

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：33709

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19841

研究課題名（和文）糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者の歩行時足圧軽減を目的とした運動指導の開発

研究課題名（英文）Development of exercise instruction to reduce foot pressure during walking in patients with type 2 diabetes mellitus with diabetic peripheral neuropathy

研究代表者

鈴木 啓介（Suzuki, Keisuke）

岐阜保健大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号：50783750

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者を対象として音刺激を用いた運動療法を実施した。介入期間は1週間とし、音刺激群には電子メトロノームを用いて自己快適速度のテンポから-10%にした音刺激の歩行を実施した。介入前後の比較の結果、統制群は介入後に踵部の最大足底圧が有意に上昇した。一方、音刺激群では介入後に母趾部と踵部の最大足底圧が有意に減少した。両群の介入前後の変化量の比較では統制群と比較し、音刺激群は母趾部と踵部の最大足底圧で有意に低値を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病（DPN）患者は歩行中の足底面が床面と接触する際に生じる圧力（足圧）の上昇によって足潰瘍が生じ、足切断やADLの低下を来す。本研究の成果により自己快適歩行速度の-10%のテンポにした音刺激を用いた歩行運動を行うことにより、母趾と踵の最大足底圧を有意に低下させる結果は、DPN患者の下肢切断予防につながる可能性があり社会的に意義がある。また、現在までに足潰瘍予防として効果の示されている靴療法や装具療法とは異なる介入方法となり得るため学術的意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study was an exercise therapy intervention using rhythmic auditory stimulation in patients with type 2 diabetes mellitus with diabetic peripheral neuropathy. The intervention period was one week, and the rhythmic auditory stimulation group performed walking with sound stimulation at -10% of their own comfortable speed tempo using an electronic metronome. Comparison of pre- and post-intervention results showed that the control group had a significant increase in maximum plantar pressure at the heel after the intervention. On the other hand, the sound-stimulated group showed a significant decrease in maximum plantar pressure at the big toe and heel after the intervention. A comparison of the amount of change between the two groups before and after the intervention showed that the rhythmic auditory stimulation group showed significantly lower maximum plantar pressures at the big toe and heel compared to the control group.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：糖尿病性末梢神経障害 糖尿病 運動療法 歩行 最大足底圧 音刺激

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

糖尿病の足潰瘍は糖尿病患者の 15% が生涯に一度は経験する可能性がある頻度の高い合併症である。また糖尿病性の足潰瘍は下肢切断の主要な原因であり、切断後は糖尿病患者の activities of daily living (ADL) や quality of life (QOL) を低下させ、健康寿命を短縮、医療費の圧迫を助長させることから、未然に防ぐ必要がある。

足潰瘍の原因として最も影響を与えているものが糖尿病性末梢神経障害であり、足部の感覚機能の低下から、外傷や胼胝の形成、亀裂などにより足潰瘍へと発展する。また先行研究より神経障害の合併だけでなく、高い足底圧が足潰瘍発生の独立した因子であることを報告している<sup>1)</sup>。糖尿病性末梢神経障害合併 2 型糖尿病患者の歩行中の足圧が高い原因として歩行時の動揺性が大きいことが報告されている。また、先行研究より歩行速度の上昇と最大足圧とに関係が認められたことから、歩行速度が足圧に影響を与えていることが明らかになっている<sup>2)</sup>。つまり、不安定な歩行と速度の速い歩行が足圧を上昇させる原因と考えられる。しかし、現在までに足圧が上昇する根本の要因となっている歩行の動揺性や歩行速度に対する介入方法は不明確であり、糖尿病性末梢神経合併 2 型糖尿病患者の足潰瘍予防のために、解決すべき重要な課題となっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は糖尿病性末梢神経障害合併 2 型糖尿病患者に対して音刺激のテンポを低下させた運動指導を実施し、歩行中の足圧に対する効果を明らかにすることである。

