

Case Report

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）によって著明な下肢筋力低下を生じた症例に対する反復末梢性磁気刺激の有用性

紙上真徳,¹ 椿原彰夫,² 伊藤智崇²¹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

要旨

Kamiue M, Tsubahara A, Ito T. Effects of repetitive peripheral magnetic stimulation on a patient with severe lower limb muscle weakness due to coronavirus disease-2019. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2024; 15: 27-33.

【はじめに】重症な新型コロナウイルス感染症（COVID-19）によって、集中治療室（Intensive Care Unit: ICU）にて人工呼吸器管理を受けた後に、著明な下肢筋力低下と歩行困難を来した症例に、下肢筋力増強を目的として反復末梢性磁気刺激（rPMS）を施行した。

【症例】70歳代の男性。COVID-19による呼吸困難で、人工呼吸器管理となった。54日後に人工呼吸器を離脱し、225日後に気管切開部を閉鎖したが、著明な下肢筋力低下が残存し、車椅子生活となった。デイサービスにて約6か月間の機能訓練が行われたが、身体機能や動作能力の変化は認められなかった。そこで、両側大腿四頭筋に対して30 HzのrPMSを1日当たり20分間、週3回、計12回（4週間）施行した。rPMS終了後の最大随意収縮時の膝関節伸展トルクは（右42.1 Nm, 左40.7 Nm）、施行前（右33.7 Nm, 左36.2 Nm）よりも増大した。rPMS施行前にはrPMS誘発による膝関節伸展筋トルク（rPMS誘発トルク）は両側0 Nmで、30秒椅子立ち上がりテスト（CS-30）は実施困難、機能的自立度評価法（FIM）の歩行項目は2点（耐久性30 m）であったが、rPMS終了後のrPMS誘発トルクは右6.5 Nm, 左4.7 Nm, CS-30は1回実施可能、FIMの歩行項目は6点（耐久性60 m）となった。

【結論】本症例はCOVID-19後のICU関連筋力低下と考えられるが、rPMSの利用が筋力増強に繋がった

ものと推測される。

キーワード：反復末梢性磁気刺激、骨格筋、末梢神経、筋力増強、新型コロナウイルス感染症 2019

はじめに

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）によって集中治療室（Intensive Care Unit: ICU）で人工呼吸器管理を受けた後に生じる重度の筋力低下は、ICU関連筋力低下（ICU acquired weakness: ICU-AW）といわれている [1]。また、近年の研究では、COVID-19の病態生理学的な調査がなされ、サイトカインストームやC反応性タンパク質、炎症誘発性分子が筋力低下のメカニズムの一部と考えられている [2, 3]。これらの要因は、内皮損傷とミトコンドリアのオートファジーを誘発し、筋原線維の破壊に繋がる可能性が示唆されている [4]。下肢では、その結果として筋萎縮や筋力低下を引き起こし、持続的な機能障害を生じさせる [5]。これらの症状は転倒リスクを増大し、日常生活の自立を妨げ、生活の質を低下させることに繋がる [6, 7]。したがって、COVID-19後の患者には、筋力を増強させるための特別な手段を講じる必要がある。

抵抗運動は筋力低下に対して有効な手段であるが、筋力が極度に低下した場合には、選択できる抵抗運動の種類は少ない。特に、自重を使用した下肢の筋力増強運動が行えないことも多い。また、抵抗運動は本人が積極的に行う必要があり、その動機付けにも依存している。そこで、動機付けが低くても行える筋力増強の手段が求められる。急性期や回復期病院を退院した後の機能訓練には時間的な制限が設けられており、自立に至らなかった症例には、医療では十分な筋力増強運動の機会が与えたいという現状がある。

近年、反復末梢性磁気刺激（repetitive peripheral magnetic stimulation: rPMS）が臨床場面でも広まってきたおり、下肢の筋力増強にも有効と報告されている [8-11]。また、筋力だけでなく、歩行耐久性 [8] や歩行速度、運動能力 [10, 11] も向上させるという報告もある。今回、長期間のICUでの治療後に著明な筋力低下が残存したため歩行能力が低下し、車椅子での生活を余儀なくされたCOVID-19の症例を経験した。下肢筋力および起立・歩行能力、運動能力の改善を目的として、rPMSをデイサービスセンターで

