

〈特別寄稿〉

鏡を用いた筋力増強訓練について

田中 千陽¹⁾, 坂口 諒次²⁾, 生駒 怜也³⁾, 高田 拓人⁴⁾, 久保 こより⁵⁾,
高瀬 梨花⁵⁾, 中村 和⁶⁾, 山田 愛里⁵⁾, 柴山 靖¹⁾, 椿井 裕樹¹⁾,
大塚 亮¹⁾, 田中 宏明¹⁾, 小出 益徳¹⁾

要旨

本研究ではミラーセラピーを用いた筋力増強について検討するため、プレ実験で筋力測定の方法や筋力訓練の方法の検討を行い、本実験では本研究の趣旨に同意した健康な男女30名を対象とし、利き足2kg非利き足4kgの重錘を付けた群(1群)、利き足4kg非利き足2kgの重錘を付けた群(2群)、利き足のみ2kgの重錘を付けた群(3群)、コントロール群(4群)、の4群に分類し、大腿四頭筋に対して週3回の頻度で4週間のトレーニングを行った。トレーニング方法は大腿四頭筋訓練器を使用して鏡を利き足が映るようにセットし、膝関節90°屈曲位から5秒間かけて膝関節伸展を行い、伸展位で5秒間保持、その後5秒間かけて元の位置まで戻す運動を1回として20回行うこととした。測定項目は非利き足の等尺性最大収縮力とし、膝関節屈曲60°の肢位での膝伸展筋力を徒手筋力計で測定した。結果は4群ともに大きな変化が見られず、測定方法に問題があったと考えた。そのため追実験として方法を改良し、期間を2週間に変更して実験を行った。健康な男女18名に対し、利き足4kg非利き足2kgの重錘を付けた群(1'群)、利き足のみ2kgの重錘を付けた群(3'群)、コントロール群(4'群)の3群に分け、方法として筋電図による筋出力の確認、鏡注視の強化、非利き足のイメージ化を促すことを追加した。その結果、追実験では各群共に有意差は見られなかったが、3'群、1'群、4'群の順で筋力が増大していた。今回の実験では明確な結果は出なかったが、鏡を利用した視覚的フィードバックを用いてトレーニングを行うことは筋力を増強させることに有用ではないかと推察された。

キーワード ミラーセラピー、筋力、大腿四頭筋、等尺性最大収縮力、視覚的フィードバック

I. はじめに

脳卒中、切断者における幻肢痛に対してのリハビリテーションとして鏡に映った健側の動作を観察し、患側を動かそうとするミラーセラピーが近年注目されている。

1) ユマニテク医療福祉大学校 理学療法学科 2) 塩川病院 3) 済生会明和病院
4) 船橋整形外科病院 5) 榊原温泉病院 6) 永井病院

ミラーセラピー（以下、MT）とは、ラマチャンドランらが幻視の改善のために実施した治療法のことである。現在、明確な機序はわかっていないが、近年では脳血管障害患者の半側空間無視などに対して実施し改善を示唆する研究も報告されている。MTが有効である理由として、視覚、知覚、認知、運動の伝導路のどこかで脳が錯覚を起こし対側に運動が生じていると感じるのではないかと考えられており、ミラー細胞の関与も考えられている。

視覚の伝導路として目で見えている情報は網膜で受容し、それが視神経に伝わる。視神経は視交叉を経て視索を通り、反対側へ投射される。そして、中脳上丘を通り視床の外側膝状体で中継され、外側膝状体細胞のシナプスを介して新皮質視覚野に投射される。知覚は、視覚的情報として投射された新皮質視覚野から後連合野、前頭連合野に情報を送る。新皮質視覚野では、感覚で処理されたものが統合した後、一つの像として反映されたものが知覚となる。認知の経路として後連合野、前頭連合野から海馬傍回を中継する経路と海馬に投射される経路も存在する。随意運動は前頭連合野で形成された命令を一次運動野に伝えるが、この際補助的に、補足運動野、運動前野からも一次運動野に命令が送られ、そこから、錐体路として運動を伝える。これらの順序で情報は処理される。

MTに関する先行研究で、池山ら（2011年）は鏡による運動錯覚が対側筋力へ与える影響について検証した。右下腿遠位部に4 kg、左下腿遠位部に2 kgの重錘をつけ、両下肢の間に鏡を設置した状態で右下肢を注視し、両膝関節伸展運動を行った。運動は膝関節90°屈曲位から7秒間かけて膝関節伸展を行い、7秒間伸展位を保持、その後7秒間かけて元の位置まで戻す運動を1回として20回行い、頻度は週2回で期間は2か月間とした。実験結果では53.5%の下肢筋力増加が見られたと報告している¹⁾。

