

Original Article

通所介護を利用する高齢者の膝関節伸展筋力に与える反復末梢性磁気刺激の効果

紙上真徳,¹ 椿原彰夫,² 伊藤智崇,² 小池康弘³¹川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科リハビリテーション学専攻博士課程後期²川崎医療福祉大学リハビリテーション学部理学療法学科³川崎医療福祉大学リハビリテーション学部作業療法学科

要旨

Kamiue M, Tsubahara A, Ito T, Koike Y. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on knee joint extensor strength in older persons receiving day services. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2024; 15: 49-57.

【目的】反復末梢性磁気刺激 (rPMS) によって、通所介護を利用する高齢者の膝関節伸展筋力および運動能力に及ぼす効果を検証することである。

【方法】通所介護を利用し、理学療法士による機能訓練を行っている高齢者 12 名 (平均年齢 83.8±4.5 歳) の両側外側広筋・内側広筋・大腿直筋に、Talent Pro[®] を用いて 30 Hz の rPMS を 20 分間/日、3 回/週、計 4 週間施行した。介入前後の評価項目には、最大随意収縮力 (MVC)、rPMS で誘発される膝関節伸展筋トルク (rPMS 誘発トルク)、疼痛 (VAS)、大腿周径、快適 5 m 歩行時間、30 秒椅子立ち上がりテスト (CS-30)、Timed Up and Go Test (TUG)、Functional Reach Test (FRT) を測定した。MVC および rPMS 誘発トルクの測定には μ -Tas F-1[®] を用いた。

【結果】MVC は両下肢ともに、介入開始直前 (右/左: 59.9±17.2 Nm/64.5±21.0 Nm) よりも介入終了後 (72.4±23.5 Nm/72.9±23.0 Nm) で有意に増大した。介入開始 1 か月前と介入開始直前との間、ならびに

介入後と介入終了 1 か月後との間には、変化は認められなかった。rPMS 誘発トルクおよび TUG、CS-30 は、介入直前よりも介入終了後に有意に改善した。

【結論】rPMS を用いた介入によって、高齢者の MVC や rPMS 誘発トルクを増強させ、運動能力も改善させることが明らかとなった。rPMS は、簡便に筋力を増強させる手段であるため、今後は広く普及されることが望まれる。

キーワード：反復末梢性磁気刺激、膝関節伸展筋力、高齢者、筋力増強、運動能力

はじめに

我が国の 65 歳以上の人口は年々増加し、令和 3 年簡易生命表によると、女性の平均寿命は 87.57 歳、男性の平均寿命は 81.47 歳となっている [1]。日常生活が制限されることなく過ごせる期間である健康寿命も徐々に延伸し、身体能力を可能な限り維持されることが期待される。特に、加齢による筋力低下は、身体機能の低下 [2, 3] や転倒のリスク、死亡率の上昇 [4, 5] などにつながるため、高齢者の高い QOL を保つには、筋力を維持、あるいは増強することが求められる。最近では、介護保険制度によって、通所リハビリテーションや通所介護を利用する高齢者は増えている。これらの通所施設に加えて、入所施設においても、筋力増強を目的とする抵抗運動が計画され、高齢者の健康維持や身体機能維持を目指すことも多い [6, 7]。しかしながら、抵抗運動の効果は、個々人のモチベーションに依存しやすく、自ら積極的に行う必要がある。また、高齢者や認知症の人々が自主的に長時間の運動を継続することは、必ずしも容易でない。加えて、制度上にも課題がある。急性期や回復期病院では、リハビリテーション治療の時間が比較的長く設けられているが、通所介護やグループホームなどの高齢者施設では、機能訓練指導員による個別機能訓練に設定されている報酬が低いため、専門的な療法士が担当する時間を長く取ることが困難である。したがって、より簡便に筋力を維持、あるいは増強する方法が求められる。

筋力を維持、増強するために有効な手段として、近年、反復末梢性磁気刺激 (repetitive peripheral magnetic

著者連絡先：紙上真徳

川崎医療福祉大学大学院医療技術学研究科リハビリテーション学専攻博士課程後期

〒710-0193 岡山県倉敷市松島 288 番地

E-mail : p_reticulata_0229@yahoo.co.jp

2024 年 7 月 9 日受理

利益相反：上記論文について、オージー技研株式会社と共同研究契約を締結しました。我々は、オージー技研株式会社から磁気刺激装置を借用し、研究資金を受け取ったことを開示いたします。また、研究資金提供者は、研究デザインやデータの収集、分析、原稿の作成、論文投稿の決定には一切関与していません。



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial NoDerivatives International License.

