

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

長井 健

大学院独立研究科 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

Change of lip function by lip-closing training using visual feedback

Takeshi Nagai

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)

要旨

【目的】

近年、口腔機能の低下から低栄養へつながるオーラルフレイル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。オーラルフレイルは、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が、口腔機能を効率よくトレーニングする方法が確立されていないのが現状である。

多方位口唇閉鎖力測定装置を用いて、口唇閉鎖の調節能力を見ることによって、口唇機能を評価する方法が報告されている。口唇閉鎖の随意的な調節運動は口唇のみならず、口腔全体の運動機能を賦活する可能性がある。さらに、口唇運動は口腔機能の中でもトレーニングしやすく、評価しやすい運動と考えられるので、多方位口唇閉鎖力測定装置をもとに、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を新しく開発した。

そこで、本研究では開発したゲームを繰り返し行うトレーニングが、口唇閉鎖力や口唇閉鎖調節能力に与える影響を明らかにすることを目的とした。

【方法】

本研究では、ビジュアルフィードバックを用いた的あてゲームとして多方位口唇閉鎖力測定装置とディスプレイを用いた。ディスプレイ上にランダムな方向に現れる的に対して、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、新たな的が表示される。このゲームを2分間行った。素早く的に到達すると的あて回数が増えることになる。実験1として、新しく開発したトレーニングにより口輪筋に負荷がかかっているかどうかを検証し、実験2としてこのトレーニングを一定期間行うことにより、口唇機能がどのように変化するかを調べた。

実験1では健常成人女性5名を対象とし、口輪筋の筋電図を記録するために、上唇に電極を貼付した。2分間のトレーニング前後において、20秒間の最大努力での口唇閉鎖中に筋電図を記録した。筋疲労の有無を評価するために、筋電図を周波数分析し、周波数帯域を中間周波数を用いて比較した。

実験2では、健常成人トレーニング群13名(男性7名、女性6名)と健常成人非トレーニング群5名(男性1名、女性4名)を被験者とした。トレーニング群では、新しく開発したゲーム感覚のトレーニングを一日2回、週3回を4週間行った。以下の3項目について、週ごとに評価し、トレーニングによる経時的な変化を調べた。

(1)最大口唇閉鎖力:3秒間での最大努力での口唇閉鎖力を測定した。

(2)口唇閉鎖調節能力:上、右上、右下、下、左下、左上の方向ごとに、6秒間現れる的に対して、口唇閉鎖力を調節して的内(目標値 \pm 8%)に維持できた割合を調べた。

(3)的あて回数:上記の2分間のゲームを行い、的あて回数を調べた。

混合線形モデルを用いて、トレーニング群でのトレーニングによる変化の有意性を検定した。非トレーニング群では、トレーニングを行わずに、最初と4週間後の2回の計測のみを行った。トレーニング群と非トレーニング群の比較は、最初の測定値から4週間後の測定値の差に相違があるかどうかを、t-検定を用い、6方向別の相違に関しては、Holmの方法により修正した。二群間の比較は、混合線形モデルを用いて実験前後の値の増加量を比較した。

【結果】

実験1

トレーニング中に得られた口輪筋筋電図活動のパワースペクトル分析より、口輪筋に疲労が認められた。つまり、トレーニングにより、口輪筋に負荷がかかっていることが分かった。

実験2

トレーニング群において、最大口唇閉鎖力の総合力はトレーニングにより有意な増加が認められた。方向別に検討すると、下方向、右下方向の力に有意な増加が認められた。一方、正確率においては、全方向で有意な増加が認められ、トレーニングにより、口唇閉鎖調節能力の向上が認められた。的あて回数にも、有意な増加が認められた。

最大口唇閉鎖力(総合力と下、右下)、正確率(上と左上)および的あて回数において、トレーニング群の変化と非トレーニング群との変化に有意な相違が認められた。

【結論】

本研究結果から、今回の口唇閉鎖トレーニング法は一定の口腔機能向上を促すことが示唆された。今後、このようなゲーム感覚でのトレーニングが口腔機能向上の一助となることが期待できる。

緒言

近年、口腔機能の低下から低栄養へとつながるフレイル¹⁾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。フレイルの概念の広がりとともに、高齢者における口腔機能の低下と低栄養やフレイル、要介護状態との関連性についての報告²⁾がある。フレイルとは直訳すると、「虚弱」という意味で、虚弱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^{3,4)}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。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・向上する必要性がある⁵⁾が、口腔機能を効率よくトレーニングする方法が確立されていないのが現状である。

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⁶⁻¹⁰⁾。さらに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¹¹⁾ことから、臨床的に口唇閉鎖不全の患者に対してどのようなトレーニングが適しているかを検討することは重要であると考えられる。口唇閉鎖力の測定に関しては、口唇の力を8方向から測定するために多方位口唇閉鎖力測定装置が開発された¹²⁾。この装置を用いて方向別の口唇閉鎖力を測定すると、老若男女を問わずおおむね左右対称的であることが示されている¹³⁻¹⁵⁾。また多方位口唇閉鎖力を用いて測定した研究では、口唇閉鎖力はパタカラを用いたトレーニングによって方向特異的に増強することが明らかとなっている¹⁶⁾。このように、これまでのトレーニング効果には筋力の増強という観点からの評価のものがほとんどである。

口唇閉鎖機能の客観的評価指標として、多方位口唇閉鎖力測定装置を用いて、ビジュアルフィードバックによる口唇閉鎖の調節能力を見ることによって、口唇機能を評価する方法が報告されている¹⁷⁾。口腔機能を維持・向上させるためのトレーニングの有用性の検証には、このような口唇閉鎖調節能力の向上が重要であると考えられるが、このような口唇閉鎖調節能力がトレーニングによってどのような影響を受けるかについては未だ明らかにされていない。

口唇閉鎖の随意的な調節運動は口唇のみならず、口腔全体の運動機能を賦活する可能性がある。さらに、口唇運動は口腔機能の中でもトレーニングしやすく、評価しやすい運動と考えられる。そこで、多方位口唇閉鎖力測定装置をもとに、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ゲームを開発した。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。

そこで、本研究では開発したゲームを繰り返し行うトレーニングが、口唇閉鎖力や口唇閉鎖調節能力に与える影響を明らかにすることを目的とした。

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。許可番号 第 0241 号

本研究では、実験1として、新しく開発したトレーニングにより口輪筋に負荷がかかっているかどうかを検証し、実験2としてこのトレーニングを一定期間行うことにより、口唇機能がどのように変化するかを調べた。

1. 新しく開発したトレーニングシステム

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当てゲームを使用した。的当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1)。被験者は背すじをのばして、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)。被験者の約 25cm前方にディスプレイを設置した(図1C)。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(図2A)。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2B)。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、すぐに新たな的が表示される。ディスプレイ上に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、素早く的に到達すると的当て回数が増えることになる。

2. 実験1 トレーニングによって口輪筋に負荷がかかっているかの検証

1) 被験者

成人女性5名(19~25 歳、平均年齢 22.2 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、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0mm以下あるいは5mm以上の者は除外した。

2) 口輪筋の筋電図を記録

口輪筋の筋電図を記録するために、上唇正中から左右にそれぞれ1cm のところに脳波用皿電極(NE-103A、日本光電工業株)を貼付した(電極間距離2cm)。

2分間の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、リアルタイムで AD 変換(サンプリングクロック:2000Hz)を行いパソコンの波形分析ソフトの spike2(CED 社製)に送られた。

3) 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、周波数帯域を中間周波数を用いて比較した。20 秒間の最大努力での口唇閉鎖中のうち、15 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。トレーニング前後における中間周波数の相違は paired t-test を用いて、有意水準5%で検定した。

3. 実験2 口唇機能の変化を明らかにするための検証実験

実験2では、的あてゲームによるトレーニングが①最大口唇閉鎖力(総合力、方向別)と②口唇閉鎖調節能力(正確率)の2つの測定項目に与える影響を調べた。

1) 被験者

全身疾患がない健常若年成人トレーニング群 13 名(男性7名、女性6名)(19~25 歳、平均年齢 21.6 歳)と非トレーニング群5名(男性1名、女性4名)(24~29 歳、平均年齢 26.8 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、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0mm以下あるいは5mm以上の者は除外した。

2) 口唇閉鎖トレーニングの設定

トレーニング群では、的あてゲームによるトレーニング(前述)を1日に2回(2分間のインターバル)、週に3日行ってもらった。週に1度の測定日を設け、最大口唇閉鎖力、口唇閉鎖調節能力の変化を測定した。非トレーニング群では、トレーニングを行わずに最初と4週間後に最大口唇閉鎖力、口唇閉鎖調節能力を測定した。