### 3. 研究の方法

対象は糖尿病教育入院した糖尿病性末梢神経障害合併 2 型糖尿病患者 55 名とし、乱数表を用いて音刺激群 29 名、Control 群 26 名へとランダムに振り分けた。取り込み基準は 75 歳以下の者、1 週間の運動療法が可能なる者とし、除外基準は整形外科的治療が必要な者、中枢神経疾患既往のある者、重篤な糖尿病性網膜症・腎症のある者、重篤な心疾患のある者、足部に疼痛がある者とした。なお、糖尿病性末梢神経障害の診断は専門医師により行われ、糖尿病性神経障害を考える会が提唱した簡易診断基準に従い 1) 両側下肢または下肢の自覚症状、2) 両側アキレス腱反射の消失または低下、3) 内側内踝振動覚低下の 3 項目のうち、2 項目以上を満たす場合を神経障害ありとした。

対象者は教育入院期間を通して標準的な療養指導ならびに運動指導を実施した。標準的な療養指導には、糖尿病専門医師による合併症予防指導、糖尿病認定看護師によるシックデイの対応やライフスタイル指導、管理栄養士による食事指導、薬剤師による服薬指導、糖尿病教室への参加が含まれている。両群への介入期間は 1 週間とし、運動強度や頻度に関する指導、歩行指導、レジスタンス運動指導、低血糖・足部潰瘍予防指導、ライフスタイル指導、歩数計を用いたセルフモニタリング指導などの標準的な運動指導を理学療法士が行った。音刺激群は自己快適歩行速度の -10% としたメトロノームのテンポに合わせた歩行を実施した。歩行運動は両群ともに毎日毎食後 20 分間とした。また、低血糖予防に対する配慮として歩行時の運動強度がカルボネンの予測式の 60% 強度以下になっていることを確認した。

評価は介入前後に自己快適速度による 10m 歩行テストを実施し、歩行速度、歩行の動揺性、足圧を測定した。なお、10m 歩行テストは 3 回実施し、その平均値を各測定指標の代表値として解析に用いた。

歩行速度の測定は自己快適速度による 10m 歩行テストにおいて、歩行路に示された 0m 地点と 10m 地点のラインを足部が完全に超えるまでの時間を測定し、得られた歩行時間から速度を算出した。

歩行の動揺性の測定には 3 軸加速度計 (小型無線加速度センサ TSND121 ATR-Promotions 社製) を用い、重心を反映する第 3 腰椎棘突起部に貼付した。3 軸加速度計のサンプリング周波数は 200Hz とし Bluetooth によりリアルタイムでデータをパソコンに送信した。送信されたデータはデータ収集用ソフトウェア SensorController (ATR-Promotions 社製) で読み込まれた後、csv ファイルとして記録された。記録されたデータより、Root mean square (RMS) を算出した<sup>3)</sup>。RMS は垂直、水平、前後を合計し、速度の二乗倍で補正した値を解析に用いた。

足圧の測定にはインソール型の足圧測定器 (ワルツイン パラマウントベッド社製) を用いた。自己快適速度で歩行して得られた前足底部、母指球底部、踵底部の最大足底圧を評価指標とした。

統計学的解析では音刺激群と Control 群の基本情報の比較に対応のない t 検定もしくは<sup>2)</sup> 検定を実施した。各群の介入前後の比較には対応のある t 検定を実施した。また群間比較では介入前後の変化量を算出し、対応のない t 検定、ならびに性別、年齢、body mass index (BMI) を共変量とした共分散分析を実施した。各検定の有意水準は危険率 5% とした。

#### 4. 研究成果

各指標の介入前後の結果について平均値 ± 標準偏差で示す。音刺激群の歩行速度は介入前  $1.13 \pm 0.16$  m/sec、介入後  $1.04 \pm 0.17$  m/sec となり、有意に減少した。歩行動揺性は介入前  $4.64 \pm 0.76$  m/sec<sup>2</sup>、介入後  $4.37 \pm 0.98$  m/sec<sup>2</sup> となり有意差は認めなかった。最大足底圧では母趾にて介入前  $14.70 \pm 5.43$  N、介入後  $11.92 \pm 4.90$  N、踵にて介入前  $26.71 \pm 7.63$  N、介入後  $22.35 \pm 5.26$  N とどちらの部位も介入後に有意に減少した。一方母指球では介入前  $17.12 \pm 2.88$  N、介入後  $16.75 \pm 3.88$  N であり有意差は認められなかった。