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3月25日受理

利益相反：本学は、オージー技研株式会社と共同研究契約を締結しております。また、同社より研究機器の借用および研究費の提供を受けていることを公表します。

施行し、良好な結果が得られたので報告する。

症例紹介

患者: 70 歳代, 男性

診断名: COVID-19

患者背景: 退職後で, 併存疾患に高血圧, 腎不全を有したが, 病前は車を運転し, 家族で旅行に行く, パチンコに通うなどが可能であった。

主訴: 歩行の改善。

現病歴: 2022 年 X 月 Y 日に COVID-19 に罹患後, 自宅療養をしていたが, 翌日には呼吸困難が出現し A 病院の ICU に緊急入院した。肺炎の所見があり, 厚生労働省が発表している COVID-19 の重症度分類は重症で, 人工呼吸器が装着された。また, 併存症として慢性閉塞性肺疾患に罹患していると指摘された。X + 54 日に人工呼吸器を離脱し, X + 225 日に気管切開部の縫合が可能となり, 回復期リハビリテーション病棟に転院することなく, 自宅に退院した。重度の下肢筋力低下のため車椅子生活を余儀なくされ, 廃用症候群の併発と指摘された。介護保険制度では要介護度 3 と認定され, X + 239 日にデイサービスの利用が開始され, 週 3 回, 1 回 20 分の機能訓練が組まれた。しかし, 約 6 か月間を経過しても身体機能や動作能力には改善が認められなかった。

理学的所見 (デイサービスセンター利用時): 1) 徒手筋力テスト: 両股関節屈曲 3, 両股関節伸張 2, 両膝関節伸張 2, 両膝関節屈曲 2, 両足関節背屈 4, 両足関節底屈 3, 両上肢はすべて 5。2) 感覚機能: 表在覚, 深部覚ともに正常。3) 反射: 上肢は正常, 下肢は両側膝蓋腱反射, 両側アキレス腱反射ともに減弱。4) 病的反射: ホフマン反射, トレムナー反射, バビンスキー反射, チャドック反射ともに陰性。5) 関節可動域: 正常。6) ADL: 自宅やデイサービス内は車椅子使用で, 屋外移動は要介助であった。7) 機能的自立度評価法 (functional independence measure: FIM): 99 点 (運動項目 64 点, 認知項目 35 点) であり, 「歩行」は 2 点であった。

検査: 医療施設ではなく, 電気生理学的検査 (神経伝導検査, 針筋電図) は行えなかった。

rPMS の施行方法と治療計画

本症例は末梢神経障害が疑われたが, COVID-19 発症後十分な期間を経過し, 慢性期にあるとの判断で, rPMS による筋力強化を計画した。症例には rPMS の目的と内容, 安全性, 学術発表について口頭, および文書で詳細に説明した。rPMS の施行は自由意思とし, 利用者が内容を理解したことを確認した上で, インフォームドコンセントを取得した。

rPMS による筋力強化の計画がデイサービス利用開始から約 6 か月経過した後であったため, その時点から rPMS の施行開始前 4 週間の期間を対照期間とした。施行開始前 4 週間は, 1 日 20 分間の通常の機能訓練 (臥位での関節可動域運動, 除重力位での筋力増強運動) を行い, rPMS はその後 4 週間施行した。rPMS の施行中は, 通常の機能訓練は行わなかった。利用者自身による自主練習は禁止しなかった。また,

rPMS の施行終了後も 4 週間は通常の機能訓練を行うこととした。施行終了後の通常の機能訓練は, 機能や動作能力に合わせて起立訓練や歩行訓練を追加した。なお, rPMS の施行開始日と施行終了後の初回通所日に, 機能評価を行うこととした。最大随意収縮力 (maximal voluntary contraction: MVC) は, 施行開始 4 週前と施行終了 4 週間後にも測定を行った。