これらの文献を基に我々は、鏡を用いた運動錯覚により筋力増加が起こるか検証し、今後運動療法を処方する中で、脳卒中などの脳血管障害を呈した患者様や高齢で高負荷の運動が行えない患者様に対しての筋力増強訓練時に、患者様への負担を軽減した筋力増加が行えるのではないかと考えた。そこで、MTによって実際に運動を行っていない大腿四頭筋の筋力増強が起こるのではないかと仮説を立てた。

II. 実験内容

【プレ実験】（筋力測定と鏡を使った筋力増強訓練の方法の検討）

1. 使用器具

徒手筋力計（OG GIKEN、以下 HHD）、鏡（OG GIKEN）、大腿四頭筋訓練器（NIHONMEDIX）を使用した。

2. 筋力測定の姿勢・採用測定値の検討

被検者はベッドに端座位となり、膝関節60°屈曲位で等尺性膝関節伸展運動を5秒

間行い、検者は被検者の内・外果を結んだ線から4横指上で徒手筋力計(OG GIKEN、以下HHD)を当て筋力を測定した。筋力測定時の被検者の姿勢として腕を胸の前に組んだ姿勢と、上肢を自由とした姿勢での測定値を比較し、被検者の姿勢として、床に座った状態と、壁に背中をつけた状態での測定値を比較し検討した。またその際繰り返す回数や採用する測定値の検討を行った。その結果、被検者の上肢を自由にした場合や、検者が床に座った状態では膝関節伸展角度が一定にできず、発揮筋力にバラつきがみられたため、被検者は腕を胸の前に組んだ姿勢を取り、検者は壁に背中をつけた状態で測定を行うこととした。また測定値は筋力を3回測定した中央値を採用することとした。

3. グループ分けと各群の負荷量

池山らの先行実験にあった利き足4kgと非利き足2kgの群、利き足2kgと非利き足4kgの群、コントロール群に加え、今回は非利き足を無負荷にして運動しない群を加えた4群に設定した。

4. 重錘の隠し方の検討

被検者に負荷量が見えないように工夫する必要があるがあった。初めにタオルで重錘を隠すこととしたがトレーニングを行った際に、タオルが外れてしまい、重錘が被験者に見えてしまったため、黒いビニール袋をかぶせて隠すこととした。

5. トレーニング時の運動時間

池山らによる先行実験では7秒間かけて膝関節伸展を行い、7秒間伸展位を保持、その7秒間かけて元の位置まで戻すスロートレーニングを行っていたが、実際に訓練を行ったところ疲労感が強く見られたため、各時間を5秒間で行うスロートレーニングにて訓練を行うこととした。

本実験

1. 対象

対象は本校に通う健常な男女31名(男性17名、女性14名、平均年齢 21.5 ± 3.5 歳、平均体重 56.6 ± 10.3 kg)とした。対象者には研究の目的、方法、個人情報保護について口頭及び書面にて説明し、研究参加の同意を得た。対象者30名を無作為に4つの群に分け、1群は7名(男性7名、女性0名、平均年齢 21.5 ± 3.5 歳、平均体重 66.4 ± 8.6 kg)で利き足4kg、非利き足2kgの重錘をつけた群、2群は8名(男性4名、女性4名、平均年齢 19.0 ± 1.0 歳、平均体重 54.8 ± 7.3 kg)で利き足2kg、非利き足4kgの群、3群は7名(男性1名、女性6名、平均年齢 21.0 ± 3.0 歳、平均体重 51.9 ± 7.9 kg)で利き足のみ2kgの重錘をつけた群、4群は9名(男性5名、女性4名、平均年齢 19.5 ± 0.5 歳、平均体重 54.2 ± 11.5 kg)で筋力測定のみコントロール群とした。

2. 筋力測定と統計処理

使用器具は徒手筋力計（OG GIKEN、以下 HHD）を使用した。測定側は非利き足とし、検者は壁に背中をつけ、内・外果を結んだ線から 4 横指上に HHD を当て等尺性の膝伸展筋力を測定した。被験者はベッド上端座位で腕を胸の前で組み、膝関節 60°屈曲位の肢位で 5 秒間膝伸展を行った。実験初日・実験開始 2 週目・実験終了直後に筋力を測定し比較した。測定値は 3 回測定した中央値を体重で除した体重比（%BW）を採用し、統計処理は一元配置分散分析を行い、5%未満を有意差とした。