3) 測定項目の設定

以下の3項目について、トレーニング群において評価し、経時的な変化を調べた。

- (1) 最大口唇閉鎖力: 最大努力での口唇閉鎖力を測定した。
- (2) 口唇閉鎖調節能力: 上、右上、右下、下、左下、左上の方向ごとに、6秒間現れる的に対して、口唇閉鎖力を調節して的内(目標値±8%)に維持できた割合を調べた。

(3) 的あて回数: 上記の2分間のゲームを行い、的あて回数を調べた。

(1) 最大口唇閉鎖力の測定

今回は以前の研究から、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。各試行では被験者は口唇トレーニングを行う時と同様の姿勢で上唇と下唇でプローブを挟み、最大努力で5~6秒間すぼめることによる多方位口唇閉鎖力を測定した。この測定を3回繰り返した。このような手順で各被験者の最大口唇閉鎖力を記録した。

被験者が口唇閉鎖を開始すると、波形が急な立ち上がりののち最大値付近でフラットになる傾向がある。今回は、口唇閉鎖力が発揮されてからの5秒間のうち、フラットになってからの3秒間を分析対象とした。3秒間の力積の平均値を1秒あたりの最大口唇閉鎖力とし、3回測定した値の平均値をその記録日の最大口唇閉鎖力とした(図3)。

(2) 口唇閉鎖調節能力の測定

口唇閉鎖調節能力の測定には、的あてゲームと同じディスプレイを用いた。的の点灯を合図に、被験者には的の中央に、赤色のバーの先端が維持されるように力を発揮してもらった。的は6秒後に座標とともに消滅し、この消滅を合図に力の発揮を止めてもらった。

口唇閉鎖調節能力を評価するために正確率¹²⁾を用いた。的が点灯中の6秒間のうち、目標値±8%内に維持できた時間の割合を正確率とした(図4)。

(3) 的あて回数の記録

的あて回数測定はトレーニング時に的を当てた回数を用いた。

4) 統計分析

混合線形モデルを用いて、トレーニング群でのトレーニングによる変化の有意性を検定した。また、トレーニング群と非トレーニング群の比較は、最初の測定値から4週間後の測定値の差に相違があるかどうかを、t-検定を用い、6方向別の相違に関しては、Holmの方法により修正した。これらの検定では有意水準5%とした。

結果

1. 実験 1

図5に2分間の口唇閉鎖トレーニング中に得られた口輪筋の筋電図活動を示す。口唇閉鎖時には口輪筋の筋活動が認められた。

図6A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。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。図6Bに5人の中間周波数の結果を平均値±標準偏差で示す。5人全員で低くなり、有意な低下が認められた($p=0.033$)。この結果から、本実験で用いた2分間の口唇トレーニングは、口輪筋の筋疲労を引き起こすことが明らかとなった。つまり、本トレーニングで口輪筋に負荷がかかっていることがわかった。

2. 実験2

1) トレーニング群におけるトレーニングの効果

図7に口唇閉鎖力の総合力(6方向の力の和)の各被験者の変化と、混合線形モデルで得られた直線を示す。時間経過とともに有意な変化が認められた($p<0.001$)。方向別口唇閉鎖力の各被験者の変化と、混合線形モデルで得られた直線を図8に示す。下方向と右下方向の力に時間経過とともに有意な変化が認められた(下: $p<0.001$ 、右下: $p=0.037$)が、その他の方向では有意な変化は認められなかった。

方向別の正確率の各被験者の変化と、混合線形モデルで得られた直線を図9に示す。すべての方向の正確率に時間経過とともに有意な変化が認められた(上: $p<0.001$ 、左上: $p<0.001$ 、左下: $p=0.003$ 、下: $p=0.002$ 、右下: $p=0.037$ 、右上: $p<0.001$)。このことから、方向別で考えると、トレーニングによる影響は口唇閉鎖力よりも正確率に対して大きいものであったと考えられる。

的あてゲームの得点の各被験者の変化と、混合線形モデルで得られた直線を図10に示す。時間経過とともに有意な変化が認められた($p<0.001$)。つまり、口唇閉鎖調節がすばやく上手になったと考えられる。

2) トレーニング群と非トレーニング群の比較

図11Aに口唇閉鎖力の総合力、図11Bに方向別口唇閉鎖力、図12に方向別の正確率および図13に的あてゲームの得点の、最初の測定値と4週間後の測定値の差を、トレーニング群、非トレーニング群の結果を示す。

口唇閉鎖力の総合力はトレーニング群の差の方が非トレーニング群の差よりも有意に大きかった($p=0.017$)。方向別口唇閉鎖力においては、右下でトレーニング群の方が有意に大きな差を示し($p=0.023$)、方向別の正確率においては、上、左上においてトレーニング群の方が有意に大きな差を示した(上: $p=0.040$ 、左上: $p=0.037$)。的あてゲームの得点はトレーニング群の差の方が非トレーニング群の差よりも有意に大きかった($p=0.044$)。

考察

本研究で開発されたゲームを繰り返し行う口唇トレーニングが、口唇閉鎖力や口唇閉鎖調節能力に影響を与えることが明らかとなり、このトレーニングが口唇機能を向上させることが示唆された。

1. トレーニングによる口輪筋への負荷

今回の実験で用いたトレーニングが、口輪筋に負荷がかかっているかを客観的に明らかにするために周波数分析を行った。最大努力での口すぼめ時の口輪筋筋電図を記録した研究から、口すぼめ時の口唇閉鎖力と口輪筋活動には高い相関が認められている¹²⁾ので、本実験では上唇部の口輪筋筋電図の周波数分析を行った。筋が疲労することにより、筋電図振幅の上昇とパワースペクトルの左方への移動が認められる^{18, 19)}。本研究で、2分間のトレーニング前後でパワースペクトルの左方への移動が認められた。事実、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。

2分間のトレーニングで行う口すぼめ運動の繰り返しは口輪筋に一定の負荷をかける運動であることが示された。

2. トレーニングの効果

1) 最大口唇閉鎖力(総合力、方向別)

筋力トレーニングを効果的に実現するには、最大収縮時の60%以上の筋力を発揮する収縮が必要と言われている²⁰⁾が、今回のトレーニングはゲーム性を持たせることを目的としたので、1回の収縮は50%とし、2分間繰り返して行う設定とした。大矢らは、顎口腔機能に異常が認められず口唇閉鎖不全のない成人男女の被験者において、牽引用プレートを用いた口輪筋トレーニングを行い、筋力強化を目的とするなら高負荷、低頻度のトレーニングが、持久力トレーニングを目的とするなら低負荷、高頻度のトレーニングがそれぞれ有効であると報告している¹¹⁾。ヒトの口輪筋の筋線維タイプを調べた研究では、71%がⅡ型線維であることが示されており²¹⁾、筋力増強に寄与するタイプの筋線維が多いと言える。本研究で用いたトレーニングは、パタカラを用いた高負荷、低頻度のトレーニング¹⁶⁾と同様、口唇閉鎖力が増強する結果が得られたので、本研究のトレーニングの設定でも筋力増強を期待できることが示された。

方向別最大口唇閉鎖力では非トレーニング群と比較すると右下方向に有意な増加が認められ、下唇の力に増強効果が大きい傾向があった。過去の方角別最大口唇閉鎖力に対するトレーニング効果を調べた研究¹⁶⁾でも、下唇の閉鎖力が有意に増大したことが示されている。上唇と比較して下唇での最大口唇閉鎖力に増強効果が大きく表れた原因については、咬筋など咀嚼筋(三叉神経)の影響も疑わしいが、今回の研究では上下の歯を接触させずに口すぼめ運動を行っており、咀嚼筋(三叉神経)の影響はほとんどないと思われる。筋の機能として、下唇は開口量に変化した閉鎖を行うので、下唇の方が閉鎖力増強というトレーニング効果が高かったと考えられる。全部床義歯を用いた口腔リハビリテーションの研究では、発音時とストローで吸う時の口輪筋筋電図活動を観察し、上方よりも下方の筋線維束でより大きな値を示し

ている²²⁾ことから口唇の閉鎖には下唇がより大きな貢献をしていると考えられる。また下方筋線維束と相互作用を示すオトガイ筋の補助効果も示唆されている。

2) 口唇閉鎖調節能力(正確率)

口唇閉鎖調節能力は実験群において全方向で有意な増加が認められた。本研究での正確率は、6秒間の点的点灯時に、的内に力を調節できた時間の割合で表している。いかに口唇閉鎖力の調節を正確に行えるかの指標となる。このようなビジュアルフィードバックを用いた調節能力は男女間¹⁷⁾あるいは世代間²³⁾で相違があることが報告されている。本研究では、このような調節能力が同様な口すぼめ運動を繰り返し行うトレーニングにより向上するかどうかを調べた。