rPMS に用いた刺激装置は, 油冷式の Talent Pro[®] (ReMed 社製, 韓国, オージー技研株式会社販売, 岡山) で, 大型の円形コイル (半径 7.8 cm) で刺激した。刺激部位は両側大腿四頭筋とし, 外側広筋 (vastus lateralis: VL), 大腿直筋 (rectus femoris: RF), 内側広筋 (vastus medialis: VM) の各筋について, 安定した筋収縮を誘発できる最適刺激点を探索した後に刺激を行った [12, 13]。VL は上前腸骨棘と膝蓋骨底外側端を結んだ線の近位 1/3 と遠位 1/3 の間, RF は膝蓋骨中央部と上前腸骨棘を結んだ直線上の中央, VM は筋腹中央付近を刺激した。刺激時間は計 20 分間で, 各筋の刺激時間が均等となるよう, 3 分 20 秒ずつとした。周波数は 30 Hz で, 3 秒刺激, 6 秒休息を繰り返した。刺激強度は過去の報告に基づいて, 装置の最大出力 (1.47 Tesla) の 80% としたが [14], 痛みは耐えられる範囲であった。通所回数は週 3 回で, 施行期間は 4 週間 (計 12 回) と設定した。なお, Talent pro[®] を筋力増強の目的で高齢者に使用することに関しては, 川崎医療福祉大学倫理委員会の許可を予め得ている (承認番号: 21-088)。

機能評価

1. 最大随意収縮時の膝関節伸展筋トルクの測定

ハンドヘルドダイナモメーター (μ -Tas F-1[®], アニマ社製, 東京) を用いて, MVC 時に両側の膝関節伸展筋トルク (knee extensor torque: KET) を椅子座位で測定した。膝窩部に折り畳んだタオルを入れた状態で, センサーパッドは面ファスナーにて下腿遠位部に装着した。膝関節伸展筋が等尺性に収縮できるよう, 固定用ベルトでベッドの支柱とセンサーパッドとを連結した。固定用ベルトの長さは, 膝関節を伸展した際に膝関節角度 90° を維持できるよう調節した。KET は 3 秒間の MVC 時に測定した。5 秒間の休息をとって 2 回測定し, 平均値を求めた。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, トルク値 (Nm) を算出した。

2. 磁気刺激によって誘発される筋トルクの測定

rPMS 誘発による KET (rPMS 誘発トルク) も, μ -Tas F-1[®] を用いて測定した。測定時の姿勢や肢位は, 最大随意収縮時の膝関節伸展筋トルクの測定と同様とした。rPMS 誘発トルクの測定筋として, 両側の VL を選択した [8, 10, 13, 14]。最大収縮を誘発する最適刺激点は, 刺激装置の 60% の強度を用いて, 上前腸骨棘と膝蓋骨底外側端を結んだ線の近位 1/3 と遠位 1/3 の間で約 5 回探索して特定した [12, 13]。

rPMS 誘発トルク測定の際には, 大腿四頭筋の随意筋収縮を起こさないよう, できるだけ全身をリラックスすることを指示した。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十分な配慮を行った。刺激の周波数は 30 Hz、刺激強度は機器の最大出力、刺激時間は 3 秒間とした [11-14]。測定は、5 秒間の休息をとって 2 回行った。

3. 磁気刺激時の痛みの評価

rPMS の施行開始日と施行終了日に、rPMS 中の痛みの程度について visual analogue scale (VAS) を用いて自己評価した。本症例には、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。

4. 肺機能検査

換気機能は、電子スパイロメーター (HI-801, チェスト株式会社製, 東京) を用いて測定した。測定の際には、呼吸筋力センサーに鼻腔通気度センサーを装着し、呼気や吸気が測定器の隙間から漏れないようにした。測定項目は肺活量と努力性肺活量、1 秒量とした。1 秒率については、1 秒量を努力性肺活量で除して算出した。なお、測定は 2 回行い、最大値を採用した。

5. その他の機能評価

過去の報告に準じて、以下の機能評価を行った。

- 1) Timed Up and Go Test (TUG)
- 2) 30 秒椅子立ち上がりテスト (30-second chair stand test: CS-30)

- 3) 快適 5 m 歩行時間
- 4) 歩行可能距離: サークル型歩行器を用いて行い、本人がこれ以上歩行できないと訴えるまでの距離を測定した。
- 5) Functional Reach Test (FRT)
- 6) 大腿周径の計測: 膝蓋骨直上, 直上より 5 cm 上部, 10 cm 上部, 15 cm 上部の 4 か所
- 7) FIM: FIM の歩行項目を評価した。