©2024 Kaifukuki Rehabilitation Ward Association

stimulation：以下、rPMS) が用いられるようになっていいる。rPMS は、より少ない痛みで深層の筋肉を収縮することができるため、神経筋電気刺激の代替法として注目されている [8-11]。rPMS が登場する以前は、筋力増強として電気刺激療法が用いられてきた。しかしながら、Braidら [12] は、大腿骨骨折後の高齢患者には、電気刺激時の痛みや不快感のために、筋力増強に有意な効果が認められなかったと報告している。rPMS の利点としては、電気刺激よりも痛みが少ないだけでなく、強い筋収縮力を得られることも特徴的である [8, 13]。また、皮膚に電極を貼付する必要がなく、衣服の上からも刺激が行えることや、様々な筋肉に個別に刺激を与えることができることも、利点として挙げられる [11, 13, 14]。rPMS による筋力増強を行った先行研究では、健常者だけでなく、慢性閉塞性肺疾患や人工股関節置換術後、脳卒中の患者でも筋力増強効果が得られたことが報告されている [15-19]。しかしながら、健常者に rPMS を 4 週間行っても筋厚や筋断面積に有意な変化がないという報告や [19]、rPMS を脳梗塞の疾患患者に行ったシングルケーススタディでは下肢筋力を維持することは可能であるが、明確には増加させなかったという報告も見受けられる [20]。

介入研究の結果が一樣ではなかった理由としては、使用機器や刺激方法、刺激部位の脂肪の厚さなどの被験者の特性の違いが挙げられる [13, 14, 21]。近年では、刺激をする箇所を探索することで強い収縮が誘発できること [13, 14]、円形コイルによる磁気刺激は広い範囲を刺激できること [14]、皮下脂肪厚が薄い場合にはコイルと筋との距離が近いために筋収縮力が大きくなること [21]、などが報告されている。

筋力増強を目指すには筋肉の強い収縮が必要であるが、rPMS は疼痛が少ないため、強い強度で高頻度の刺激が可能であれば効果が期待できる。しかし、磁気刺激装置は、高い出力強度を継続すると機器自体が発熱するという特徴がある。近年、冷却法の進歩によって、先行研究で用いられている磁気刺激装置よりも、長く継続して使用できる rPMS 専用の機器が登場した。入院中の患者に対して rPMS を用いて筋力増強効果を検証する研究は徐々に増えているが、在宅生活を送っている虚弱な高齢者に対する研究は我々の知る範囲ではみられない。本研究の目的は、rPMS 専用の磁気刺激装置を用いることによって、生活期にある高齢者の下肢の筋力増強や運動能力の向上が図れるかどうかを検討することである。

対象と方法

1. 対象

本研究の対象は、要介護状態にある 65 歳以上の高齢者で、週 3 回以上「デイサービス かがやき」に通っている利用者のうち、理学療法士による機能訓練を 1 日に 20 分間、週 3 回行っている者である。機能訓練の内容は、臥位での関節可動域運動や、抗重力位あるいは徒手的な筋力増強運動であった。除外対象は、(1) 脳卒中患者、(2) 神経筋疾患患者、(3) 心臓ペースメーカーや脳室-腹腔シャントなどの磁気刺激に影響を受ける体内埋め込み型医療機器のある場合、(4) 研究の

趣旨を理解できない重度の認知症、(5) Body Mass Index (BMI) が 35 kg/m^2 を超える高度の肥満者とした。本研究は、ヘルシンキ宣言に準拠して実施した。

2022 年 7 月の段階で当施設に来所している利用者数は、288 名であったが、対象となる基準を満たす者は 38 名であった。そのうち、除外対象は脳卒中患者が一番多く、神経筋疾患患者や心臓ペースメーカーの装着者、認知症の方々であり、合計で 24 名であった。対象となり得る利用者者に介入研究の目的と内容、安全性について、口頭および文書で詳細に説明した。研究への参加は自由意志とし、利用者が研究の内容を理解したことを確認した上で、全員からインフォームドコンセントを取得することとした。説明を行った利用者のうち 2 名は、研究の参加に同意しなかった。参加に同意した残りの 12 名 (平均年齢 83.8 ± 4.5 歳、男性 5 名、女性 7 名) が被験者となった (図 1)。本研究は、川崎医療福祉大学倫理委員会の承認 (承認番号: 21-088) のもとで実施した。

2. 磁気刺激による介入方法

rPMS には、Talent Pro[®] (REMEDI 社製) を使用し、刺激コイルには大型の円形コイル (半径 7.8 cm) を使用した (図 2)。刺激部位は両側大腿四頭筋とし、端坐位にて足底を床につけた状態で動かないように固定させて、膝関節を 90 度屈曲位で等尺性に行った。外側広筋 (vastus lateralis: 以下、VL)、内側広筋 (vastus medialis: 以下、VM)、大腿直筋 (rectus femoris: 以下、RF) の各筋について、最も強い筋収縮を誘発できる最適刺激点を探索した後に、介入として刺激を行った。