ビジュアルフィードバックを用いて、舌運動を調節する機構について、サルを用いて行われており、大脳皮質一次運動野²⁴⁾および体性感覚野²⁵⁾に存在する神経細胞の関与が示唆されている。ヒトを用いた同様の研究では、一日60分間、1週間、舌運動を調節する訓練を続けると、舌運動の調節の正確さが高まることが示されている²⁶⁾。また、この訓練期間の前後で経頭蓋磁気刺激法(TMS法)を用いて、一次運動野の活動性を調べた。TMSにより誘発される舌筋の活動(運動皮質誘発性電位)の振幅が訓練後大きくなった。さらに、舌筋に運動皮質誘発性電位を引き起こす大脳皮質の領域が広がったことが明らかにされた。このようにビジュアルフィードバックを用いた随意性の運動調節に大脳皮質が関与しており、大脳皮質の可塑的な変化が運動調節能力の向上に関与することが示唆されている。このような研究結果から、本研究での口唇閉鎖調節能力の向上も大脳皮質の可塑的な変化に関与している可能性が考えられる。もちろん筋力の増強が正確率の向上につながった可能性も考えられるが、本研究での的の値は1週間ごとの最大口唇閉鎖力から50%に設定し直しているので、筋力増強のみではなく、脳の可塑的な変化による可能性が高いと考えられる。

また、コントロール群との比較では上、左上方向で有意な相違が認められ、正確率は上唇の調節能力の方がトレーニングの影響を受けやすい傾向にあった。つまり、正確率の向上にも方向特異性が存在することが明らかとなった。管楽器演奏者での口輪筋活動の研究において、初心者で上方線維束の活動が、下方線維束に比べて強かったが、上級者ではこのような上方線維束の高い活動が認められなくなったことが報告されている²⁷⁾。このように、楽器演奏という技術が向上する際に、上下口唇に見られる変化が異なることが示唆されている。口唇運動の調節能力向上に方向特異性が認められた本研究結果は、このような相違を支持するものである。上唇での正確率の向上は、上唇と下唇の付着と構造の違いによるものと考えられる。まず、上唇は口すぼめの繰り返し運動中に不動の上顎に付いているので、可動の下顎についている下唇よりも、口唇閉鎖力発揮時に力の制御が容易であると考えられる。さらに、口輪筋の起始は上顎起始、下顎起始、鼻起始の3か所と、周囲の皮筋補助線維束より起こる。上顎起始は上顎切歯部唇側にある上顎骨歯槽隆起から起こり、下顎起始は下顎切歯部唇側にある下顎骨歯槽隆起から起こり、鼻起始は鼻中隔の筋線維束から起こる²⁸⁾。つまり、上方の筋線

維束を支える支点が下方筋線維束を支える支点よりも多いことが、上唇の方がより力を制御しやすい理由であるとも考えられる。

3) 的当ての得点

トレーニング開始から回を重ねるごとに得点が伸びた。これは口唇閉鎖調節能力の向上とともに、繰り返し運動の俊敏さと巧緻性の向上が認められたためと考えられる。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²⁹⁾。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。

3. 今後の展望

本研究結果から、今回行ったトレーニングは最大口唇閉鎖力、および口唇閉鎖調節能力を向上することに一定の効果があることが示唆された。今回は被験者を若年健常者とし、的を最大口唇閉鎖力の50%値と設定し、0.2秒間維持することでの的あてとし、2分間を2回という形式でのみトレーニングを行った。口唇閉鎖調節能力の測定に個人差が出やすい値が50%であったので、その値を適用した。また的の範囲を的の値の±8%としたのは、難易度として適当とされたものを使った。2分間のゲームとしたのは適度な疲労が起こることを予想したもので、本研究の筋電図の周波数分析からも口輪筋に負荷がかかっていることが示された。しかし、これらのパラメータは絶対的ではなく、今後も、より多くの年齢層での研究を通して、目指すべき機能向上により効率的なパラメータを検討していく必要がある。

本研究で示された最大口唇力、口唇閉鎖調節能力の向上は摂食・嚥下リハビリテーションや、脳疾患患者の口腔リハビリテーションなどに有用であると考えられる。さらには、リハビリテーションのみならず、口腔機能の活性化ともなり、フレイル予防法へとつながる可能性がある。また表情筋のマッサージ効果として、顔貌のしわ取りトレーニングや唾液量増加など二次的な恩恵も導くことができる可能性もある。今後、このような可能性をより詳細に検証して行くことで、本研究はADLの向上、QOLの向上へと広がることも大いに期待できると考える。

結論

本研究の結果より、的当てゲームの技術の向上が認められた。トレーニングを行うことで口唇閉鎖力(総合力)が有意に強くなった。特に下、右下方向で有意な増加が認められた。口唇閉鎖調節能力は6方向中全方向で有意に向上した。ただし、コントロール群と比較すると上、左上で有意な相違が認められた。本研究で明らかにしたこのトレーニングの特徴を利用して、さまざまな人々の健康維持・向上に寄与できると考える。

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、ならびに統計解析に関してご指導ご助言をいただいた本学薬理学講座荒敏昭講師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」. *Geriatric Medicine* 53: 1177-82.
- 2) 三浦 宏子, 大澤 絵里, 野村 真利香, 玉置 洋(2016) オーラルフレイルと今後の高齢者歯科保健施策. *保健医療科学* 65: 394-400.
- 3) MacEntee MI, Donnelly LR (2016) Oral health and the frailty syndrome *Periodontol 2000* 72: 135-41.
- 4) Iwasaki M, Kimura Y, Ogawa H, Wada T, Sakamoto R, Ishimoto I, Fulisawa M, Okumiya K, Ansai T, and Miyazaki H (2017) The association between dentition status and sarcopenia in Japanese adults aged ≥ 75 years. *J Oral Rehabil* 44: 51-8.
- 5) 国立長寿医療研究センター(2014) 食(栄養)および口腔機能に着目した加齢症候群の概念の確立と介護予防(虚弱化予防)から要介護状態に至る口腔ケアの包括的対策の構築に関する調査研究事業. 平成 25 年度老人保健健康増進等事業実施報告書、厚生労働省.
- 6) 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.
- 7) Moyers RE(1958) *Handbook of Orthodontics*. 97-122, Year Book Medical Publishers, Chicago.
- 8) Barrett RH and Hanson ML(1978) *Oral Myofunctional Disorders*. 86-101, Mosby Company, St. Louis.
- 9) 山口 秀晴, 大野 肅英, 吉田 康子, Zickefoose WE, 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.
- 10) 山田 晋司, 小笠原 正, 岡田 芳幸, 伊沢 正行, 磯野 員達, 増田 裕次, 靄島 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.

- 14) 大石めぐみ, 足立忠文, 安富和子, 中塚久美子, 山田一尋, 増田裕次 (2010) 永久前歯被蓋完成初期における多方位口唇閉鎖力(I) その特性と体格・体力との関連. 顎機能誌 17: 11-21.
- 15) 山口正人, 足立忠文, 大石めぐみ, 中塚久美子, 横井磯子, 吉成伸夫, 黒岩昭弘, 増田裕次 (2011) 健常高齢者における多方位口唇閉鎖力 その特定と体格・握力・残存歯との関連. 顎機能誌 17:125-34.
- 16) 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.
- 17) 宮本 剛至(2016) ビジュアルフィードバックを用いた口唇閉鎖力随意的調節の特性. 松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士学位論文.
- 18) 馬場裕子, 木竜徹, 山崎健(2007) 表面筋電図を用いた短期筋力トレーニング時における個人対応プログラムに向けた運動機能評価. 生体医工学 45: 48-54
- 19) Gabriel DA, Kamen G, and Frost G (2006) Neural adaptations to resistive exercise mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med.* 36: 133-49.
- 20) Peterson MD, Rhea MR, and Alvar BA(2005) Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *J Strength Cond Res.* 19: 950-58.
- 21) Stål P, Eriksson PO, Eriksson A, and Thornell LE (1990) Enzyme-histochemical and morphological characteristics of muscle fibre types in the human buccinator and orbicularis oris. *Arch Oral Biol* 35: 449-58.
- 22) de Caxias FP, Dos Santos DM, Goiato MC, Bitencourt SB, da Silva EVF, Laurindo-Junior MCB, and Turcio KHL (2017) Effects of mouth rehabilitation with removable complete dentures on stimulus perception and the electromyographic activity of the orbicularis oris muscle. *J Prosthet Dent* (in press, Epub ahead of print).
- 23) 土屋恵子(2017) 高齢者における随意的口唇閉鎖調節能力の特性. 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
- 24) Murray GM, and Sessle BJ (1992) Functional properties of single neurons in the face primary motor cortex of the primate. II. Relations with trained orofacial motor behavior. *J Neurophysiol* 67: 759-74.
- 25) Lin LD, Murray GM, and Sessle BJ (1994) Functional properties of single neurons in the primate face primary somatosensory cortex. I. Relations with trained orofacial motor behaviors. *J Neurophysiol* 71: 2377-90

- 26) Svensson P, Romaniello A, Arendt-Nielsen L, and Sessle BJ (2003) Plasticity in corticomotor control of the human tongue musculature induced by tongue-task training. *Exp Brain Res.* 152: 42–51.
- 27) White ER, and Basmajian JV (1973) Electromyography of lip muscles and their role in trumpet playing. *J Applied Physiol* 35: 892-97.
- 28) 坂井 建雄 (2014) プロメテウス解剖学アトラス 頭頸部／神経解剖 (第 2 版), 医学書院, 東京.
- 29) 嘉戸直樹(2013) 運動適応と神経筋機能. *関西理学* 13: 33-37.