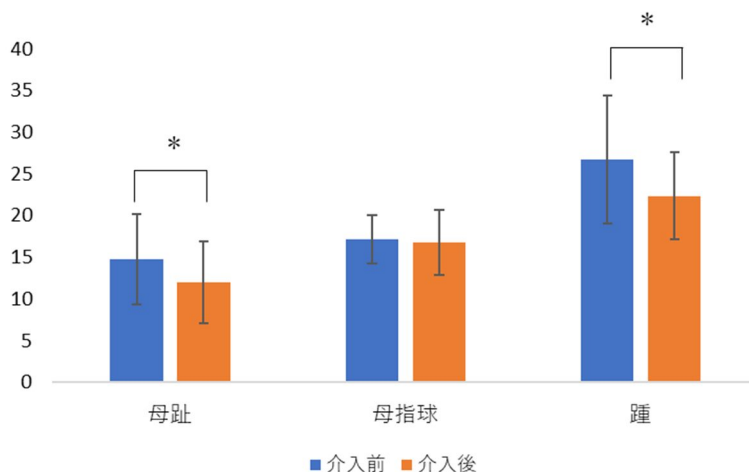


図1 音刺激群の介入前後の最大足底圧の比較

$p < 0.05^*$  (対応のある t 検定)

Control 群の歩行速度は介入前  $1.07 \pm 0.13$  m/sec、介入後  $1.09 \pm 0.13$  m/sec となり、有意差を認めなかった。歩行動揺性は介入前  $4.59 \pm 0.75$  m/sec<sup>2</sup>、介入後  $4.40 \pm 0.81$  m/sec<sup>2</sup> となり有意差は認めなかった。最大足底圧では母趾にて介入前  $14.95 \pm 7.94$  N、介入後  $17.25 \pm 8.18$  N、母指球にて介入前  $18.93 \pm 6.67$  N、介入後  $19.51 \pm 5.54$  N とどちらの部位も有意差を認めなかった。一方踵では介入前  $21.10 \pm 5.57$  N、介入後  $23.24 \pm 5.95$  N であり介入後に有意差に上昇した。

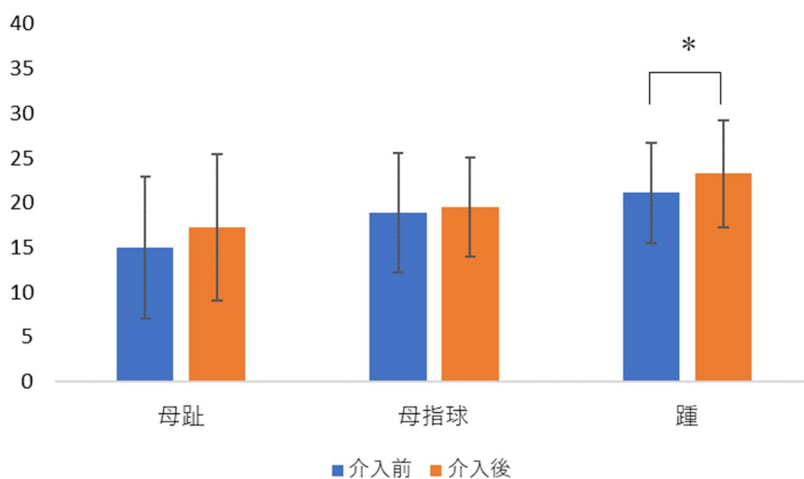


図2 Control 群の介入前後の最大足底圧の比較

$p < 0.05^*$  (対応のある t 検定)

両群の介入前後の変化量の比較では、歩行速度において音刺激群  $-0.08 \pm 0.13$  m/sec、Control 群  $0.02 \pm 0.06$  にて有意に音刺激群の方が減少した。歩行動揺性では音刺激群  $-0.27 \pm 1.07$  m/sec<sup>2</sup>、Control 群  $-0.19 \pm 0.77$  m/sec<sup>2</sup> であり有意差を認めなかった。最大足底圧では母趾において音刺激群  $-2.79 \pm 6.40$  N、Control 群  $2.29 \pm 6.40$  N、踵において音刺激群  $-4.35 \pm 6.69$  N、Control 群  $2.13 \pm 4.94$  N となり、どちらの部位も音刺激群にて低値を示した。一方で母趾球では音刺激群  $-0.36 \pm 3.98$  N、Control 群  $0.58 \pm 7.33$  N となり有意差を認めなかった。さらに両群の介入前後の変化量の比較において年齢、性別、BMI を共変量とした共分散分析を実施した結果について平均値 ± 標準偏差で示す。歩行速度において音刺激群  $-0.08 \pm 0.02$  m/sec、Control 群  $0.16 \pm 0.02$  に