3. 筋力訓練

使用器具は鏡（OG GIKEN）、大腿四頭筋訓練器（NIHONMEDIX）、を使用した。運動方法として、鏡を下肢の間に置き、鏡に映っている利き足を見つめてもらいながら 1、2、3 群は大腿四頭筋訓練器を使用して膝関節 90°屈曲位から 5 秒間かけて膝関節伸展を行い、5 秒間伸展位保持、その後 5 秒間で元の位置まで戻す運動を 1 回として 20 回行った。1 群は利き足 4kg、非利き足 2kg、2 群は利き足 2kg、非利き足 4kg をつけてトレーニングを行った（図 1）。1 群、2 群は両足同時に運動を行い、3 群に関しては利き足のみ運動とした。1 群、2 群の運動時は被検者に負荷量が見えないように重錘に黒いビニール袋をかぶせて隠し、左右の負荷量が分からないように行った。4 群はコントロール群として運動は行わなかった。

4. 結果

結果は 1 群、4 群、3 群、2 群の順で増加し、1 群が実験前 63.6±13.6、2 週間後 67.1±12.4、実験終了後 70.5±14.0、2 群は実験前 56.1±12.1、2 週間後 59.7±10.9、実験終了後 59.7±15.8、3 群は実験前 60.0±12.4、2 週間後 65.0±13.9、実験終了後 65.5±12.2、4 群が実験前 61.3±10.2、2 週間後 62.8±9.0、実験終了後 67.6±7.5 であった（図 2～図 5）。1 群から 4 群すべてで有意差はみられなかった。

5. 本実験の考察

予測としては 1 群、2 群、3 群、4 群の順で増加すると考えたが、結果はすべての群で有意な差が見られなかった。しかし 1 群と 4 群の実験後の値は初期と比較して 2 群、3 群より上昇していた。数値が不安定になった理由としては測定時に被験者の体幹の固定性が悪かったこと、被験者の足関節の角度が統一されていなかったこと、被験者が訓練時に鏡を意識的に注視していたかしっかり確認できていなかったこと、非利き足のイメージをしてもらう徹底が出来ていなかったことが考えられた。また、3 群の非利き足の大腿四頭筋が筋収縮をしていないことを客観的に確認出来ていなかったため、我々は測定方法や訓練方法を見直して追実験を行うこととした。

追実験

1. 使用器具

本実験と同様の鏡 (OG GIKEN)、大腿四頭筋訓練器 (NIHONMEDIX)、HHD (OG GIKEN) に加え、筋電図 (NEG メディカルシステム株式会社)、昇降椅子 (OG 技研、マルチスタンド GH-375) を使用した。

2. 対象

対象は本校に通う健常な男女 18 名 (男性 12 名、女性 6 名、平均年齢 22.0 ± 3.0 歳、平均体重 61.8 ± 10.4 kg) とした。対象者には研究の目的、方法、個名情報の保護について口頭及び書面にて説明し、研究参加の同意を得た。

対象者 18 名を無作為に 3 つの群に分け、1'群は 6 名 (男性 5 名、女性 1 名、平均年齢 22.0 ± 3.0 歳、平均体重 66.2 ± 10.4 kg) で利き足 4 kg、非利き足 2 kg の重錘をつけた群とし、3'群は 6 名 (男性 5 名、女性 1 名、平均年齢 22.0 ± 3.0 歳、平均体重 66.8 ± 4.3 kg) で利き足のみ 2 kg の重錘をつけた群、4'群は 6 名 (男性 2 名、女性 4 名、平均年齢 19.0 ± 0 歳、平均体重 52.3 ± 8.9 kg) で筋力測定のための群とした。

3. 筋力測定と統計処理

本実験と同様に膝関節 60° 屈曲位での膝伸展筋力を徒手筋力計 (OG GIKEN、以下 HHD) で測定した。背もたれがあり、座面が上下動する昇降椅子 (OG GIKEN、マルチスタンド GH-375、図 6) を使用して上肢は胸の前で組むこととし、下肢では足関節の角度を軽度背屈位に統一、足底は床面に接地しないようにした (図 7)。測定値は 3 回測定した中央値を採用した。運動初日に測定を行い、実験終了 2 週間後に再び筋力を測定した。統計処理は対応のある t 検定を用い、有意水準は 5% 未満とした。

