

■ 原著

糖尿病患者における足底触圧覚が後方歩行に及ぼす影響

Influence of plantar tactile point pressure sensitivity on backward walking in diabetic patients

木村 和樹¹⁾ 遠藤 佳章²⁾

Kazuki Kimura¹⁾, Yoshiaki Endo²⁾

1) 新潟リハビリテーション大学 リハビリテーション学科

〒958-0053 新潟県村上市上の山 2-16

Tel: 0254-56-8292, FAX: 0254-56-8291, E-mail: k.kimura@nur.ac.jp

2) 国際医療福祉大学塩谷病院 リハビリテーション室

1) Department of Rehabilitation, Niigata University of Rehabilitation

2-16, Uenoyama, Murakami, Niigata, 958-0053, Japan

Tel: +81254-56-8292

2) Department of Rehabilitation, Shioya Hospital, International University of Health and Welfare

保健医療学雑誌 9 (1): 25-30, 2018. 受付日 2017年7月5日 受理日 2018年1月11日

JAHS 9 (1): 25-30, 2018. Submitted Jul. 15, 2017. Accepted Jan. 11, 2018.

ABSTRACT:

Progression of diabetes mellitus (DM) leads to the development of diabetic polyneuropathy (DP), which causes sensory disturbances in the foot. Plantar tactile point pressure sensitivity (TPPS) is important for diagnosing DP according to the Semmes-Weinstein monofilament (SWM) test. This study revealed that in patients with DM, plantar TPPS influences backward walking. Seventy-three patients with type 2 DM were grouped according to the SWM test. Forward and backward walking abilities over 10 m were measured. The walking factors included forward and backward walking, and the subject factors were according to the SWM test. Statistical analysis was carried out using a two-way analysis of variance test. A two-way analysis of variance was used for statistical analysis. With an increase in the threshold of plantar TPPS, difficulties in backward walking increased. Walking ability was reduced in DM patients, and the backward walking time was significantly longer as the sensory disorders progressed.

Key words: diabetes mellitus, plantar tactile point pressure sensitivity, backward walking

要旨:

糖尿病 (DM) の合併症には糖尿病多発神経障害 (DP) があり, Semmes-Weinstein-Monofilament (SWM) test による足底触圧覚の評価が重要である。本研究では DM 患者の足底触圧覚が後方歩行に及ぼす影響を明らかにした。対象は 2 型 DM 患者 72 例とし, SWM test を用いて群分けを行なった。10m 歩行の評価として前方および後方歩行を測定した。SWM の要因と前方および後方歩行の要因から二元配置分散分析を行った。歩行時間には交互作用が認められた。DM 患者は足底触圧覚閾値の上昇に伴い歩行能力が低下し, 特に後方歩行時間が延長することが明らかになった。

キーワード: 糖尿病, 足底触圧覚, 後方歩行

はじめに

糖尿病 (Diabetes Mellitus;以下, DM) は血糖値のコントロールが不良になる疾患であり, 高血糖状態が長期にわたると合併症に罹患するリスクが高まる. DM における三大合併症として糖尿病性神経障害 (Diabetic Neuropathy;以下, DN), 腎症, 網膜症がある. DN の正確な診断には神経伝導速度が用いられている. しかし, 機器の未設置や検査時間の制約などから, 糖尿病多発神経障害 (Diabetic Polyneuropathy;以下, DP) の簡易診断基準¹⁾が臨床現場ではよく用いられている. その DP の簡易診断基準は足部のしびれ, 内果振動覚, アキレス腱反射から判断するため, 医師だけでなくコメディカルスタッフでも DP 発症の有無を判断することができる. さらに, Semmes-Weinstein Monofilament (以下, SWM) test を用いることで, 足部の触圧覚に対する DP の影響を定量的に評価することができる. SWM test における Evaluator Size 5.07 (触圧覚 10g) が不答であると, DP の疑いが強くなり²⁾, DM 性潰瘍の発症リスクが高くなり下肢の切断リスクも高くなる³⁾. また, 床面と唯一接地する足底からの感覚入力バランス能力にも影響する⁴⁾. しかし, DP によって足部の感覚や運動神経が障害されバランス能力が低下するため, DP 発症によって転倒リスクが上昇する⁵⁾. そこで, 著者らは DP が足底触圧覚に影響を及ぼすことに着目し, 足底触圧覚閾値の上昇に伴い, 静的および動的なバランス能力や歩行能力が低下すること⁶⁾を報告している. これらのことから, DM 患者に対する身体機能の評価に加えて, DP による足底触圧覚への影響を評価することも重要である.