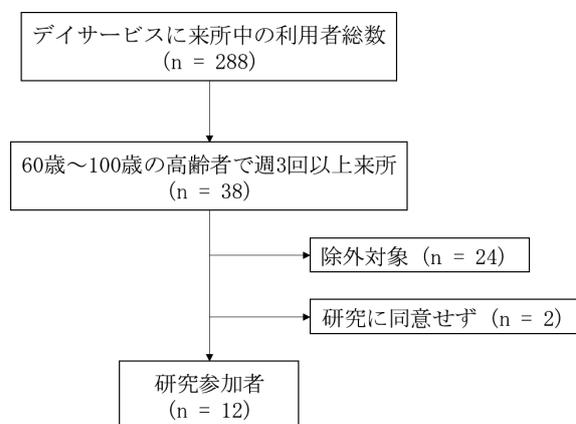


図 1. 対象となる被験者の選定手順



図 2. 磁気刺激装置 (左図) と磁気刺激の状況 (右図)

最適刺激点の探索方法は、後記する磁気刺激によって誘発される筋トルクの測定の場合と同様である。被験者には、rPMS 中に大腿四頭筋の随意収縮を起こさないように、できるだけ全身をリラックスさせるように指示した。刺激時間は計 20 分間とし、両側の各筋が均等な時間の刺激を行えるように各筋を 3 分 20 秒ずつとした。刺激の周波数は 30 Hz で、3 秒刺激、6 秒休息を繰り返した。刺激強度は、装置の最大出力（プローブ表面直下で 1.47 Tesla）の 60% とした。介入期間は 1 か月とし、週 3 回、計 12 回施行した。なお、rPMS による介入の期間は、1 回 20 分間、週 3 回の通常の訓練は行わなかった。

3. 膝関節伸筋の最大随意収縮力の測定

rPMS の介入 1 か月前、介入開始直前、1 か月間の介入終了後の初回通所日、介入終了から 1 か月後の来所日に、両側の膝関節伸筋の最大随意収縮力（maximal voluntary contraction：以下、MVC）を測定した。 μ -Tas[®]（アニマ社製）を用いて、膝関節伸筋トルクを等尺性に測定した。被験者は椅子上で端坐位とし、膝窩部の圧迫による疼痛を回避するため、膝窩部に折り畳んだタオルを入れ、センサーパッドを下腿遠位部に当て、固定用ベルトでベッドの支柱と連結した。固定用ベルトは、膝関節を伸展しようとした際に膝関節屈曲 90° を維持できる長さとした。測定中、両上肢を体幹前方で組ませ、体幹は極力垂直位を保つよう指示した。

被験者には 3 秒間の最大収縮を命じ、その際の筋力を測定した。なお、MVC の測定は 2 回行った。MVC の各測定間には、5 秒以上の休息をとった。測定値 (N) に膝裂隙からセンサーパッド中央までの距離を乗じてトルク (Nm) を算出し、2 回の平均値を求めた。

4. 磁気刺激によって誘発される筋トルクの測定方法

rPMS の介入開始直前と 1 か月間の介入終了後の初回通所日に、rPMS によって誘発される膝関節伸筋トルク（以下、rPMS 誘発トルク）を測定した。測定には、 μ -Tas F-1[®]を用いた。先行研究に基づいて、rPMS 誘発トルクの測定を行う筋として、両側の VL を選択した [14-17, 21]。測定時の被験者の姿勢や肢位は MVC 測定の場合と同様で、膝関節屈曲 90° を維持した。

まず、rPMS を用いて VL の中で最も強い筋収縮を誘発できる刺激点を探索した。探索する領域は、上前腸骨棘と膝蓋骨外側上縁を結ぶ線の近位 1/3 と遠位 1/3 の間であった [14]。磁気刺激装置の 60% の強度で 5 回程度の刺激を与え、最も強い筋収縮を誘発できる最適刺激点を特定した。

rPMS 誘発トルクを測定する際には、コイルを内蔵したプローブの中央部が最適刺激点と一致し、プローブの長軸が大腿部の長軸と平行になるように十分な配慮をした。磁気刺激の周波数は 30 Hz で、刺激時間は 3 秒間とした [22]。刺激強度は本装置の最大出力（1.47 Tesla）とした。被験者には、rPMS 時に大腿四頭筋の随意筋収縮を起こさないように、できるだけ全身をリラックスさせるよう指示した。筋トルクの測定は 2 回行い、平均値を算出した。各測定間には、5 秒

間の休息をとった。

5. 磁気刺激時の痛みの測定

rPMS の介入開始直前と介入終了日に、痛みの程度を visual analogue scale（以下、VAS）を用いて評価した。刺激装置の最大出力（1.47 Tesla）の 60% の強度にて刺激した際の痛みを評価した。被験者には、100 mm の直線に×印をつけるよう指示した。線の左端は「0 mm＝痛みがない」、右端は「100 mm＝痛みが極度で耐えられない」であった。VAS は小数点第 1 位までの表示とした。