図の説明

図1 新しく開発したトレーニングシステム

A: 多方位口唇閉鎖力測定装置

B: 被験者のポジショニング カンペル平面が床と平行になるように設定した。

C: 被験者前のディスプレイ

図2 ビジュアルフィードバックのためのディスプレイ

A: 6方向のうち1方向に黄色い四角で的が映し出される。

B: 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される。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るように指示した。

図3 最大口唇閉鎖力の測定方法

図4 口唇閉鎖調節能力の測定方法

図5 トレーニング中の口輪筋筋電図活動

両矢印でトレーニング中を示す。

図6 トレーニング前後の最大口唇閉鎖時のパワースペクトル(A)と中間周波数(B)

A: 上段がトレーニング前、下段がトレーニング後の結果 * : $p < 0.05$ 、paired t-test

B: トレーニング前後の中間周波数を平均±標準偏差で示す。

図7 最大口唇閉鎖力(総合力)の変化

細い折れ線: 各被験者の変化

赤直線: 混合線形モデルで有意な変化と認められた直線

図8 方向別最大口唇閉鎖力の変化

細い折れ線: 各被験者の変化

赤直線: 混合線形モデルで有意な変化と認められた直線

青直線: 混合線形モデルで有意な変化で認められなかった直線

図9 方向別口唇閉鎖調節能力(正確率)の変化

細い折れ線: 各被験者の変化

赤直線: 混合線形モデルで有意な変化と認められた直線

図 10 的あて回数の変化

細い折れ線:各被験者の変化

赤直線:混合線形モデルで有意な変化と認められた直線

図 11 口唇閉鎖力のトレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化
平均値±標準偏差で示す。

A: 総合力の変化

B: 方向別口唇閉鎖力の変化

A での*: $p < 0.05$, t-test、B での*: $p < 0.05$, t-test (Holm の方法により修正)

図 12 方向別正確率のトレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化
平均値±標準偏差で示す。

*: $p < 0.05$, t-test (Holm の方法により修正)

図 13 的あて回数のトレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化
平均値±標準偏差で示す。

*: $p < 0.05$, t-test

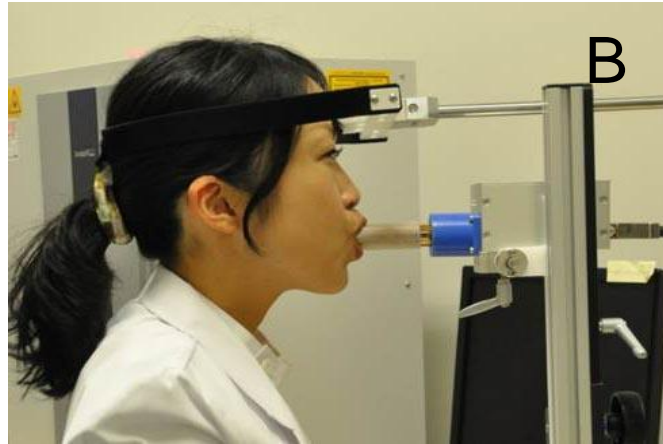
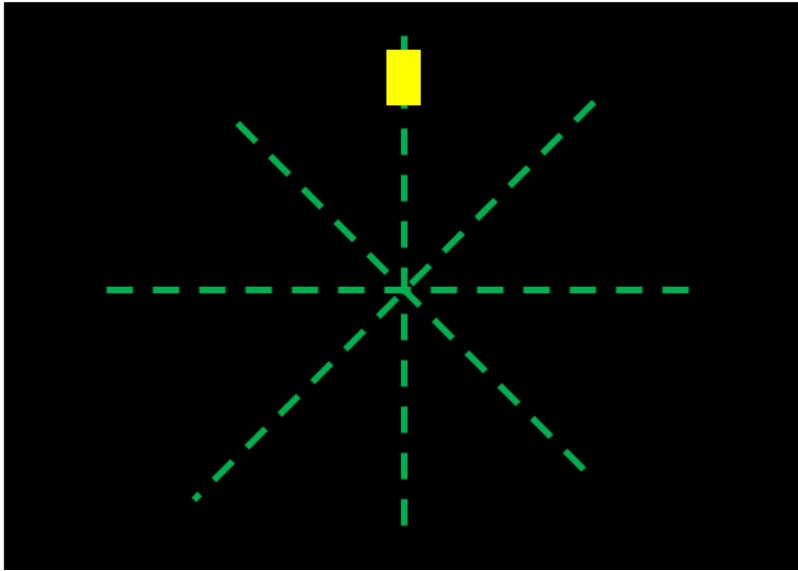