4. 筋力訓練

運動方法は本実験とほぼ同様に行った。1'、3'群は鏡を両下肢の間に設置し、鏡に利き足が移った状態で大腿四頭筋訓練器を使用して膝関節 90° 屈曲位から 5 秒間かけて膝関節伸展を行い、5 秒間伸展位保持、その後 5 秒間で元の位置まで戻す運動を 1 回として 20 回行った。1'群は利き足 4kg、非利き足 2kg で両足同時に運動を行い、3 群に関しては利き足のみ運動とした。1 群の運動時は被検者に負荷量が見えないように重錘に黒いビニール袋をかぶせて隠し、左右の負荷量が分からないように行った。4'群はコントロール群として運動は行わなかった。追実験では筋活動の確認のため全ての群に筋電図を使用し (図 8)、監視員を配置した。監視員は運動中に 1'、3'群には鏡を注視することと、非利き足のイメージをしながら運動をおこなってもらうよう口頭指示を行った。

5. 結果

結果は 1'群が実験前 45.8 ± 15.8 、実験後 47.4 ± 14.4 (図 9)、3'群が実験前 43.1 ± 7.4 、実験後 51.0 ± 13.2 (図 10)、4'群は実験前 49.6 ± 11.9 、実験後 49.5 ± 13.0 (図 11) と

なり、3'群、1'群、4'群の順で増加した。各群ともに有意差は見られなかったが1'群、3'群に数値の上昇傾向が見られた。また、筋電図では1'群だけではなく3'群にもやや筋収縮が認められた(図 12~14)。

6. 追実験の考察

追実験の我々の予測は1'群、3'群、4'群の順で筋力が増加すると考えたが、結果は3'群、1'群、4'群の順で増加した。各群ともに有意差は見られなかったが1'群、3'群に数値では上昇傾向が見られた。また本実験で問題点として上がったコントロール群の実験前後の変化は解消されたため、測定方法の問題は改善されたと考える。

考察

内閣府の発表²⁾によると、高齢者の死因となった疾病において、死亡率(高齢者名口10万名当たりの死亡数)は、平成26年では「悪性新生物(がん)」が937.1名と最も高く、次いで「心疾患」が545.3名、「肺炎」が352.8名、「脳血管疾患」が315.5名の順となっており、これらの疾病で高齢者の死因の半分以上を占めている。また、要介護者等について、介護が必要になった主な原因として、「脳血管疾患」が17.2%と最も多く、次いで、「認知症」が16.4%、「高齢による衰弱」が13.9%、「関節疾患」が11.0%となっている。中でも男性では「脳血管疾患」が26.3%と特に多くなっていた。このことから、近年では、高齢者が脳血管障害に罹患する確率が高く、要介護における原因としても脳血管疾患が占める確率が高いことから、臨床現場における脳血管疾患の機能回復・維持を目的とした治療の必要性が高いと考える。

先行文献では、手塚ら³⁾が両上肢の間に鏡を設置し、健側上肢で箸を用いて物の運び動作を行った後に非麻痺側上肢でも同様に行うと、鏡を用いて行った時よりも運動速度が増加したと述べている。また、和田ら⁴⁾は足関節の運動機能がSIAS-Fで2点以下の片麻痺患者に鏡を用いて非麻痺側の足関節背屈運動を鏡を注視した状態で行うと麻痺側の背屈角度が増加したと報告している。これらのことから、ミラーセラピーの効果として運動の巧緻性の上昇・関節可動域角度の増加が確認されている。そのため我々は、治療方法の一つとして知られている、鏡を用いたミラーセラピーを行うことが有用であると考え実験を行った。

先述したようにMTは、ラマチャンドランらが幻視の改善のために実施した治療方法である。近年における活用方法としては、主に脳血管障害患者の半側空間無視などに対して実施されている。池山ら¹⁾による先行実験では、健常者にMTを行うことで、53.5%の下肢筋力増強が見られたと報告している。また、池山らは鏡を使用し運動錯覚を起こした状態でトレーニングを行うことにより、より高い筋収縮を伴うトレーニングが可能となり、MTは低負荷において筋力増強効果をさらに増大させることが示唆されたのではないかと述べている。我々の追実験では各群に有意差は見られないもの

