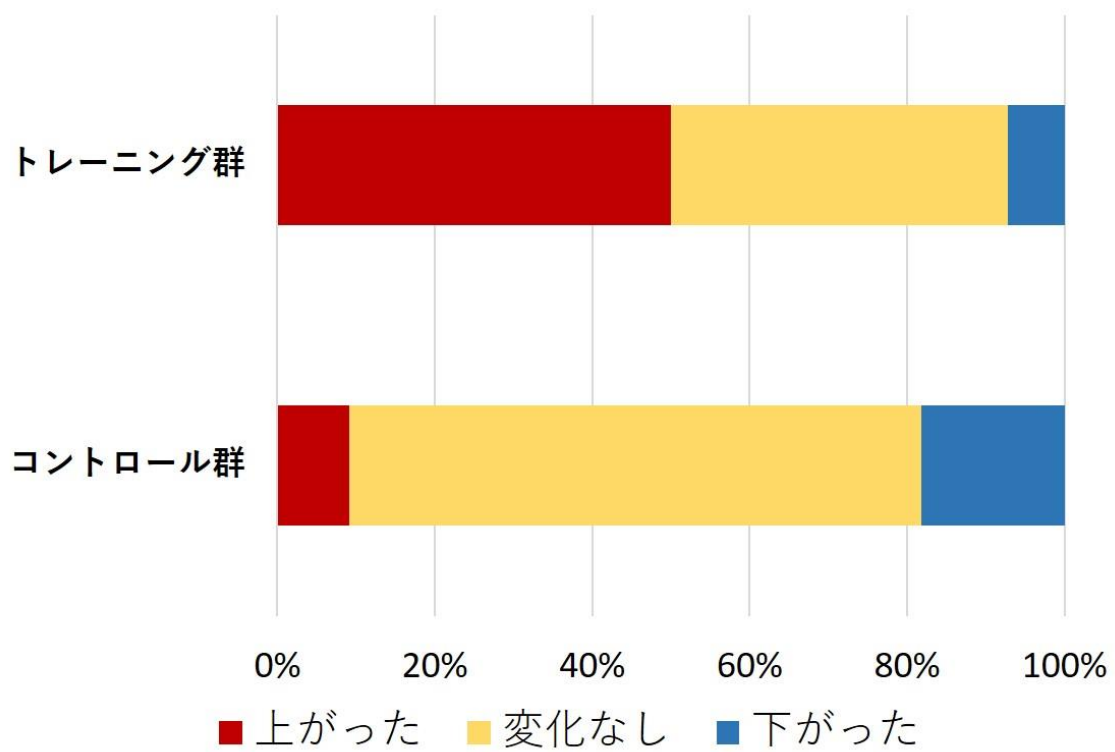


図 11 顎下部変化(上がった、変化なし、下がった)の人数の比較

口唇トレーニング前後における口腔周囲筋の筋疲労と
顎下部の形態変化

山田 紗織

大学院歯学独立研究科 顎口腔機能制御学講座
(主指導教員:増田 裕次 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士(歯学)学位申請論文

Alterations in fatigue of the perioral muscles and
submandibular morphology according to lip training

Saori Yamada

Department of Oral and Maxillofacial Biology, Graduate School of Oral Medicine
(Chief Academic Advisor : Professor Yuji Masuda)

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

【目的】

近年、フレイル(虚弱)が問題視されており、負のスパイラルから要介護状態へつながってゆく危険性がある。フレイルへ至るプロセスに口腔機能低下が深く関わるとする概念がある。口唇機能は哺乳、捕食、咀嚼、嚥下、発音、表情による感情の表出などの口腔機能を営む上で重要である。口腔機能を維持・向上させるためのトレーニングの必要性があると考えられるが、効率よく行うトレーニングがないのが現状である。口唇が発揮する力を方向別に可視化できるようにした装置を作製し、ビジュアルフィードバックを用いて口唇閉鎖運動を繰り返し行うシステムを開発した。本研究では、期待されるトレーニング効果を明らかにすることを第1の目的として、トレーニング時間が筋疲労におよぼす影響を調べた。次いで、トレーニングが顎下部形態におよぼす影響を明らかにすることを第2の目的とした。

【方法】

実験①トレーニング時間が筋疲労におよぼす影響

被験者は健常成人(男性14人、女性14人)とした。トレーニングには、多方位口唇閉鎖力測定装置とモニターを用いた。モニター上にランダムな方向に現れる的に、その方向の口唇閉鎖力を維持するように口唇に力を入れ、0.2秒維持されると到達音とともに的は消え、新たな的が表示される。この口唇トレーニングを2分間行った場合と1分間行った場合で直後の筋疲労を調べた。筋疲労を確認するために、右側の上唇部、下唇部の口輪筋および舌骨上筋群の表面筋電図を記録した。口唇トレーニング前後で、20秒間の最大口唇閉鎖運動中の活動開始から10秒間の筋電図に対して高速フーリエ変換による周波数分析を行い、中間周波数を算出した。

実験②トレーニングが顎下部形態におよぼす影響

被験者は健常成人女性14人とした。2分間の口唇トレーニングを毎週3回4週続けて行い、トレーニング前と4週後の写真を撮影した。撮影時、カンペル平面が水平となるように頭位を保ってもらい、下顎安静位で撮影を行った。撮影した写真をもとに三次元画像解析を行い、正中矢状断のラインを導出した。トレーニング前後で、このラインを重ね合わせて顎下部の形態変化を確認した。コントロールとして女性11人が普段通りの生活を4週間送った前と後を比較した。

【結果・考察】

実験①トレーニング時間が筋疲労におよぼす影響

男女を別グループとして結果の分析を行ったが、ここに挙げる結果は男女で同じ結果となった。30分間のインターバルで疲労の蓄積があるかどうかを調べたところ、トレーニング前の中間周波数に有意な相違は認められなかった。上唇部および下唇部口輪筋筋電図の中間周波数は、トレーニング時間に関わらず有意な低下が認められ、疲労していることが明らかとなった。また、舌骨上筋群の筋電図では、2分間の口唇トレーニング前後で有意な低下が認められたが、1分間の口唇トレーニング前後では有意な変化は認められなかった。

実験②トレーニングが顎下部形態におよぼす影響

トレーニング前と比較して顎下部のラインが下がった人は1名、変化なしが5名、上がった人は8名になった。コントロールでは下がった人は2名、変化なしが8名、上がった人は1名となった。有意な相違が認められた。

これらの結果をまとめると、2分間のトレーニングでは顎下部の筋に対して有効なトレーニングとなり、顎下部の形態変化を引き起こす可能性が示された。