結果

MVC 時のトルクの結果を図 1 に示す。rPMS の施行開始 4 週前と施行直前との間で、MVC 時のトルクに変化はなかった。rPMS の施行直前の MVC 時のトルクの平均値は右 33.7 Nm, 左 36.2 Nm であったが、施行終了後は右 42.1 Nm, 左 40.7 Nm と増大した。MVC 時のトルクが増大は施行終了後も続き、4 週間後の平均値は右 43.9 Nm, 左 47.1 Nm となった。徒手筋力テストでは、両膝関節伸展 4 となった。

rPMS 誘発トルクは、rPMS の施行直前には両側とも 0 Nm であったが、rPMS の施行終了後は右 6.5 Nm, 左 4.7 Nm と増大した。しかし、大腿周径は、膝蓋骨直上, 5 cm 上部, 10 cm 上部, 15 cm 上部のすべてにおいて、明らかな変化は認めなかった (表 1)。

rPMS の施行直前には、VAS 値は 70 mm, TUG は 25.4 秒, CS-30 は実施困難, 5 m 快適歩行時間は 8.6 秒, 歩行耐久性は 30 m であった。10 m までは歩行

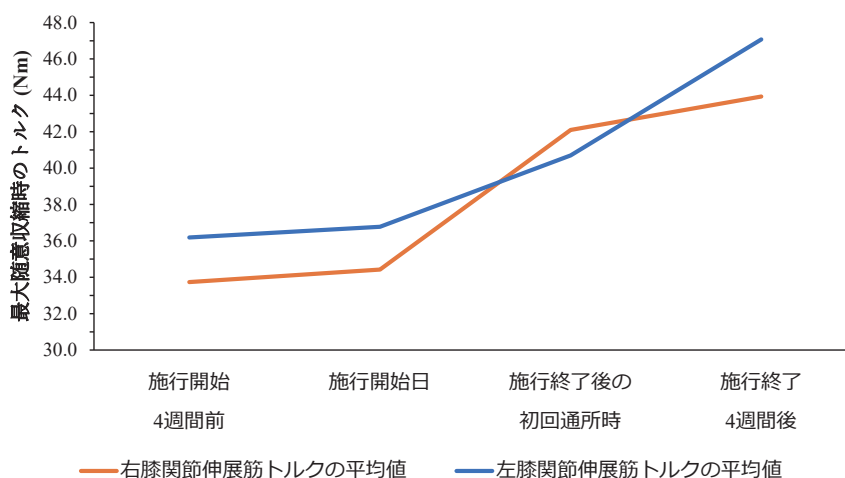


図 1. 最大随意収縮時のトルクの変化

表 1. 反復末梢性磁気刺激時の誘発トルクと大腿周径

| | 右 | | 左 | | |
|-----------------|---------------|-------|------|-------|------|
| | 施行直前 | 施行終了後 | 施行直前 | 施行終了後 | |
| rPMS 誘発トルク (Nm) | 0 | 6.5 | 0 | 4.7 | |
| 大腿周径 | 膝蓋骨直上 (cm) | 39.0 | 39.0 | 39.5 | 39.0 |
| | 5 cm 上部 (cm) | 40.0 | 40.0 | 40.0 | 40.0 |
| | 10 cm 上部 (cm) | 41.0 | 41.0 | 41.5 | 41.0 |
| | 15 cm 上部 (cm) | 43.5 | 43.5 | 45.5 | 45.5 |

rPMS: repetitive peripheral magnetic stimulation.

表 2. 反復末梢性磁気刺激の施行前後の機能の比較

| | 施行直前 | 施行終了後 | |
|--------------------|----------------|-------|-------|
| rPMS 時の VAS 値 (mm) | 70 | 14 | |
| 換気機能検査 | VC (ℓ) | 2.17 | 1.89 |
| | FVC (ℓ) | 1.87 | 1.84 |
| | FEV1 (ℓ) | 1.53 | 1.37 |
| | FEV1.0 % (%) | 81.82 | 74.46 |
| 歩行 | TUG (秒) | 25.4 | 19.7 |
| | CS-30 (回) | 0 | 1 |
| 歩行 | 5 m 快適歩行時間 (s) | 8.6 | 6.9 |
| | 歩行可能距離 (m) | 30 | 60 |
| | FRT (cm) | 25.5 | 27.2 |

rPMS, repetitive peripheral magnetic stimulation; VAS, visual analogue scale; VC, vital capacity; FVC, forced vital capacity; FEV1, forced expiratory volume in one second; FEV1.0 %, FEV1/FVC ratio; CS-30, chair stand test; TUG, Timed Up and Go Test; FRT, Functional Reach Test.