近年, 歩行能力の評価として後方歩行が注目されており, 後方歩行は進行方向を注視できない後方へのバランス移動性を捉え⁷⁾, 転倒リスクのスクリーニング⁸⁾にも有用である. さらに, 著者は DP によって後方歩行時間が延長し⁹⁾, DM 患者の身体機能において DP との関連因子が後方歩行であることを明らかにしている¹⁰⁾. そのため, DM 患者における歩行能力の評価は一般的な前方歩行に加えて, 後方歩行に対する評価についても検討していく必要性があった. そこで, DP が足底触圧覚に影響を及ぼすことに加えて, DP が後方歩行と関連していることから, 本研究では DM

患者における足底触圧覚が後方歩行に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした.

対象と方法

対象

2型 DM 患者 72 例で男性は 48 例, 女性が 24 例を対象とした. 年齢は 59.7 ± 10.1 (40 - 74) 歳, 身長は 161.7 ± 9.3 (137.0 - 181.0) cm, 体重は 67.0 ± 17.0 (42.4 - 115.8) kg, BMI は 25.5 ± 5.5 (17.8 - 47.4) kg/m^2 , HbA1c は 9.3 ± 2.3 (5.5 - 15.1) %, eGFR は 78.5 ± 23.1 (11.5 - 155.1) $\text{mL}/\text{min}/1.73\text{m}^2$, 罹病期間は 91.8 ± 109.5 (0-360.0) ヶ月であった [mean \pm SD (Min - Max)]. HbA1c は国際基準である NGSP 値を用いた. また, 対象者は日常生活動作が自立しており, 移動は独歩にて自立していた.

DM 患者における足底触圧覚による影響を検討するため, 本研究では以下の除外基準を設けた. 足部の潰瘍や明らかな整形外科または中枢疾患により歩行能力に影響がある症例は除外している. また, 加齢による歩行能力への影響を考慮するため, 後期高齢者である 75 歳以上の症例は除外している.

評価方法

評価 1. 前方および後方歩行

前方および後方歩行において 10m の所要時間 (以下, 歩行時間) と歩数を測定した. 助走と減速を考慮して開始と終了に 3m の区間を設けた. 後方歩行の際には視線は進行方向を振り向かず進行方向とは反対を注視したまま歩行させた. 安全面に考慮するため, 10m 区間の歩行練習をゆっくりと行い, 終了地点を確認させた. また, 歩行路は壁側に設けて測定中に他者と交わらないようにした. なお, 後方歩行の測定は転倒のリスクがあるため, 被験者の視覚に入らないように理学療法士が斜め後方に配置させて後方への転倒のリスクを考慮した (figure 1).

評価 2. 足底触圧覚閾値

足底触圧覚閾値の評価として SWM test を行なった. SWM の Evaluator Size (触圧覚) は 2.83 (0.07g), 3.61 (0.4g), 4.31 (2.0g), 4.56 (4.0g), 5.07 (10.0g), 6.65 (300.0g) の 6 本セットを使用した. 測定姿勢はプラットフォーム上で背臥位

にて、視覚の影響を受けないように閉眼で行った。足底皮膚の胼胝部位を極力さけて測定を行った。SWM の測定部位は左右の第 1 趾末節骨底，第 1 趾中足趾節関節，第 5 趾中足趾節関節，踵の中央部の計 8 ヶ所に対して直角に曲がるまで 1.5 秒間押し付け，正答の有無を確認した。測定部位のすべてを正答できる最も小さい SWM の size を個人の代表値とした。

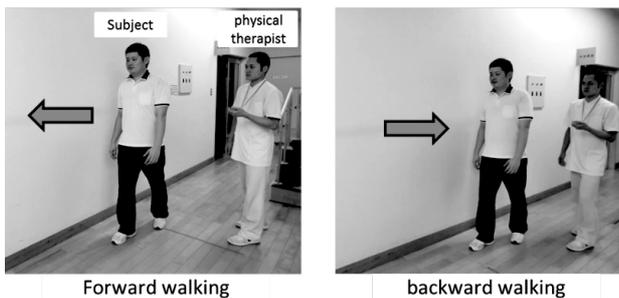


figure 1. Measurement image of walking ability

評価 3. DP の診断基準

DP は「糖尿病性多発神経障害の簡易診断基準案」¹⁾を参考にし，両足のしびれまたは異常感覚，両アキレス腱反射の減弱または消失，両内果の振動覚の低下または消失を評価した。3 項目のうち 2 項目以上当てはまる症例を DP 有り，1 項目以下の症例を DP 無しとした。