6. その他の評価

以下の 5 つの評価を、rPMS の介入開始直前と介入終了後の初回通所日に行った。

1) Timed Up and Go Test (TUG)：椅子座位から起立し、3 m 先にあるコーンを回り、椅子に着座するという一連の動作をできる限り素早く行わせ、その所要時間を測定した。測定開始時点は、背もたれから背部が離れた瞬間とした。測定は 2 回行い、平均値を小数点第 1 位まで採用した。椅子は肘掛け付きのものを使用した。

2) 30 秒椅子立ち上がりテスト（chair stand test：以下、CS-30）：高さ 40 cm の椅子に両脚を肩幅程度に広げて座り、体幹前方で腕を組ませた姿勢を開始姿勢とした。起立し着座するまでの一連の動作をできる限り早く繰り返し行わせ、30 秒間の実施回数を測定した。なお、動作途中で 30 秒に達した場合には、測定値としてカウントした。測定は 1 回のみとした。

3) 快適 5 m 歩行時間：杖や歩行器を使用せずに、平地 11 m を見守りで歩行させ、最初と最後を除く 5 m を測定区間として、その所要時間を測定した。測定は 2 回行い、その平均値の小数点第 1 位まで採用した。

4) functional reach test（以下、FRT）：閉脚立位で肩関節 90° 屈曲位、肘関節及び手指を伸展させたときの、第 3 指の先端を開始点にした。合図に従って壁に沿って最大前方リーチを行い、最大点に到達した点の壁にテープを貼って記録した。開始点から最大点までの距離を 2 回測定し、平均値を小数点第 1 位まで採用した。

5) 大腿周径の計測：膝蓋骨直上、直上より 5 cm、10 cm、15 cm 上部の 4 つの部位にて、メジャーを用いて行った。計測は 2 回ずつ 0.5 cm 単位で行った。代表値として、膝蓋骨直上から 15 cm 上部の大腿周径の平均値を解析に採用した。

7. 統計学的解析

rPMS が筋力に及ぼす影響を調べるため、介入 1 か月前と介入開始直前、介入終了後、介入終了 1 か月後における MVC の平均値を比較した。多重比較には Friedman 検定を用い、post-hoc 検定として Bonferroni 補正を行った。rPMS 誘発トルクおよび VAS による疼痛評価、TUG、CS-30、快適 5 m 歩行時間、FRT、膝蓋骨直上から 15 cm 上部の大腿周径に関しては、介入開始直前と介入終了後の比較を行い、Wilcoxon の符号順位検定を用いた。統計解析は、SPSS ver. 22.0 (IBM Co. Ltd., Armonk, New York, United States) を用いて行い、有意水準は 0.05 とした。

結果

対象者に対する介入研究を開始してから、辞退する者はいなかった。1か月間の介入終了後に全員が rPMS の継続を希望したが、介入終了後1か月間は機能訓練のみを行うことのできた。

rPMS 誘発トルクや快適 5 m 歩行時間、TUG に関しては正規分布であり、VAS や CS-30、FRT、膝蓋骨直上から 15 cm 上部の大腿周径は非正規分布であった。

1. 最大随意収縮力の変化

MVC は、両下肢ともに介入開始直前（右/左：59.9±17.2 Nm/64.5±21.0 Nm）よりも介入終了後（72.4±23.5 Nm/72.9±23.0 Nm）で有意に増加した。介入1か月前（59.4±17.2 Nm/61.0±24.1 Nm）と介入開始直前との間ならびに、介入終了後と介入終了1か月後（68.7±21.9 Nm/72.6±22.7 Nm）との間、すなわち通常通りの機能訓練を行っていた期間には、MVC に変化は認められなかった（図3）。

2. 磁気刺激によって誘発される膝関節伸展筋トルクならびに疼痛の変化

介入終了後の rPMS 誘発トルク（12.3±4.9 Nm/12.3±4.7 Nm）は、介入開始直前（10.0±4.7 Nm/10.6±4.6 Nm）よりも有意に高値を示した（ $p<0.05$ ）（図4）。