の、1'群、3'群に測定値の上昇傾向が見られた。一般的に筋力増強のメカニズムとしては、大脳興奮水準・神経系の賦活化、筋肥大によって起こると言われている。菅田ら⁵⁾によると大脳興奮水準が賦活化されると、運動単位の増加、発火頻度の増加が起こり結果的に筋出力の増加が起こると言われている。また、筋肥大が生じるまでの筋力増強はこの大脳興奮水準の賦活化によって起こると言われている。筋肥大がトレーニングにより生じる期間はトレーニング開始より 2~3 カ月後であると言われており、今回の我々の追実験では介入期間が 2 週間であることから筋肥大は生じにくいと推察される。そのため、測定値の上昇傾向に関しては MT を行うことで、両側の前頭葉・後頭葉・頭頂葉が活動し、大脳興奮水準が賦活化されたことによって、筋出力が増加したと考える。このことから、低負荷のトレーニングでもスロートレーニングと MT を組み合わせることで大脳興奮水準が賦活化され、運動単位の増加、発火頻度の増加が起こり結果的に筋出力の増加が起こると考える。また、菅田ら⁵⁾によると、運動イメージ能力が高ければ皮質脊髄路の興奮性が増加しやすく、筋出力増加に影響すると仮定できると言われている。また、中枢神経系の興奮水準の増加は、筋力トレーニング時だけでなく掛け声や催眠によっても、もたらされると言われている。逆に言うと我々の実験でイメージをする指示が曖昧だった本実験においては負荷をかけた下肢にも筋力増強が起こらなかったことから、鏡を注視し、運動イメージをしっかりと行わないと MT の効果は得られにくい弱点はあるように感じられた。このことから、MT を行う際に鏡をしっかりと注視することを徹底すること、トレーニング時に声掛けなどの工夫をすることによって運動イメージを高めることが可能であれば、MT の効果が得られやすくなると考える。

他にも石山ら⁶⁾によると膝関節可動域制限・疼痛のある患者に MT を行うことで、疼痛の改善傾向が見られたと言われている。そして追実験で、鏡を使用し運動錯覚を起こした状態で筋力トレーニングを行ったことによって測定値が上昇傾向にあること、運動を行わない検査側にも筋電図において活動が確認されたことから、MT は低負荷での筋力トレーニングでも筋力増強効果があると示唆され、MT は脳血管障害のみでなく、整形外科的疾患に対しても使い方を工夫すれば適応となるのではないかと推察する。

参考文献

- 1) 池山怜太、他：鏡による運動錯覚が対側筋力へ与える影響、ユマニテク医療福祉大学校卒業論文集、p79-87、2011 年
- 2) <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/html/zenbun/s1-2-3.html>
- 3) 手塚康貴、平岡範人、他：脳卒中後上肢運動麻痺に対する鏡像を利用した治療の効果。理学療法学 33、p300、2006 年

- 4) 和田陽介、平野佳代子、他：脳卒中片麻痺患者の麻痺側足関節背屈へのミラーセラピーの効果. *Jpn J Compr Rehabil Sci* Vol 2, 2011 年
- 5) 菅田陽怜、飯星雅朗、他：運動イメージや運動観察が即時的な膝伸展筋出力に及ぼす影響、*PTジャーナル*第 43 巻第 10 号、907-909、2009 年
- 6) 石山久美、門馬博、他：鏡によるフィードバックを用いた自動運動が関節可動域に及ぼす影響について、*理学療法学* 31、278、2004 年
- 7) 平上尚吾、井上優、他：脳卒中片麻痺患者の手指運動機能手指に対するミラーセラピーの効果. *理学療法科学* 31 巻 4 号、609-613、2016 年