器を使用して自立であったが、それ以上は軽介助を要し、30 m 以上は歩行できなかったため、FIM 歩行項目は 2 点と判定した。rPMS の施行終了後は、VAS 値は 14 mm に低下、TUG は 19.7 秒と短縮、CS-30 は 1 回実施可能となり、5 m 快適歩行時間は 6.9 秒まで向上、歩行耐久性は 60 m まで伸びた。FIM 歩行項目は、歩行器を使用して 50 m 以上の自立歩行が可能となったため、6 点と判定した。肺機能検査の値および FRT には、施行前後で大きな変化は認められなかった (FVC: 施行前 1.87 ℓ, 施行後 1.84 ℓ, FEV1.0: 施行前 1.53 ℓ, 施行後 1.37 ℓ) (表 2)。

考察

COVID-19 後に重度の後遺症を残存した症例に、長期間の通常の機能訓練では下肢筋力が改善されないことを確認したうえで、両側大腿四頭筋に rPMS を行った。その結果、MVC は明らかに増強し、下肢筋力の機能評価である CS-30 は改善し、TUG や 5 m 快適歩行時間、歩行可能距離などの運動能力や歩行能力も向上した。これらの結果は、他の疾患を対象とした rPMS の先行研究と同様の結果であり [8, 10, 11], rPMS の有用性を支持することとなった。

rPMS を用いた先行研究では、刺激時間が十分に長いことと刺激周波数が高いことが筋力増強に重要であると報告されている [9]。本症例に用いた Talent pro[®] は、周波数 30 Hz で 60 分以上刺激を継続しても機器が発熱することなく使用できた。本症例では週 3 回、計 4 週間のプログラムを遂行したが、両下肢あたり、合計約 144,000 発 (30 Hz × 400 秒 × 週 3 回 × 4 週間) の刺激を行えたこととなる。下肢筋力の増強が得られたとする先行研究では、2 週間から 8 週間の介入期間で合計 22,500 発から 108,000 発の刺激が行われている [8-11]。対象疾患は異なるが、これまでの報告よりも多い刺激回数を行えたことで、有効な筋力増強に結びついたと考えられる。

本症例では大腿周径は変化しなかったが、MVC や

CS-30 といった下肢筋力に関連する項目に改善が認められた。COVID-19 による重度の筋力低下は、ICU-AW の一種であるといわれている [1]。今回、電気生理学的検査を行うことはできなかったため、末梢神経や筋の病変を確認することはできなかった。しかし、反射の減弱や著明な筋力低下から、ICU-AW の関与が疑われた。ただし、rPMS によって直接的に神経原性変化や筋原性変化が治療され得たとは考えがたい。ICU-AW による筋力低下が長期間続いた結果として併発する廃用性変化に対して、rPMS が効果を呈したと考えるのが自然である。廃用性変化に対する rPMS の筋力増強効果は、神経系の適応や、筋肉の組織化学的变化、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いわれている [9]。Gondin らは、神経系の適応は 4 週間で生じたのに対し、筋肉量の変化には 8 週間を要したと報告している [15]。本症例では rPMS の施行期間が 4 週間であったことから、筋肉量の変化は生じず、大腿周径に増大が生じなかったものと推測される。よって、4 週間で生じた本症例の変化は、神経系の適応と考えられる。MVC の増大は rPMS 終了後も継続していたが、これは自重を使用した筋力増強運動が可能にまで筋力が増強されたことに起因するものと推察される。rPMS によって一定の筋力まで加率的に増強されたことで、その後のより有効な抵抗運動が行えたと考えられる。介入終了後も MVC は増大したが、利用者の意欲向上も重要な要因となったと推測される。筋力や意欲が増えることで、自主練習を行えるようになり、さらなる筋力増強効果が得られたものと考えられる。

rPMS 誘発トルクに関しては、施行前の 0 Nm から、施行終了後は右下肢 6.5 Nm、左下肢 4.7 Nm と、十分な膝関節伸展運動を伴うまでに増大した。先行研究では、rPMS 誘発トルクは MVC に関連することが報告されている [14]。すなわち、筋力が弱い場合には rPMS によって強い筋トルクが誘発されがたい状態に陥っている可能性がある。rPMS 誘発トルク増加の要因が末梢神経にあるのか、神経筋接合部にあるのか、