て有意に音刺激群の方が減少した。歩行動揺性では音刺激群 $-0.24 \pm 0.18$  m/sec<sup>2</sup>、Control 群 $-0.21 \pm 0.19$  m/sec<sup>2</sup> であり有意差を認めなかった。最大足底圧では母趾において音刺激群 $-2.45 \pm 1.15$ N、Control 群 $1.93 \pm 1.22$ N、踵において音刺激群 $-4.25 \pm 1.13$ N、Control 群 $2.02 \pm 1.20$ N となり、どちらの部位も音刺激群にて低値を示した。一方で母趾球では音刺激群 $-0.16 \pm 1.03$ N、Control 群 $0.35 \pm 1.08$ N となり有意差を認めなかった。

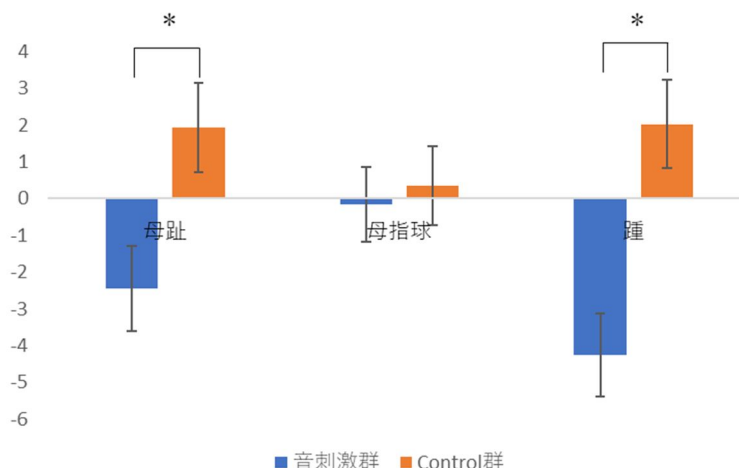


図3 介入前後の変化量の群間比較

$p < 0.05^*$  (性別、年齢、BMI を共変量とした共分散分析)

最大足底圧は歩行速度の影響を受けることが報告されており、音刺激群では刺激のテンポを下げたことで歩行速度が低下したと考えられる。歩行速度の低下により踵接地時の衝撃が緩和したことで踵部の最大足底圧の低下が生じたと考えられる。また歩行速度の低下により立脚後期の蹴り出し時に生じる母趾への圧力が減少したと考えられる。しかし、音刺激による歩行の動揺性に対する効果について認めていないことからテンポを下げることで動作に対する改善効果は菲薄化する可能性が考えられる。一方 Control 群は歩行速度が上昇する傾向が見られており、踵の最大足底圧の増加に影響を与えた可能性が考えられる。つまり、足潰瘍のリスクがある患者に対して歩行運動のみの提供では最大足底圧を上昇させてしまう恐れがあるため、注意が必要である。

以上のことから DPN 患者の歩行中の最大足底圧低下を目的とした介入として低速音刺激を用いた運動療法は有用である可能性が考えられる。今後は足圧軽減だけではなく、歩行動作の改善効果も得ることができる運動療法の開発が必要である。

<引用文献>

- 1) Alam U, Riley DR, Jugdey RS, Azmi S, Rajbhandari S, D' Août K, Malik RA, Diabetic Neuropathy and Gait: A Review, Diabetes Ther, 8(6), 2017, 1253-1264
- 2) Segal A, Rohr E, Orendurff M, Shofer J, O'Brien M, Sangeorzan B, The effect of walking speed on peak plantar pressure, Foot Ankle Int, 25(12), 2004, 926-933
- 3) Sekine M, Tamura T, Yoshida M, Suda Y, Kimura Y, Miyoshi H, Kijima Y, Higashi Y, Fujimoto T, A Gait Abnormality Measure Based on Root Mean Square of Trunk Acceleration, Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 10, 2013, 118