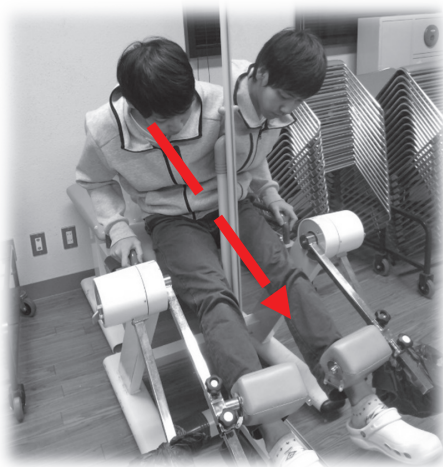


図 1. 筋力訓練風景

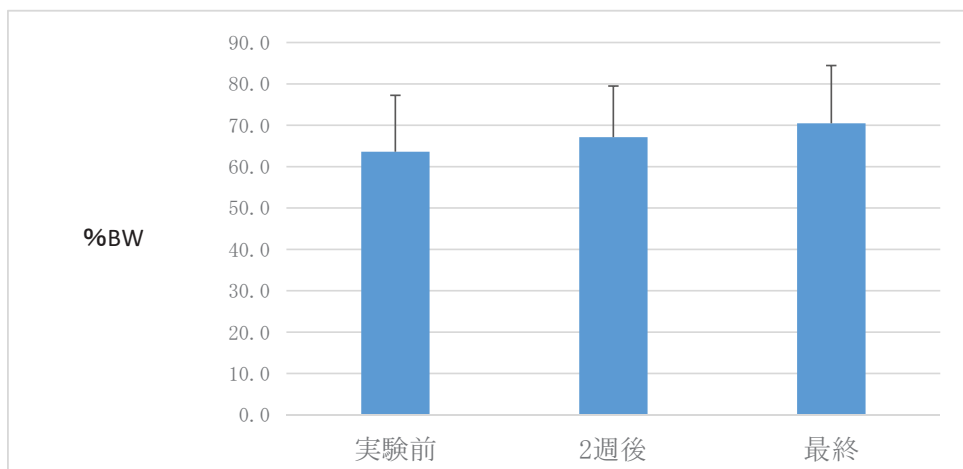


図 2. 1 群の筋力測定値

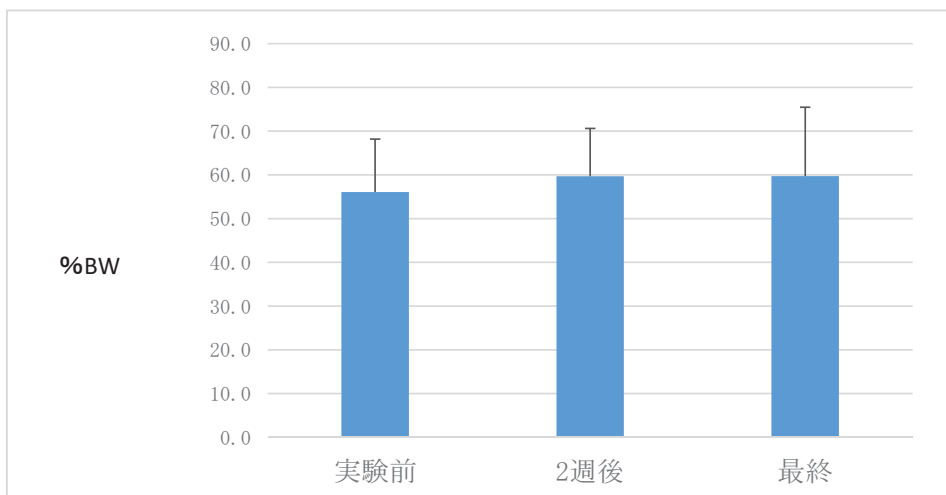


図 3. 2群の筋力測定値

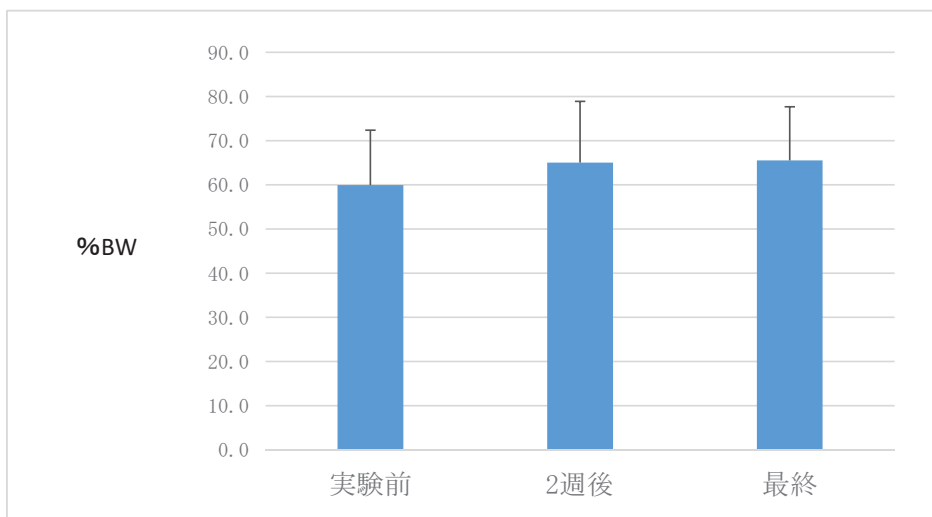


図 4. 3群の筋力測定値