筋自体にあるのかは定かではないが、大腿周径に変化がないことから、筋肉量と関係がある可能性は低い。rPMS 誘発トルクが4週間で増加したことから、機能的な変化が神経系に生じたと推察されるが、その機序の解明には今後の詳細な研究が必要である。

本症例では、バランス能力の指標とされる TUG や 5 m 快適歩行時間、歩行耐久性も改善した。先行研究では、大腿四頭筋に rPMS を行った結果、バランス能力が改善したと報告されている [10]。本症例で生じた TUG の改善は、両下肢の筋力増強が大きく影響したものと考えられる。歩行に関しては、必要となる部位に rPMS を行うことで、歩行速度が改善したとの報告がある [11]。また、COPD 患者を対象とした先行研究では、歩行耐久性の改善に最低限必要な筋トルクの増加量は 7.5 Nm と報告されている [16]。本症例では、右下肢の MVC 時のトルクが 8.4 Nm 増加したことから、歩行耐久性の向上に必要な筋力増強効果が得られた可能性があり、先行研究の結果を支持するものであった [8]。今後は、筋力増強運動に rPMS を併用することで、さらに運動能力の向上に寄与できるかどうかを調べるのが重要である。

結論

著明な下肢筋力低下と歩行困難を来した COVID-19 後の症例に対して、rPMS を利用する経験を得た。rPMS が効果的に作用し、大腿四頭筋の筋力増強に繋がった。また、歩行能力や運動能力の改善にも有効であった。rPMS は簡便に利用可能で、下肢筋力低下を認める患者に対して、起立や歩行の能力を改善する手段となる可能性がある。

文献

1. Yamada K, Kitai T, Iwata K, Nishihara H, Ito T, Yokoyama R, et al. Predictive factors and clinical impact of ICU-acquired weakness on functional disability in mechanically ventilated patients with COVID-19. *Heart Lung* 2023; 60: 139–45.
2. Ali AM, Kunugi H. Skeletal muscle damage in COVID-19: a call for action. *Medicina (Kaunas)* 2021; 57: 372. doi:10.3390/medicina57040372.
3. Disser NP, De Micheli AJ, Schonk MM, Konnaris MA, Piacentini AN, Edon DL, et al. Musculoskeletal consequences of COVID-19. *J Bone Joint Surg Am* 2020; 102: 1197–204.
4. Piotrowicz K, Gąsowski J, Michel J-P, Veronese N. Post-COVID-19 acute sarcopenia: physiopathology and management. *Aging Clin Exp Res* 2021; 33: 2887–98.
5. Heesakkers H, van der Hoeven JG, Corsten S, Janssen I, Ewalds E, Simons KS, et al. Clinical outcomes among patients with 1-year survival following intensive care unit treatment for COVID-19. *JAMA* 2022; 327: 559–65.
6. Larsson L, Degens H, Li M, Salvati L, Lee YI, Thompson W, et al. Sarcopenia: aging-related loss of muscle mass and function. *Physiol Rev* 2019; 99: 427–511.
7. Mishra R, Park C, York MK, Kunik ME, Wung S-H, Naik AD, et al. Decrease in mobility during the COVID-19 pandemic and its association with increase in depression among older adults: a longitudinal remote mobility monitoring using a wearable sensor. *Sensors (Basel)* 2021; 21: 3090. doi:10.3390/s21093090.
8. 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.
9. Yang SS, Jee S, Hwang SL, Sohn MK. Strengthening of quadriceps by neuromuscular magnetic stimulation in healthy subjects. *PM&R* 2017; 9: 767–73.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
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.
14. 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.
15. 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.
16. Vaidya T, Beaumont M, de Bisschop C, Bazerque L, Le Blanc C, Vincent A, et al. Determining the minimally important difference in quadriceps strength in individuals with COPD using a fixed dynamometer. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2018; 13: 2685–93.