また、VAS は、介入直前には 8.0±13.9 mm であったが、介入終了後にはすべての被験者で 0 mm となった（ $p=0.07$ ）（図5）。

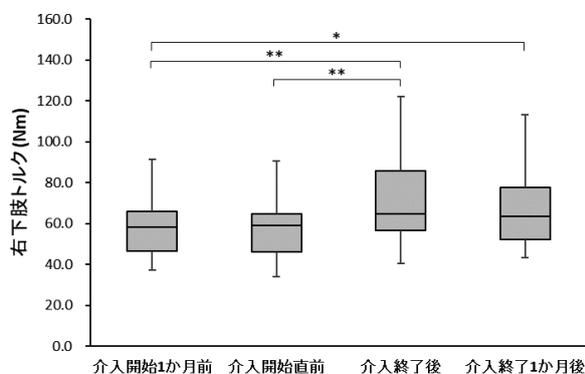


図3. 最大随意収縮力の変化

Friedman 検定

*: $p<0.05$

** : $p<0.01$

3. TUG, CS-30, 快適 5 m 歩行時間, FRT, 大腿周径の介入前後の比較

TUG は、介入開始直前（16.0±5.5 秒）よりも介入終了後（12.1±5.1 秒）に有意に短縮し（ $p<0.01$ ）した。CS-30 も、介入開始直前（9.5±4.5 回）よりも介入終了後（12.8±4.4 回）に有意に増加した（ $p<0.01$ ）。しかし、快適 5 m 歩行時間と FRT、膝蓋骨直上から 15 cm 上部の大腿周径では、有意な変化が認められなかった（図6）。

考察

本研究では、高齢者の大腿四頭筋に rPMS を行った結果、膝関節伸展筋力が増強され、一部の運動能力が向上することが明らかとなり、先行研究を支持する結果であった [16-19]。Yang ら [19] は、刺激時間が長く、刺激周波数が高いほど筋力が効果的に増強されると報告している。本研究では、週3回、4週間の介入であり、Talent Pro[®] という刺激装置の特性上、周波数 10~20 Hz の先行研究よりも高い 30 Hz でも 1 回につき 20 分間の刺激を機器の発熱なく継続することが可能であった。よって、先行研究と同等の時間を高い周波数で刺激を行うことができたことが筋力増強につながったものと考えられる。rPMS を用いた介入によって MVC の増加が認められたとする Bustamante ら

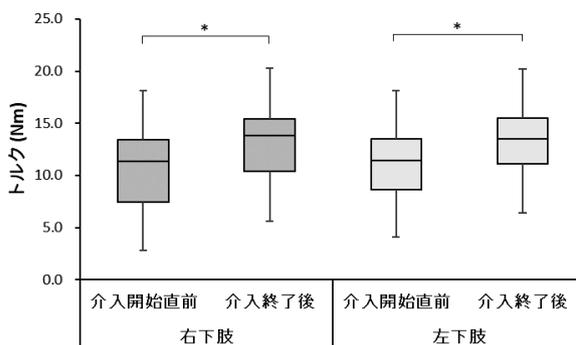


図4. 磁気刺激によって誘発される膝関節伸展筋トルクの介入前後の比較

Wilcoxon の符号順位検定

*: $p<0.05$

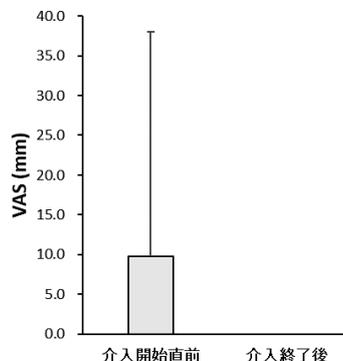


図5. 磁気刺激時における疼痛評価の介入前後の比較

Wilcoxon の符号順位検定

$p=0.07$

VAS: visual analog scale.