評価 4. 足関節の関節可動域

ゴニオメータを用いて両足関節背屈の関節可動域 (Range Of Motion;以下, ROM) を測定した。測定の姿勢はプラットフォーム上で背臥位とし，膝関節軽度屈曲位と完全伸展位の 2 条件で測定を行なった。なお，個人の代表値は左右の平均値とした。

統計処理

測定部位のすべてを正答できた最も小さい SWM の Size ごとに対象者を群分けして，基礎情報と DM に関する情報，足関節背屈の ROM は一元配置分散分析を行い，下位検定として Bonferroni 法を用いた。性別の比率，DP 発症，強化インスリン療法，眼疾患の有無の比率については χ^2 検定を行った。歩行条件である前方歩行と後方歩行を被験者内要因とし，SWM による Size の群分けを被験者間要因とした二元配置分散分析を行ない，被験者間の下位検定として

Bonferroni 法を行った。なお，本研究の有意水準はすべて 5%とした。統計ソフトは SPSS 21.0J (IBM SPSS Japan, Inc, Tokyo, Japan) を用いた。

倫理的配慮

対象者には研究の内容を十分に説明して同意が得られた者を対象とした。また，本研究は国際医療福祉大学倫理審査 (倫理番号：14-Io-72)，国際医療福祉大学病院倫理審査 (倫理番号：13-B-144) の承認を得て実施した。

結果

SWM test における群分けの基礎情報を示す (table 1)。Size2.83・3.61 群，Size6.65 が不答の群はなかった。基本情報に群間差は認められなかったが，Size6.65 群の DP 発症の比率は Size4.31 群と比較して多かった。

SWM における群分けによる前方および後方歩行の結果を示す (table 2)。二元配置分散分析より，歩行時間と歩数において被験者間および被験者内に主効果を認めた。さらに，歩行時間に交互作用を認めたが，歩数には交互作用が認められなかった。前方および後方歩行時間において Size6.65 群は Size4.31・4.56・5.07 群より延長した。また，前方および後方歩数において Size6.65 群は Size4.31・4.56 群よりも多かった。

膝関節完全伸展位での足関節背屈において，Size6.65 群は Size4.31・4.56 群と比較して ROM が制限されていた (table 3)。

考察

DP を呈する DM 患者は前方歩行速度^{11,12)}と後方歩行速度⁹⁾が低下すると報告されている。しかしながら，これらの報告^{9,11,12)}は DP の有無で歩行能力を比較したにすぎない。そこで本研究では，DM 患者を足底触圧覚閾値で群分けを行い前方および後方歩行能力について検討したところ，足底触圧覚閾値の上昇に伴い前方および後方歩行時間が延長した。また，歩行時間において交互作用が認められたことから，DM 患者は足底触圧覚閾値の上昇に伴い，特に後方歩行時間が延長することが示唆された。

table 1. Characteristics of study subjects in each size of SWM groups

	Size 4.31group	Size 4.56group	Size 5.07group	Size 6.65group	mean±SD p value
number of cases (male/female)	8 (6/2)	25 (15/10)	27 (18/9)	12 (9/3)	0.77
age (years)	51.8 ± 12.6	59.4 ± 9.9	62.2 ± 8.3	59.7 ± 10.9	0.82
height (cm)	164.8 ± 10.0	161.0 ± 9.1	160.5 ± 9.3	163.8 ± 9.6	0.56
weight (kg)	67.4 ± 14.3	65.7 ± 15.5	65.3 ± 13.9	73.2 ± 26.4	0.58
BMI (kg/m ²)	24.8 ± 4.4	25.2 ± 4.7	25.3 ± 4.5	27.0 ± 9.0	0.75
HbA1c (%)	9.0 ± 2.7	9.0 ± 2.0	9.3 ± 2.2	10.3 ± 2.7	0.40
eGFR (mL/min/1.73m ²)	84.1 ± 10.2	82.6 ± 25.6	77.3 ± 20.2	69.0 ± 28.3	0.34
Disease duration (months)	33.0 ± 43.9	75.0 ± 86.1	124.2 ± 128.8	93.0 ± 122.9	0.15
Intensive insulin therapy (n · %)	6 · 75	13 · 52	20 · 74	8 · 67	0.36
ophthalmic disease (n · %)	2 · 25	7 · 28	12 · 44	4 · 33	0.58
DP (n · %) *	0 · 0 ‡	8 · 32	10 · 37	10 · 83	<0.05

Statistic: One-way Analysis of Variance, χ^2 test (*: p value<0.05).