図1 新しく開発したトレーニングシステム

A



B

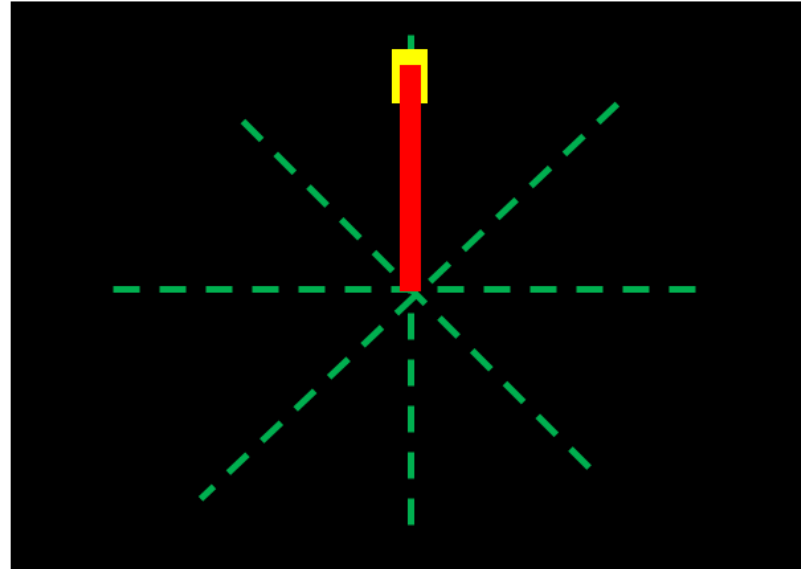


図2 ビジュアルフィードバックのためのディスプレイ

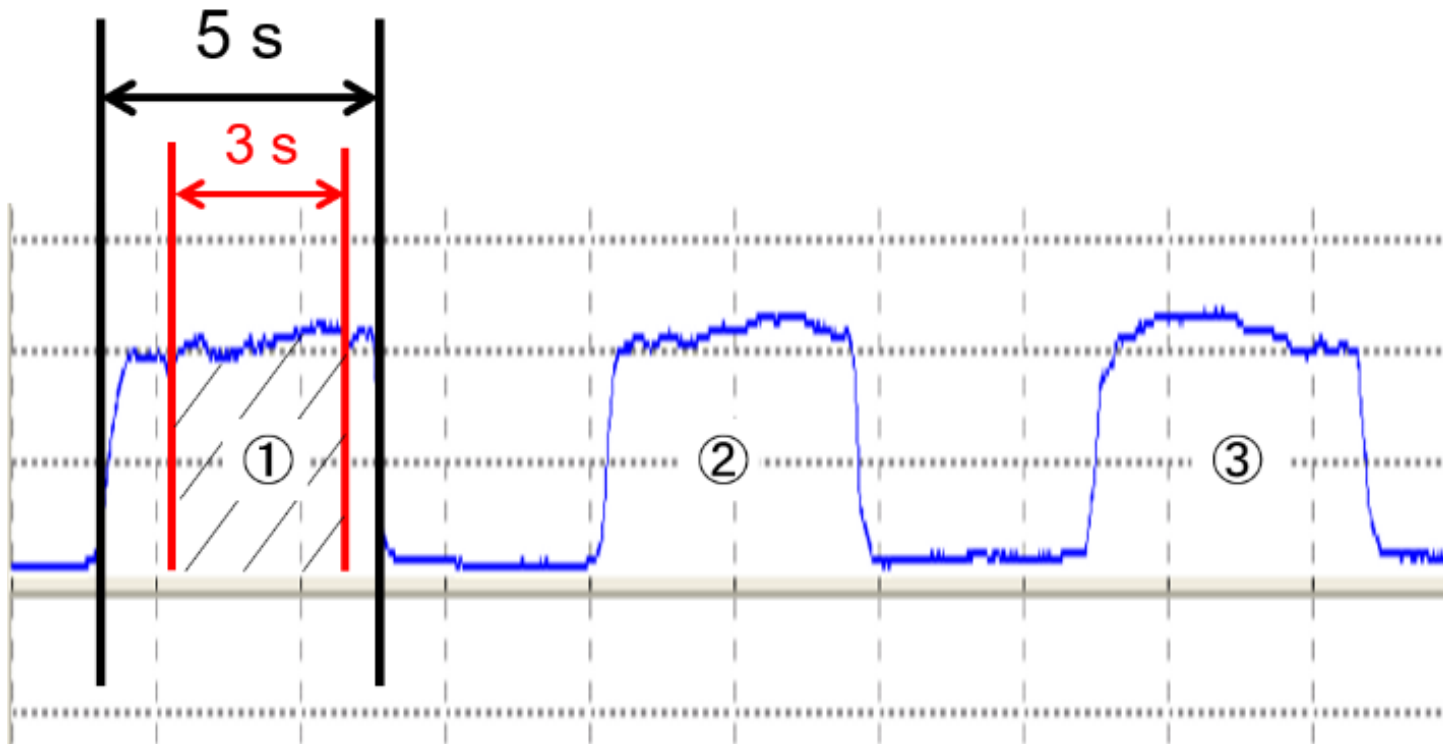


図3 最大口唇閉鎖力の測定方法

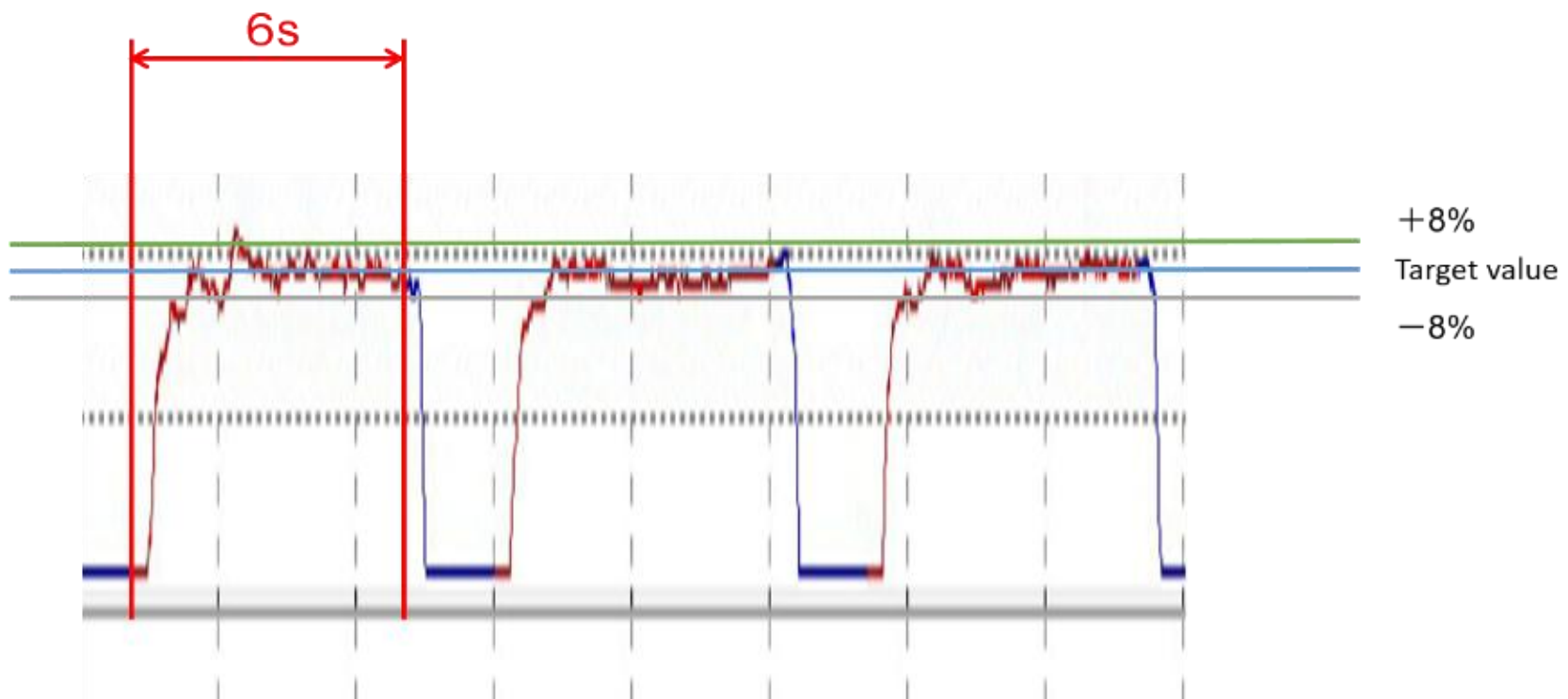


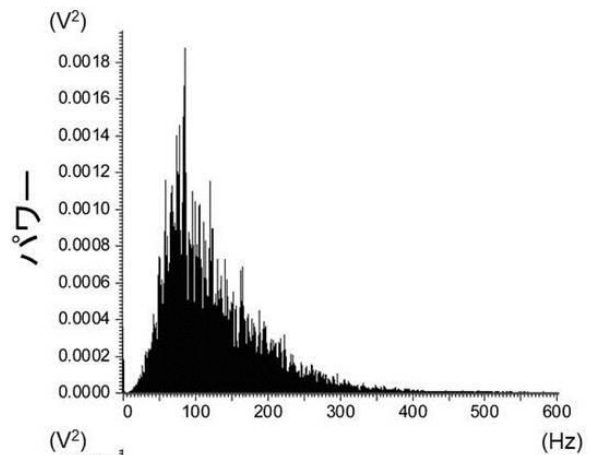
図4 口唇閉鎖調節能力の測定方法



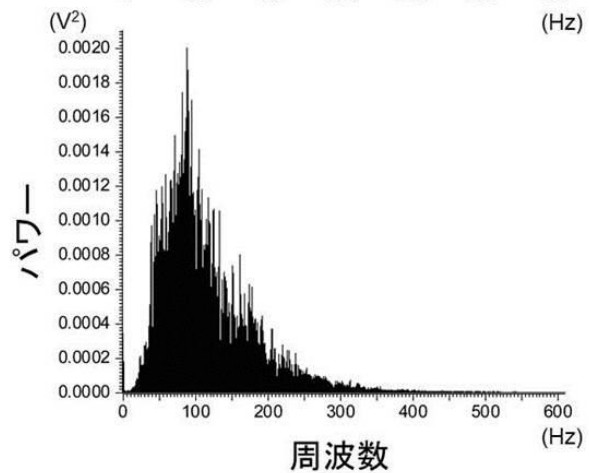
図5 トレーニング中の口輪筋筋電図活動

A

前



後



B

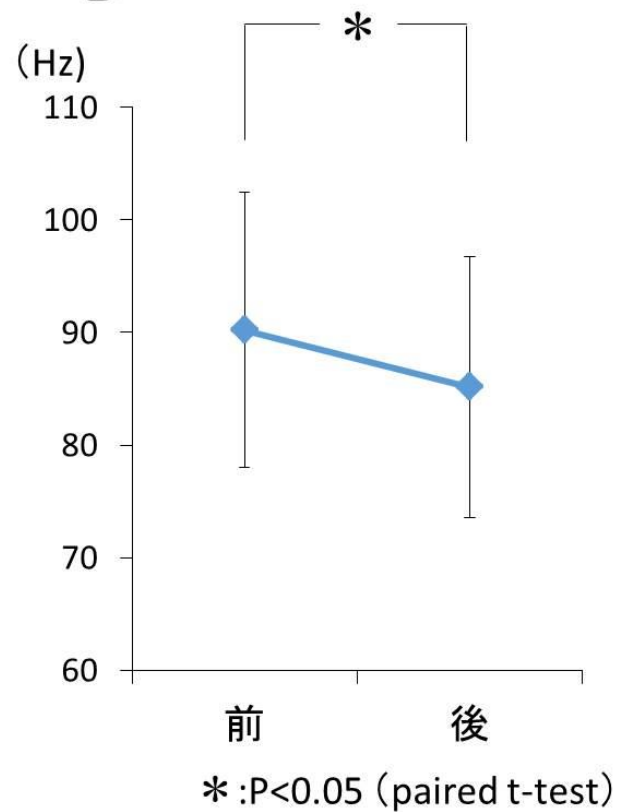


図6 トレーニング前後の最大口唇閉鎖時のパワースペクトル(A)と中間周波数(B)