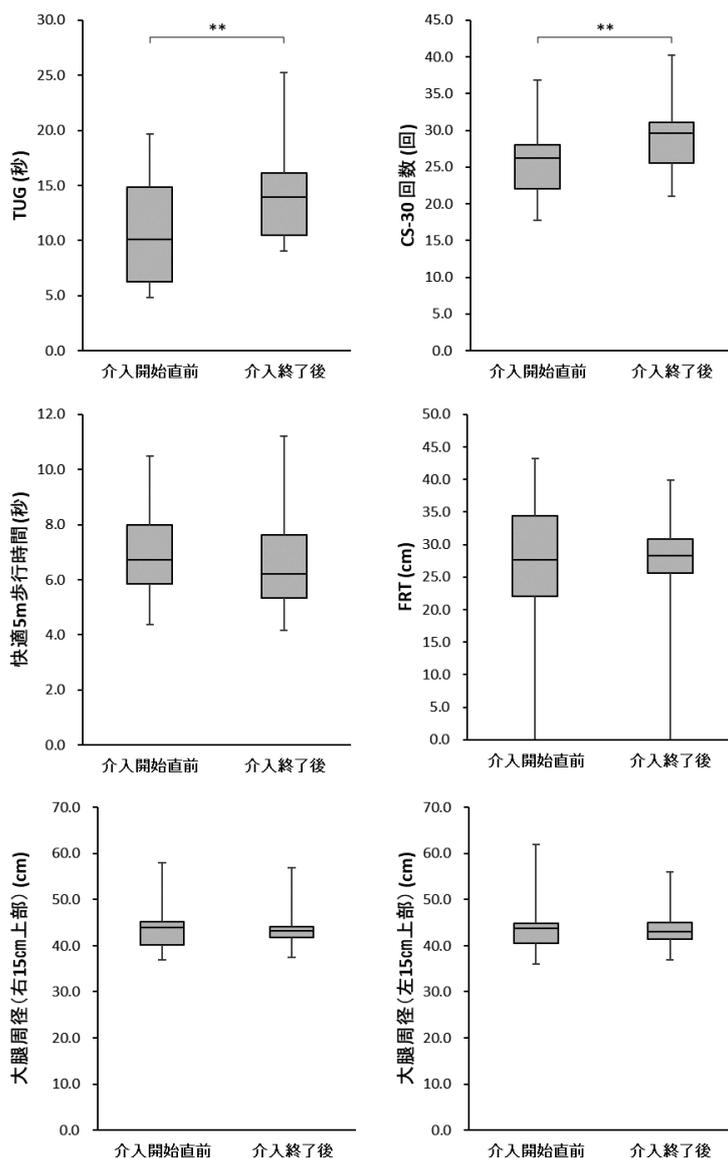


図 6. 各運動能力および大腿周径の介入前後の比較

Wilcoxon の符号順位検定

** : $p < 0.01$

TUG: Timed Up and Go Test.

CS-30: 30 秒椅子立ち上がりテスト.

FRT: functional reach test.

の報告では、慢性閉塞性肺疾患患者に対して 8 週間で 1 下肢当たり 108,000 発の刺激が与えられているが、周波数は 15 Hz で、刺激装置の最大出力 (2 Tesla) の 40% の強度であった [16]. また、活動電位や筋断面積の増加が認められたとする過去の報告では、2 週間から 8 週間の介入期間で合計 22,500 発から 108,000 発の刺激が与えられている [15, 17-19]. 本研究では両下肢に対して 4 週間で合計約 144,000 発 (30 Hz × 400 秒 × 週 3 回 × 4 週間) の刺激を行ったが、MVC が増加したとの先行研究の半分である 4 週間で同程度の刺激回数を行えた. そのため、効率的に筋力増強効果が得られたと考えられる.

加えて、筋力増強には誘発される筋収縮の強さも重要である. 筋力増強を目的する一般的な抵抗運動では、

発揮すべき強度としては、週 1~3 回、6~52 週間行った場合に、MVC の 40~85% が必要と報告されている [23]. 我々は若年健康成人を対象とする過去の研究において、今回使用した磁気刺激装置の 60% の強度によって、MVC の 40% 以上の収縮を行えることを報告した [21, 24]. 高齢者では、筋力増強が十分に得られる程度の強い抵抗運動を自発的に発揮するのは困難であることが少なくない. しかしながら、rPMS を用いることで、皮下脂肪が少ない被験者であれば、強い筋収縮力が得られる可能性がある [21, 25]. 本研究では被験者が高齢者であったため、rPMS による筋収縮力の平均値は MVC の約 17% ではあったが、ある程度の筋収縮が誘発できたことが筋力増強効果につながった要因の一つであると考えられる.

rPMS による筋力増強は、神経系の適応、筋肉の組織化学的変化、および筋線維の肥大化の組み合わせによってもたらされると言われる [19]. rPMS は、刺激を受けた筋肉周辺の求心性感覚経路の活性化を通じて中枢神経系の再組織化を促進し、一次運動野の興奮性を高めることが推測されている [26-28]. さらに、筋内の運動ニューロンの軸索が rPMS によって刺激されて筋肉が収縮する際に、振動のような収縮と弛緩が繰り返され、I a, I b, II 型求心性神経線維が間接的に活性化されると言われている [29]. また、筋力増強に関して Gondin らは、神経系の適応は主に 4 週間で生じたのに対して、筋肉量の変化は 4 週間～8 週間で生じたと報告している [30]. そのため、本研究での介入期間が 4 週間であったこと、大腿周径が変化していなかったことから筋肉量の変化が少なかった可能性がある。MVC や CS-30 といった筋力に直結する指標の増加が生じたことは、神経系の適応によるものであると考えられる。

一方、今回の研究では、rPMS 誘発トルクも介入によって増大している。大腿周計が変化していないため、初回の磁気刺激では強い筋トルクが誘発されなくても、徐々に末梢神経の興奮性が増加していくという現象と解釈される。末梢神経は不動によって軸索の興奮性が低下することや [31]、前角細胞の興奮性が抑制されることが知られている [32]. また、高齢者では運動神経の不応期が延長することや [33]、神経筋接合部の制御不全を生じることが報告されている [34]. 磁気刺激によって短期間で興奮性が増加することは、形態学的変化よりも機能的な変化が生じたと推察される。末梢神経の不応期が短縮して単収縮の融合が生じ易くなったことや、前角細胞の興奮抑制が抑制されたこと、神経筋接合部の変化が生じたことなどが推測されるが、その機序の解明には今後の詳細な研究が必要である。