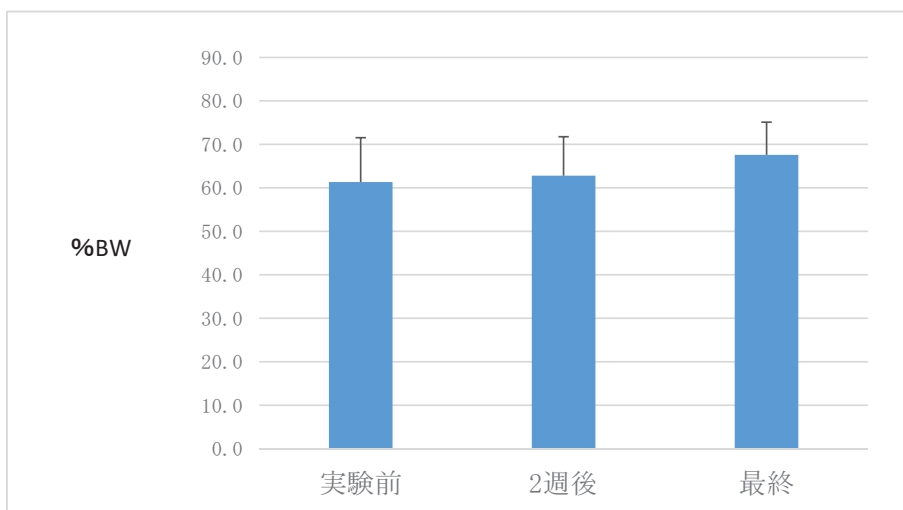


図 5. 4 群の筋力測定値



図 6. マルチスタンド GH-375



図 7. 筋力測定の様子



図 8. 筋電図での収縮確認

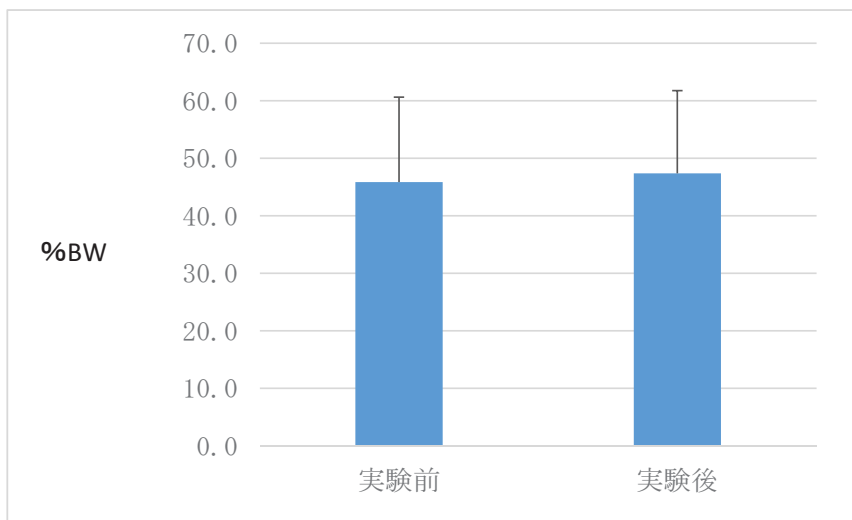


図 9. 1 群筋力測定の結果

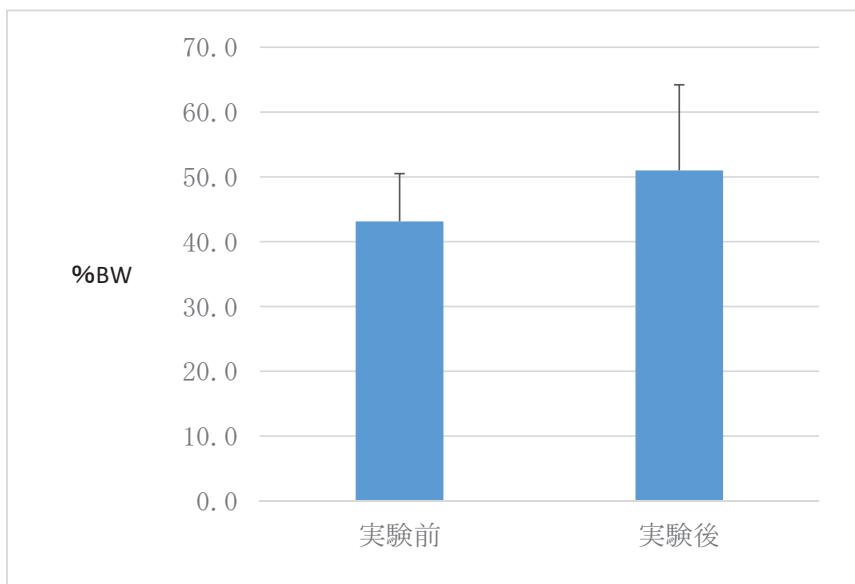


図 1 0 . 3 群筋力測定の結果