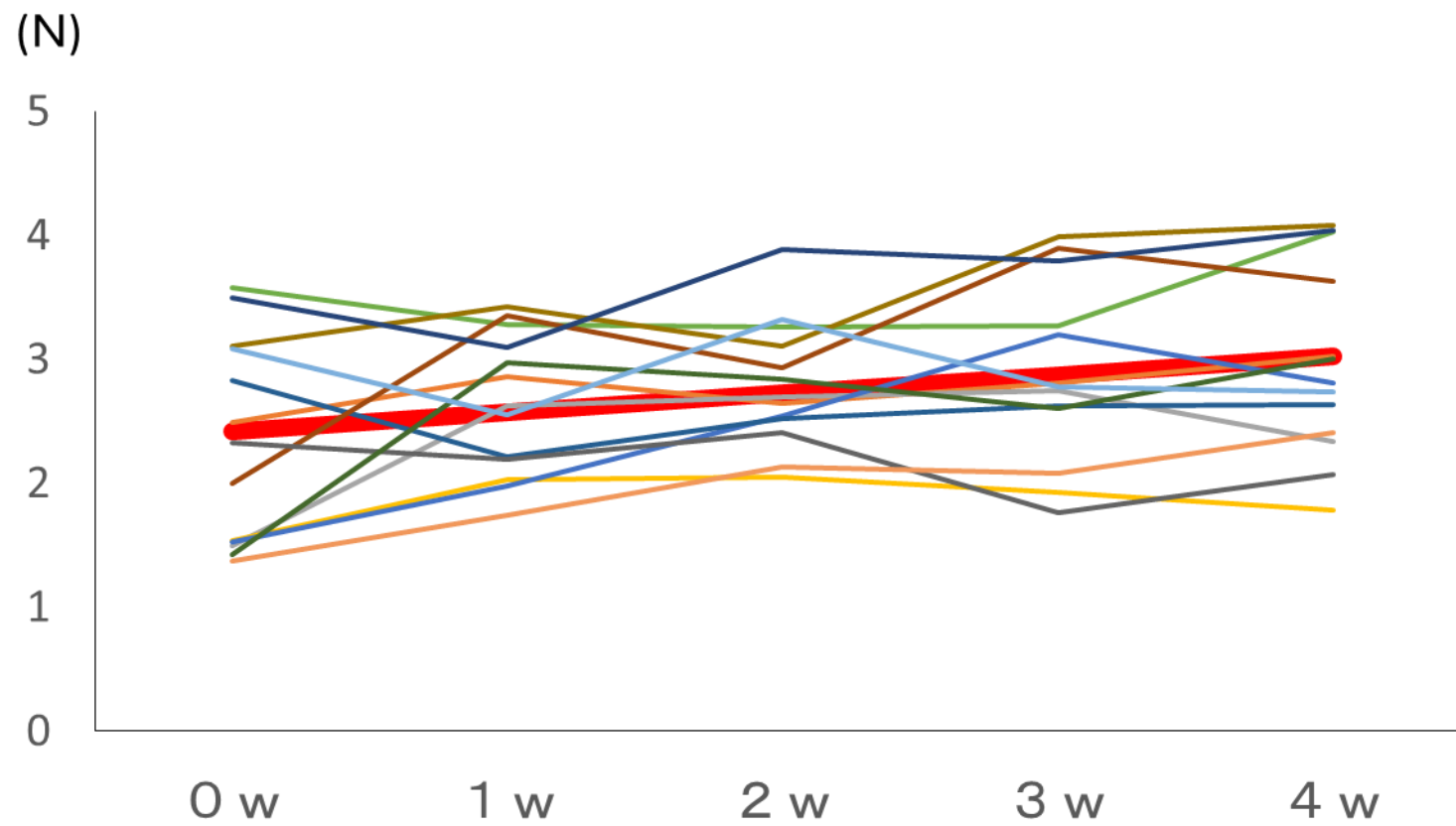


図7 最大口唇閉鎖力（総合力）の変化

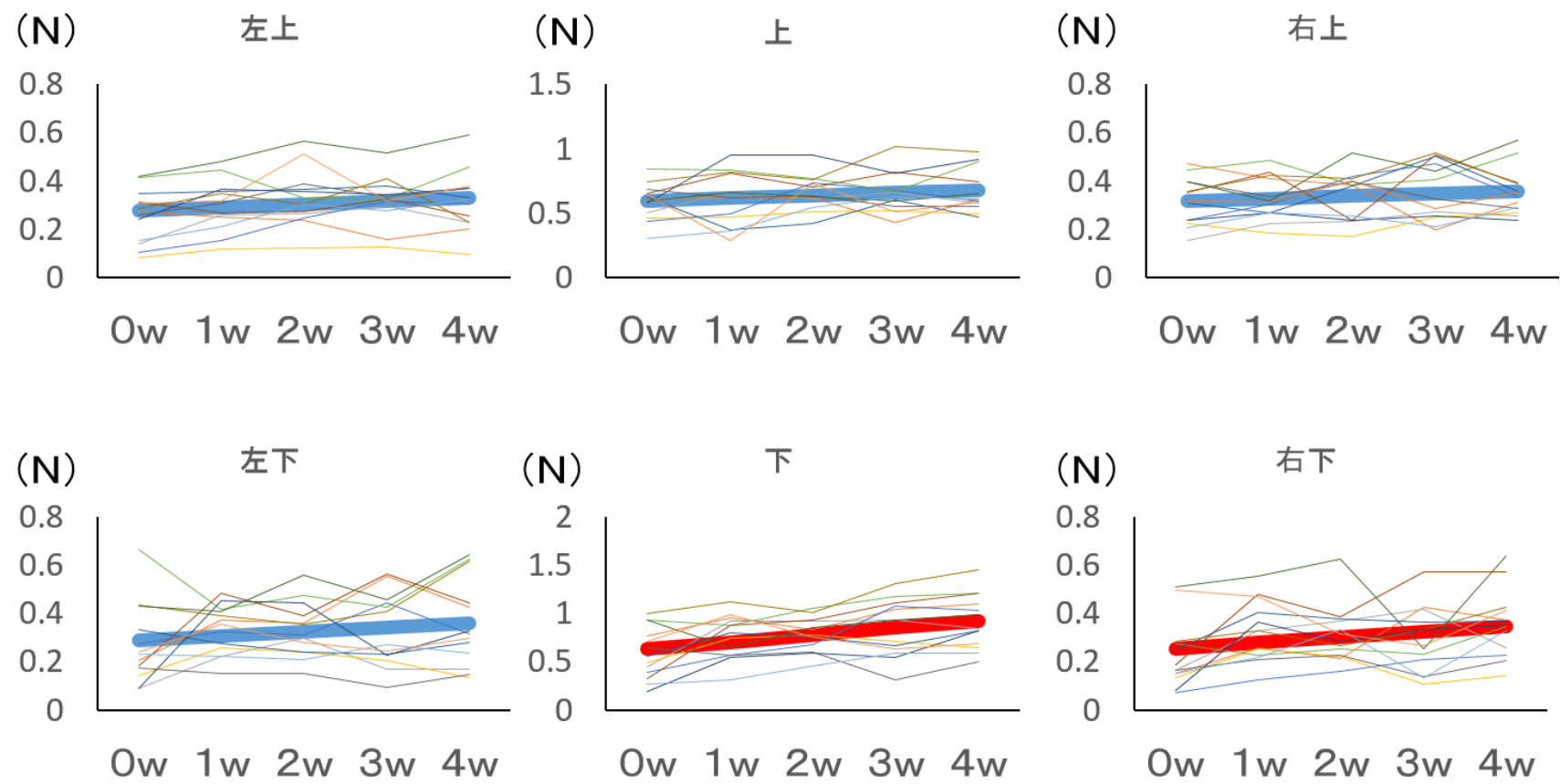


図8 最大口唇閉鎖力（方向別）の変化

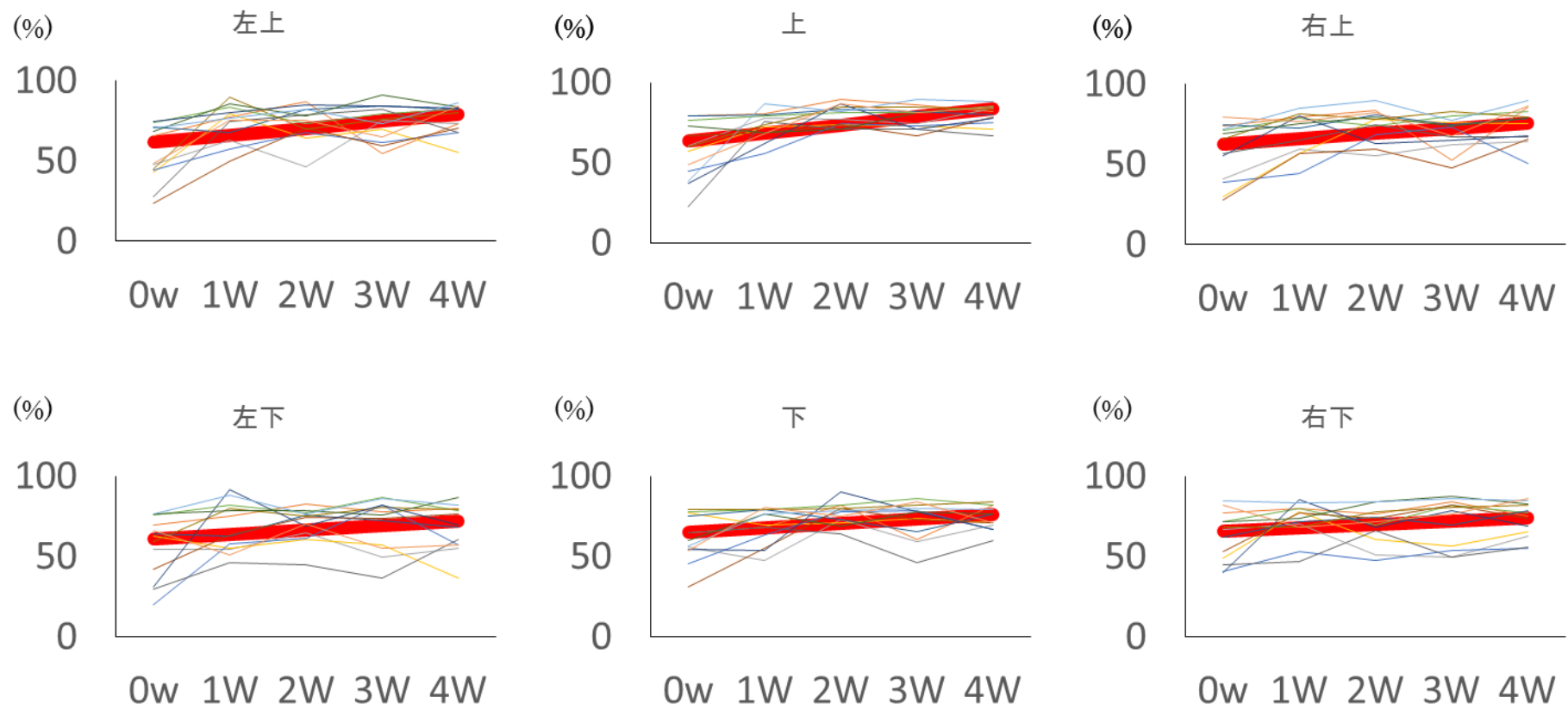


図9 方向別口唇閉鎖調節能力（正確率）の変化