本研究では、4 週間の rPMS 後に、TUG は有意に短縮した。運動能力の評価のうち、TUG は一般的に動的バランス機能の指標と言われている [35]. 一方、高齢者の立位バランスを保持するためには、両下肢の十分な筋力が重要であるとされている。大腿四頭筋に rPMS を行った結果、タンデム立位時間が改善した [17] と報告されていることから判断しても、本研究で生じた両下肢の筋力増強が TUG というバランス機能の向上につながったものと考えられる。以上のことから、rPMS によって生活期にある高齢者の下肢の筋力増強や運動能力の向上が図れることが明らかとなった。

この研究にはいくつかの限界がある。まず、被験者の数が少なかったこと、研究期間が短かったこと、複数名の ABA デザインを採用したことなどが挙げられる。そのため、筋力の増強は認められたが、大腿周径が変化するまでには到らず、説得力も不足している。また、高度肥満を理由として対象から除外した者は今回はいなかったが、高度肥満の場合には rPMS によって十分な筋収縮が得られないことも限界のひとつとして挙げられる。さらに、今後は、被験者数を増やし、介入期間を長くすること、ランダム化比較試験を採用することが求められる。本研究では、回復期リハビリテーション病棟で行われるような機能訓練や健常者が

行う一般的なトレーニングと比較しているわけではなかった。また、利用者の満足度や QOL を客観的に評価することはなかった。これらの観点は、rPMS の更なる有用性を確認するためには、重要な課題である。

結論

本研究では、高齢者の大腿四頭筋に対して 4 週間の rPMS を行い、MVC や rPMS 誘発トルク、TUG や CS-30 などの運動能力に与える影響を評価した。その結果、少ない疼痛で rPMS を全員に遂行することができ、下肢筋力や運動能力が向上した。rPMS は、痛みが少なく、かつ簡便に筋力を増強させる手段であるため、今後は広く普及されることが望まれる。

謝辞

本研究の実施に際し、機能評価にご援助を頂いたデイサービスかがやきの職員に感謝いたします。

文献

1. The Ministry of Health, Labor and Welfare: Statistical information/white paper. Various statistical surveys. Health, Labor and Welfare Statistics List. Life table (processed statistics). Summary of results. Overview of the simplified life table for 2021. 1 Life expectancy for major ages. Available from: <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life21/dl/life21-02.pdf> (cited 2003 July 6)
2. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50: 889-96.
3. Delmonico MJ, Harris TB, Visser M, Park SW, Conroy MB, Velasquez-Mieyer P, et al. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr* 2009; 90: 1579-85.
4. de Rekeneire N, Visser M, Peila R, Nevitt MC, Cauley JA, Tylavsky FA. Is a fall just a fall: correlates of falling in healthy older persons. *The Health, Aging and Body Composition Study. J Am Geriatr Soc* 2003; 51: 841-6.
5. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, Morrow JR Jr, Jackson AW, Sjörström M, et al. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ* 2008; 337: 92-5.
6. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev* 2010; 9: 226-37.
7. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 249-58.
8. Han TR, Shin HI, Kim IS. Magnetic stimulation of the quadriceps femoris muscle: comparison of pain with electrical stimulation. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; 85: 593-9.
9. Amassian VE, Maccabee PJ, Cracco RQ. Focal stimulation of human peripheral nerve with the magnetic coil: a comparison with electrical stimulation. *Exp Neurol* 1989;