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Keisuke Suzuki, Toshio Ozawa, Tomohiko Kamo, Takayasu Koike, Masato Hosokawa, Takayoshi Saito, Satoshi Otake	4. 巻 -
2. 論文標題 Relationship between maximum calf circumference and body composition in type 2 diabetic patients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gifu University of Health Sciences Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Suzuki, Takayasu Koike, Tomohiko Kamo, Syohei Fukagawa, Hiroki Kamogari, Msato Hosokawa, Takayoshi Saito, Satoshi Otake	4. 巻 1
2. 論文標題 Co-contraction of lower limb muscles affects gait instability in patients with diabetic peripheral neuropathy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Physical Therapy for Diabetes Mellitus	6. 最初と最後の頁 20-30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.51106/ptdm.1.1_20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 鈴木啓介、加茂智彦、新津雅也、大武聖、齋藤孝義、黒澤和生	4. 巻 34
2. 論文標題 2型糖尿病患者の年代別における自己快適歩行の特徴	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 299-302
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/rika.34.299	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Suzuki, Masaya Niitsu, Tomohiko Kamo, Satoshi Otake, Yuusuke Nishida	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of exercise using sound stimulation on gait function of patients with diabetic peripheral neuropathy: A randomized controlled trial	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Open Journal of Therapy and Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 79-91
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/ojtr.2019.73005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 鈴木 啓介	4. 巻 2
2. 論文標題 糖尿病性末梢神経障害に対する運動療法の最新知見	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本糖尿病理学療法雑誌	6. 最初と最後の頁 83～93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.51106/ptdm.2.1_83	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

1. 発表者名 鈴木啓介、岩室樹、深川翔平、加茂智彦、大武聖、齋藤孝義、細川真登
2. 発表標題 疼痛を伴わない糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者は身体機能に関するQOLが低下している
3. 学会等名 第64回日本糖尿病学会年次学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木啓介、深川翔平、鴨狩裕貴、加茂智彦、小池孝康、細川真登、大武聖、齋藤孝義
2. 発表標題 2型糖尿病患者の歩行動揺性には足関節底背屈筋力が関連する
3. 学会等名 第7回日本糖尿病理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木啓介、深川翔平、鴨狩裕貴、加茂智彦、小池孝康、細川真登、大武聖、齋藤孝義
2. 発表標題 糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者の歩行時の運動耐容能には歩行動揺性が関連する
3. 学会等名 第37回東海北陸理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 KEISUKE SUZUKI, TAKAYASU KOIKE, MASATO HOSOKAWA, TAKAYOSHI SAITO, SATOSHI OTAKE, TOMOHIKO KAMO
2. 発表標題 Relationship between maximum calf circumference and skeletal muscle mass in patients with type 2 diabetes mellitus
3. 学会等名 The 33rd International Meeting of Physical Therapy Science & 7th Korean Society of Integrative Medicine (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木啓介、加茂智彦、新津雅也、大武聖、廣岡卓、小中澤聡、内田敏男
2. 発表標題 糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者における身体活動時間と運動を行わない理由の特徴
3. 学会等名 第63回日本糖尿病学会年次学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木啓介、加茂智彦、大武聖、齋藤孝義、細川真登
2. 発表標題 疼痛を伴わない糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者の健康関連QOLの特徴 -糖尿病性末梢神経障害非合併2型糖尿病患者との比較による検討-
3. 学会等名 第10回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木啓介、加茂智彦、新津雅也、大武聖、黒澤和生
2. 発表標題 音刺激を用いた運動指導が糖尿病性末梢神経障害合併2型糖尿病患者の身体活動量に与える効果 ランダム化比較試験による検討
3. 学会等名 第62回日本糖尿病学会年次学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Suzuki, Daisuke Endo, Tomohiko Kamo, Satoshi Otake, Takayoshi Saitou
2. 発表標題 Effect of exercise with rhythmic auditory stimulation on gait stability and plantar pressure in patients with diabetic peripheral neuropathy
3. 学会等名 28th International Meeting of Physical Therapy Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木啓介、加茂智彦、大武聖、齋藤孝義、黒澤和生
2. 発表標題 糖尿病患者に対する下腿最大周径評価の臨床的意義
3. 学会等名 第9回国際医療福祉大学学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関