‡: compared with Size 6.65 group (p value<0.05).

SWM; Semmes-Weinstein monofilament, DP; diabetic polyneuropathy.

table 2. 10m walking time and steps in each size of SWM groups

	Size 4.31group	Size 4.56group	Size 5.07group	Size 6.65group	mean±SD p value
forward time (sec) *	5.6 ± 0.5 ‡	5.9 ± 0.8 ‡	6.2 ± 1.1 ‡	7.2 ± 1.0	<0.05
backward time (sec) *	7.5 ± 1.8 ‡	8.8 ± 1.9 ‡	10.2 ± 3.5 ‡	14.1 ± 4.5	
forward steps (steps) *	13.4 ± 1.6 ‡	14.4 ± 1.3 ‡	14.9 ± 2.2	16.3 ± 2.3	0.10
backward steps (steps) *	18.3 ± 3.5 ‡	21.0 ± 4.1 ‡	23.1 ± 6.5	27.8 ± 9.9	

Statistic: Two-way Analysis of Variance (p value).

Main effect was observed between the forward and Backward walking factor (†: p value<0.05) and subject factor (*: p value<0.05).

Interaction was observed in walking time.

‡: compared with Size 6.65 group.

SWM; Semmes-Weinstein monofilament.

table 3. ROM of ankle in each size of SWM groups

	Size 4.31group	Size 4.56group	Size 5.07group	Size 6.65group	mean±SD p value
range of ankle joint with knee flexion (°)	17.5 ± 5.8	14.2 ± 4.4	14.0 ± 3.7	12.1 ± 4.4	0.07
dorsiflexion with knee extension (°) *	7.5 ± 5.0 ‡	6.1 ± 4.2 ‡	3.3 ± 3.9	2.1 ± 4.1	<0.05

Statistic: One-way Analysis of Variance (*: p value<0.05).

‡: compared with Size 6.65 group (p value<0.05).

SWM; Semmes-Weinstein monofilament, DP; diabetic polyneuropathy.

足底触圧覚閾値の上昇に伴い歩行時の安定性を保つために、歩幅を狭めて前方および後方歩行速度を調整していたと考えられた。また、後方歩行における立脚期は前足部の足底から接地し踵部に荷重面を移動させる動作課題である。しかし、DP の特徴は四肢遠位から対称的に障害するため、

前足部が障害されやすく、後方歩行の立脚初期における前足部の接地情報が減少する。また、DM患者は足底部の中でも踵部の触圧覚は最も閾値が高い¹³⁾ため、前足部の足底から接地し踵部に荷重面を移動させる能力が低下すると考えられた。さらに、後方歩行は進行方向が注視できないため

視覚情報が制約される動作課題である。本研究の眼疾患の有病率は各群で有意な差は認められず、視力そのものが歩行能力に影響していた可能性は少ない。つまり、後方歩行に重要な視覚情報は進行方向に対する視覚情報であると考えられた。そのため、進行方向の視覚情報が得られない後方歩行は足底触圧覚閾値の上昇に伴い前方歩行よりも歩行時間が延長したと考えられた。

足底触圧覚閾値の上昇に伴い膝関節伸展位での足関節背屈の ROM が制限された。高血糖状態の継続によってコラーゲン繊維に終末糖化産物が蓄積してアキレス腱の肥厚・硬化することで足関節背屈の ROM 制限が生じる¹⁴⁾。その足関節背屈の ROM の制限はアンクルロッカー機能を阻害して前方歩行能力を低下させたと考えられた。また、足関節背屈の ROM は前方歩行よりも後方歩行の課題で必要とされている¹⁵⁾。しかし、Size6.65 群は膝関節伸展位での足関節背屈の ROM は制限されるため、足底が接地できるように歩幅を狭める必要があった。そのため、DM 患者は足底触圧覚閾値の上昇に伴い、後方歩幅が減少して後方歩行時間が延長したことが考えられた。

日常生活動作が自立している 2 型 DM 患者の前方歩行において、Size6.65 群と各群の平均値の差は前方歩行時間が 1.0-1.6 秒であり、小さな変量を臨床現場で捉えることは困難である。そのため、前方歩行による評価では DP による歩行能力の低下を捉えることは難しい。一方、後方歩行における Size6.65 群は各群の平均値と比較して歩行時間が 3.9-6.6 秒と差が大きいため、後方歩行は足底触圧覚の障害による影響を捉えやすい。足底触圧覚閾値の上昇に伴い足関節背屈の ROM が制限によって歩行能力が低下し、後方歩行に重要な足底からの感覚入力も減少する。そのため、DM 患者は足底触圧覚閾値の上昇に伴い、特に後方歩行時間が延長することが明らかになった。