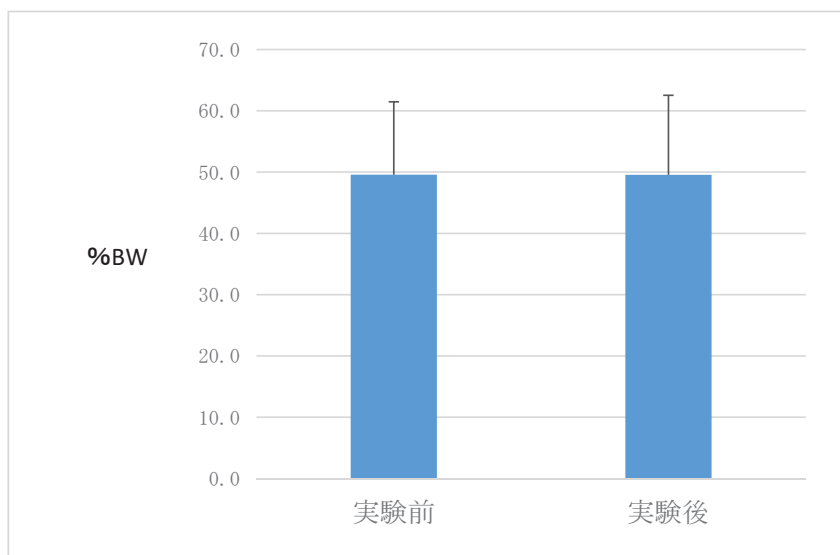


図 1 1 . 4 群筋力測定の結果

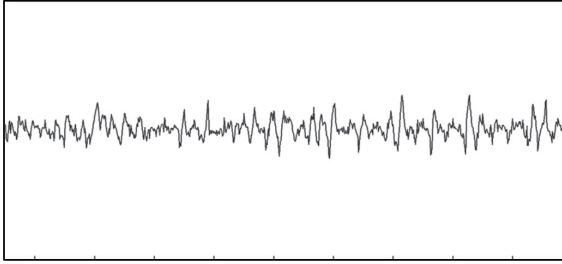


図 1 2 . 1 群の筋電図

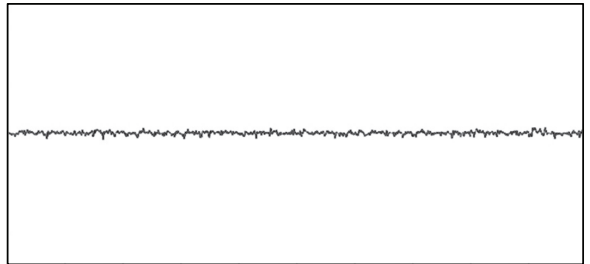


図 1 3 . 3 群の筋電図

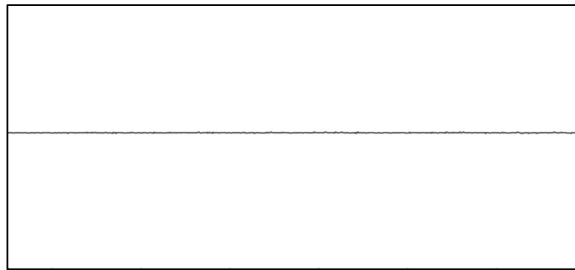


図 1 4 . 4 群の筋電図