- 103: 282–9.
10. Ito T, Tsubahara A, Watanabe S. Use of electrical or magnetic stimulation for generating hip flexion torque. *Am J Phys Med Rehabil* 2013; 92: 755–61.
 11. Barker AT. An introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol* 1991; 8: 26–37.
 12. Braid V, Barber M, Mitchell SL, Martin BJ, Granat M, Stott DJ. Randomised controlled trial of electrical stimulation of the quadriceps after proximal femoral fracture. *Aging Clin Exp Res* 2008; 20: 62–6.
 13. Kamiue M, Ito T, Tsubahara A, Kishimoto T. Development of high-frequency magnetic stimulator to induce stronger knee extension torque. *Kawasaki J Med Welf* 2022; 28: 29–38. DOI: 10.15112/00014965. [https://i.kawasaki-m.ac.jp/mwsoc/journal/en/2022-e28-1/P29-38_KAMIUE.pdf]
 14. Tsubahara A, Kamiue M, Ito T, Kishimoto T, Kurozumi C. Measurement of maximal muscle contraction force induced by high-frequency magnetic stimulation: a preliminary study on the identification of the optimal stimulation site. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2021; 12: 27–31. DOI: org/10.11336/jjcrs.12.27. [http://square.umin.ac.jp/jjcrs/2021_27-31e.pdf]
 15. Bustamante V, Casanova J, López de Santamaría E, Mas S, Sellarés J, Gea J, et al. Redox balance following magnetic stimulation training in the quadriceps of patients with severe COPD. *Free Radic Res* 2008; 42: 939–48.
 16. Bustamante V, López de Santa María E, Gorostiza A, Jiménez U, Gáldiz JB. Muscle training with repetitive magnetic stimulation of the quadriceps in severe COPD patients. *Respir Med* 2010; 104: 237–45.
 17. Baek J, Park N, Lee B, Jee S, Yang S, Kang S. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation over vastus lateralis in patients after hip replacement surgery. *Ann Rehabil Med* 2018; 42: 67–75.
 18. Kinoshita S, Ikeda K, Hama M, Suzuki S, Abo M. Repetitive peripheral magnetic stimulation combined with intensive physical therapy for gait disturbance after hemorrhagic stroke: an open-label case series. *Int J Rehabil Res* 2020; 43: 235–9.
 19. Yang SS, Jee S, Hwang SL, Sohn MK. Strengthening of quadriceps by neuromuscular magnetic stimulation in healthy subjects. *PM&R* 2017; 9: 767–73.
 20. Suzuki K, Ito T, Okada Y, Hiraoka T, Hanayama K, Tsubahara A. Preventive effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on muscle atrophy in the paretic lower limb of acute stroke patients: a pilot study. *Prog Rehabil Med* 2020; 5: 20200008. DOI: 10.2490/prm.20200008. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/prm/5/0/5_20200008/_pdf/-char/en]
 21. Kamiue M, Ito T, Tsubahara A, Kishimoto T. Factors involved in higher knee extension torque induced by repetitive peripheral magnetic stimulation. *Am J Phys Med Rehabil* 2023; 102: in press.
 22. Kremenec IJ, Ben-Avi SS, Leonhardt D, McHugh MP. Transcutaneous magnetic stimulation of the quadriceps via the femoral nerve. *Muscle Nerve* 2004; 30: 379–81.
 23. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev* 2010; 9: 226–37.
 24. Toumi H, Best TM, Mazor M, Coursier R, Pinti A, Lespessailles E. Association between individual quadriceps muscle volume/entheses and patello femoral joint cartilage morphology. *Arthritis Res Ther* 2014; 16: R1. DOI: 10.1186/ar4426.
 25. Tomazin K, Verges S, Decorte N, Oulerich A, Maffiuletti NA, Millet GY. Fat tissue alters quadriceps response to femoral nerve magnetic stimulation. *Clin Neurophysiol* 2011; 122: 842–7.
 26. Struppler A, Havel P, Müller-Barna P. Facilitation of skilled finger movements by repetitive peripheral magnetic stimulation (RPMS)- a new approach in central paresis. *NeuroRehabilitation* 2003; 18: 69–82.
 27. Nielsen JF, Sinkjaer T. Long-lasting depression of soleus motoneurons excitability following repetitive magnetic stimuli of the spinal cord in multiple sclerosis patients. *Mult Scler* 1997; 3: 18–30.
 28. Zhu Y, Starr A, Haldeman S, Fu H, Liu J, Wu P. Magnetic stimulation of muscle evokes cerebral potentials by direct activation of nerve afferents: a study during muscle paralysis. *Muscle Nerve* 1996; 19: 1570–5.
 29. Gallasch E, Christova M, Kunz A, Rafolt D, Golaszewski S. Modulation of sensorimotor cortex by repetitive peripheral magnetic stimulation. *Front Hum Neurosci* 2015; 9: 407. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00407.
 30. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A. Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 1291–9.
 31. Banzrai C, Nodera H, Kawarai T, Higashi S, Okada R, Mori A, et al. Impaired axonal Na (+) current by hindlimb unloading: implication for disuse neuromuscular atrophy. *Front Physiol* 2016; 7: 36. DOI: 10.3389/fphys.2016.00036.
 32. Taniguchi S, Kimura J, Yanagisawa T, Okada F, Yamada T, Taniguchi S, et al. Rest-induced suppression of anterior horn cell excitability as measured by F waves: comparison between volitionally inactivated and control muscles. *Muscle Nerve* 2008; 37: 343–9.
 33. Delbeke J, Kopec J, McComas AJ. Effects of age, temperature, and disease on the refractoriness of human nerve and muscle. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1978; 41: 65–71.
 34. Dobrowolny G, Barbiera A, Sica G, Scicchitano BM. Age-related alterations at neuromuscular junction: role of oxidative stress and epigenetic modifications. *Cells* 2021; 10: 1307. DOI: 10.3390/cells10061307.
 35. Picardi M, Redaelli V, Antoniotti P, Pintavalle G, Aristidou E, Sterpi I, et al. Turning and sit-to-walk measures from the instrumented Timed Up and Go test return valid and responsive measures of dynamic balance in Parkinson's disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2020; 80: 105177. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2020.105177.