本研究の限界として、SWM による群分けでは足底触圧覚の障害が軽度な Size4.31 群は 8 例と少なく、DP 患者は含まれていなかった。そのため、各群内において DP の有無による比較はできなかった。また、筋肉量や下肢筋力を測定していないため、下肢筋力が後方歩行に及ぼす影響について検討できていない。SWM test では胼胝形成や白癬の箇所を避けており、皮膚の変性部に対する詳

細な触圧覚の評価も必要であった。さらに、DM 患者に対する後方歩行による介入効果を検討し、身体機能低下の予防的な介入方法を確立していきたい。

結論

DM 患者は足底触圧覚の閾値の上昇に伴い歩行能力が低下し、特に後方歩行時間が延長することが明らかになった。

謝辞

本論文は検査や教育プログラムの多忙な入院期間の患者様に協力をして頂きました。本研究にご参加頂いた患者様には心より深く御礼申し上げます。誠にありがとうございました。また、内分泌内科の主治医、看護部のご協力を頂きました。この場を借りて、本論文の謝辞とさせていただきます。誠にありがとうございました。

文献

- 1) 日本糖尿病学会編：科学的根拠に基づく糖尿病診療ガイドライン 2013, pp115-128, 南江堂, 2013.
- 2) Kamei N, Yamane K, Nakanishi S, et al.: Effectiveness of Semmes-Weinstein monofilament examination for diabetic peripheral neuropathy screening. *J Diabetes Complications* 19: 47-53, 2005.
- 3) Nather A, Bee CS, Huak CY, et al.: Epidemiology of diabetic foot problems and predictive factors for limb loss. *J Diabetes Complications* 22: 77-82, 2008.
- 4) 森岡周, 宮本謙三, 竹林秀晃・他：年代別にみた立位姿勢バランス能力と足底二点識別覚の変化過程. *理学療法ジャーナル* 39: 919-926, 2005.
- 5) 荒木厚, 千葉優子：糖尿病患者における転倒糖尿病合併症、身体能力低下、血糖コントロールとの関連. *医学のあゆみ* 239: 457-461, 2011.
- 6) 木村和樹, 二宮秀樹, 久保晃・他：糖尿病患者における足底触圧覚と 2 ステップ値の関係. *国際医療福祉大学学会誌* 21: 48-53, 2016.
- 7) 美和香葉子, 大杉紘徳, 重森健太・他：高齢者の後方歩行の特徴およびバランス能力との関連性. *理学療法科学* 22: 205-208, 2007.

- 8) Fritz NE, Worstell AM, Kloos AD, et al.:
Backward walking measures are sensitive to
age-related changes in mobility and balance.
Gait Posture 37: 593-597, 2013.
- 9) 木村和樹, 久保晃, 石坂正大: 糖尿病多発神経
障害が前方および後方歩行に及ぼす影響. *理学
療法学* 44: 36-41, 2017.
- 10) 木村和樹, 石坂正大: 糖尿病多発神経障害に影
響される身体機能・構造項目. *糖尿病* 59:
791-797, 2016.
- 11) Mueller MJ, Minor SD, Sahrman SA, et al.:
Differences in the gait characteristics of
patients with diabetes and peripheral
neuropathy compared with age-matched
controls. *Phys Ther* 74: 299-308, 1994.
- 12) Roman de Mettelinge T, Delbaere K, Calders
P, et al.: The impact of peripheral
neuropathy and cognitive decrements on gait
in older adults with type 2 diabetes mellitus.
Arch Phys Med Rehabil 94: 1074-1079, 2013.
- 13) 木村和樹, 久保晃, 石坂正大・他: 女性糖尿
病患者は足底触圧覚の閾値が高くなる-地域
在住高齢者との比較-. *体力科学* 65: 163-167,
2016.
- 14) Grant WP, Sullivan R, Sonenshine DE, et
al.: Electron microscopic investigation of
the effects of diabetes mellitus on the
Achilles tendon. *J Foot Ankle Surg* 36:
272-278, 1997.
- 15) Soda N, Ueki T, Aoki
Takaaki.: Three-dimensional Motion
Analysis of the Ankle during Backward
Walking. *J Phys Ther Sci* 25: 747-749, 2013.