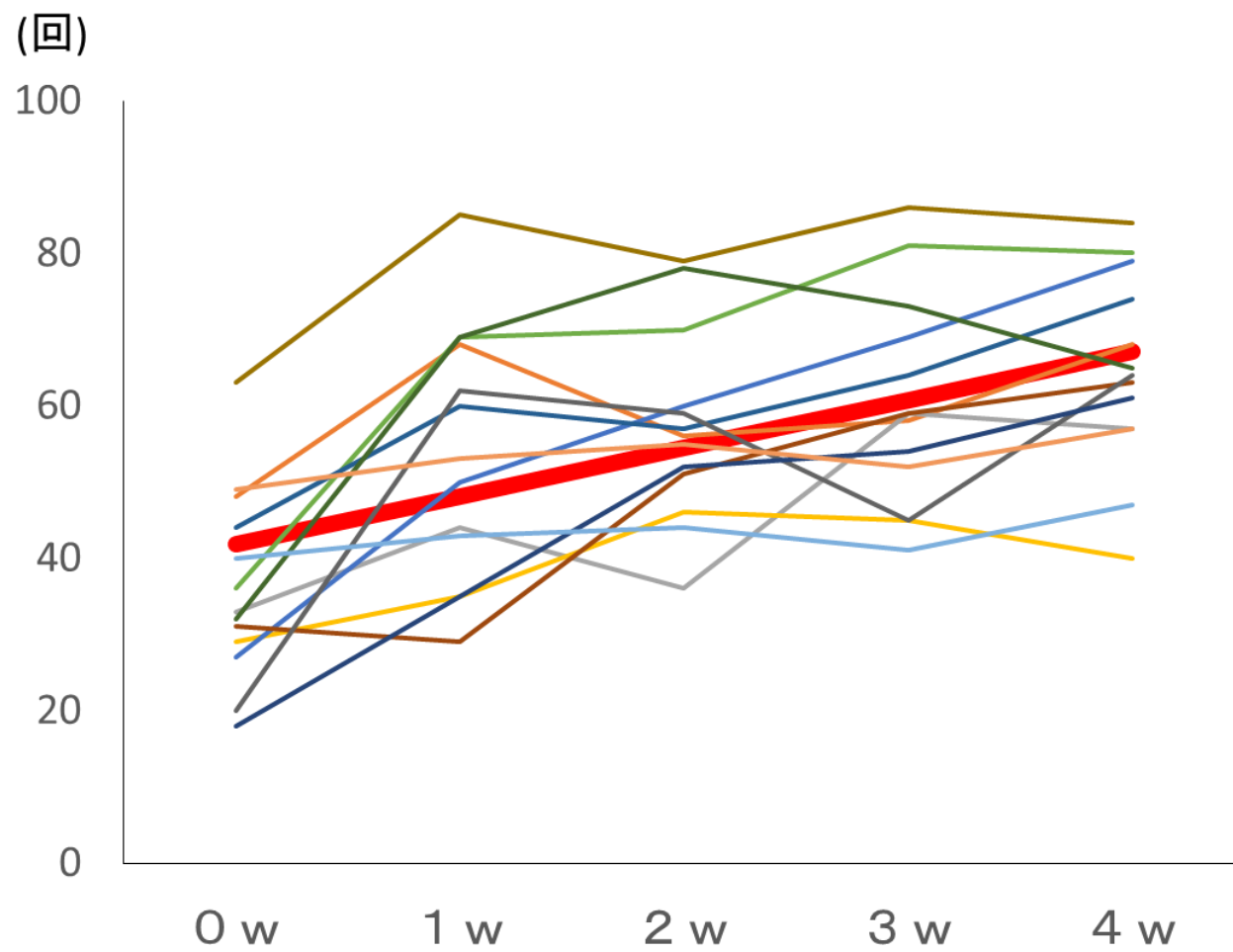


図 10 的あて回数の変化

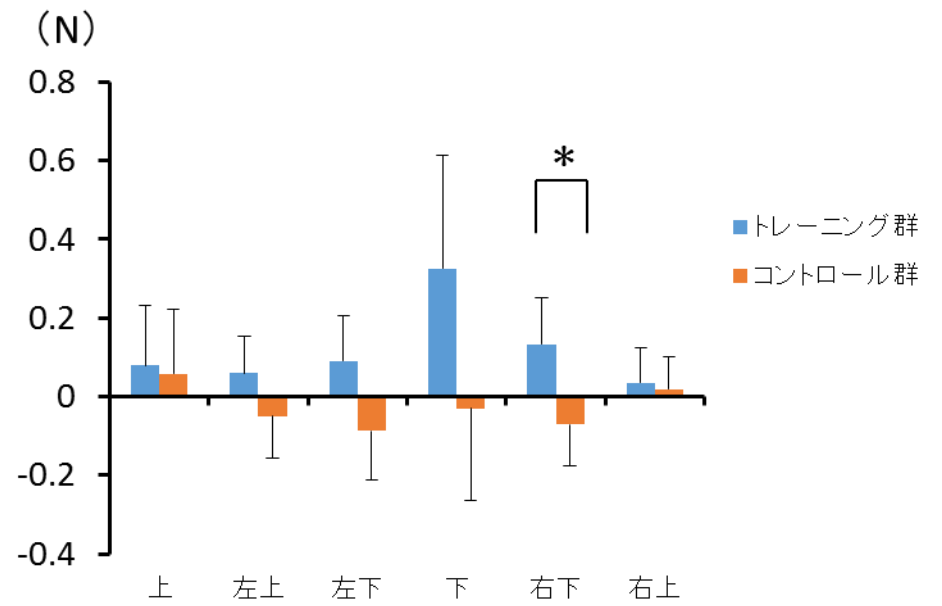
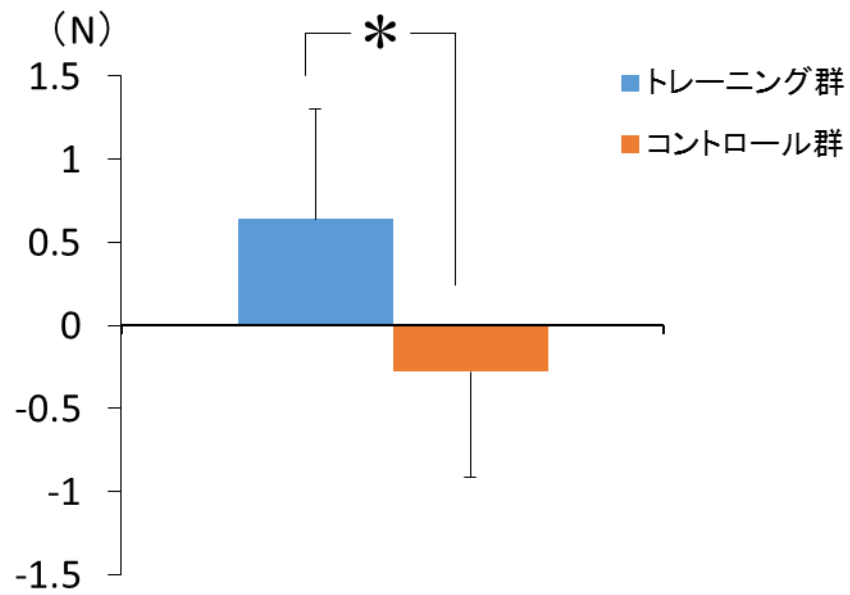


図 11 口唇閉鎖力のトレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化

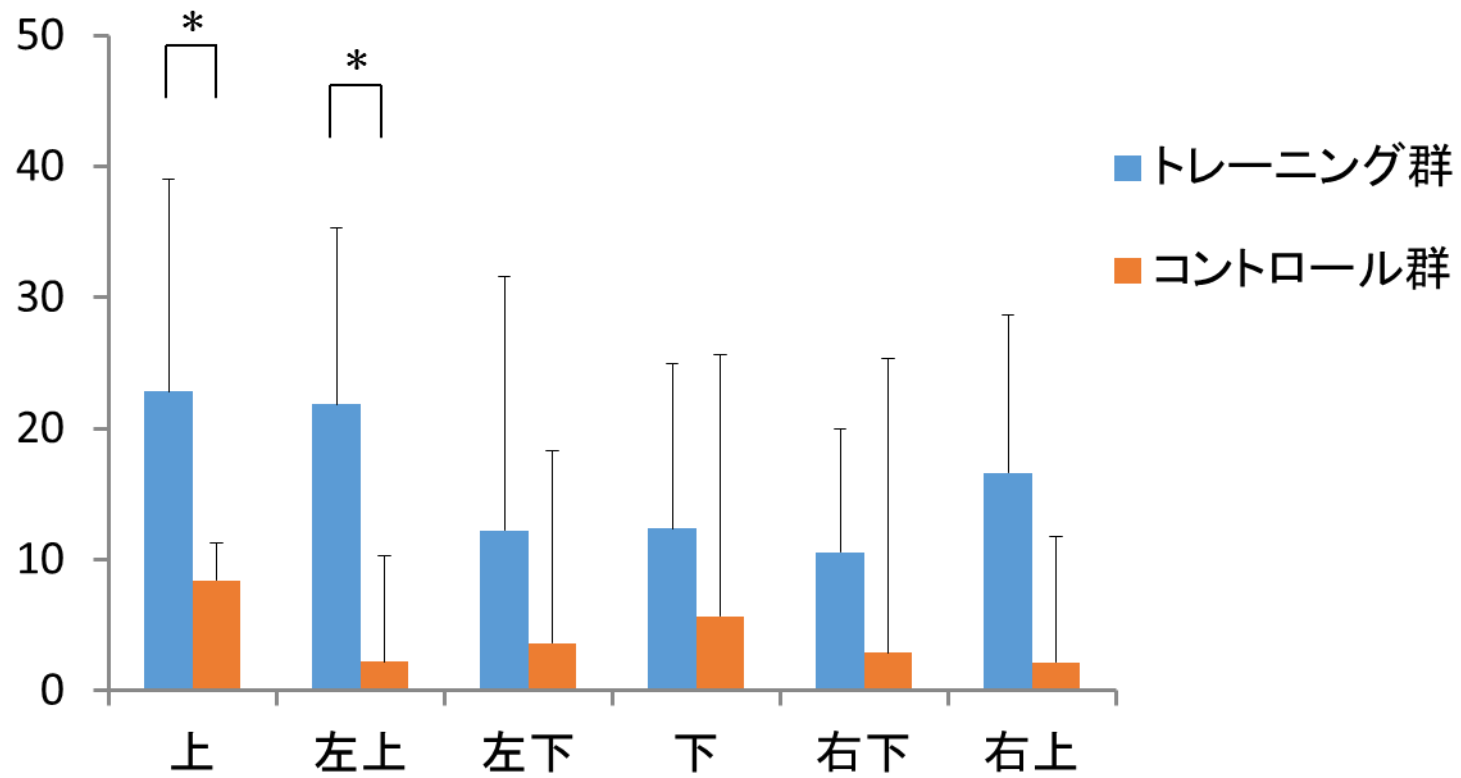


図 12 方向別正確率のトレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化

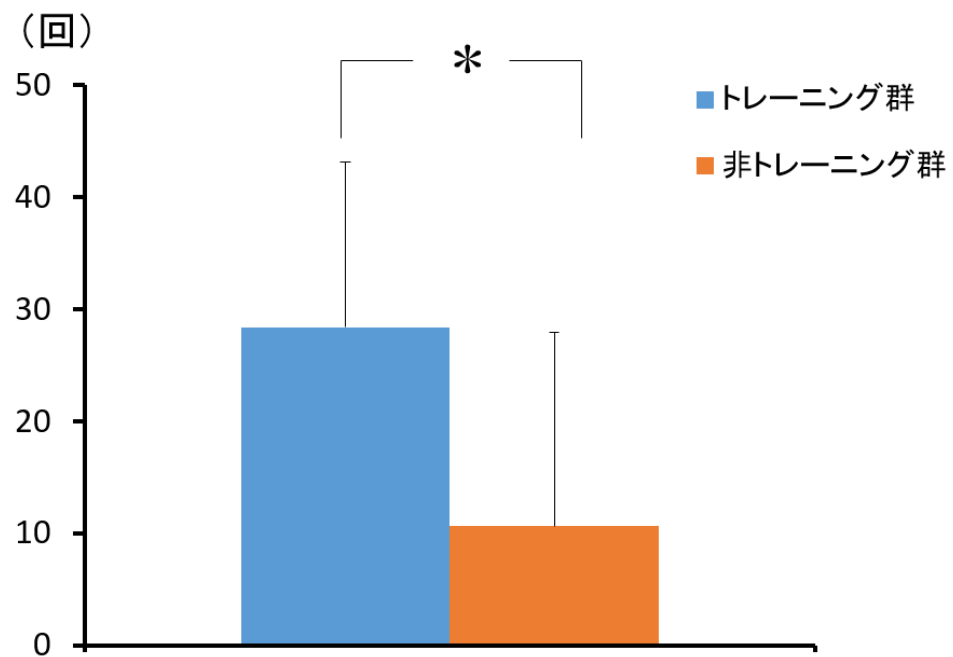


図 13 的あて回数トレーニング群と非トレーニング群における1か月間での変化