

研究報告



糖尿病患者の足底に加わる積算負荷量について — 屋内・屋外積算負荷量の比較 — *

小中真由美¹⁾・林 久恵^{2) 3)}・佐々木陽平⁴⁾・中村麻有⁵⁾
近藤恵理子⁶⁾・伊藤真也⁶⁾・森山善文⁶⁾・古橋究一⁷⁾・熊田佳孝⁸⁾

【要 旨】

【目的】糖尿病患者の足部潰瘍形成原因として患部にかかる力学的負荷量の過多が挙げられ、足底圧と活動量の積算負荷量を管理する必要性が指摘されている。しかし、足底圧を軽減するための靴を着用しない状態を考慮した積算負荷量の調査はみられない。本研究の目的は、糖尿病患者の足底に加わる一日当たりの積算負荷量について屋内活動も考慮して調査を行い、その特徴を明らかにすることである。【方法】外来糖尿病患者 13 名を対象として、足底に加わる積算負荷量（足底圧と活動量の積）を屋内裸足歩行と屋外靴着用歩行の間で比較検討した。【結果】屋内積算負荷量は屋外積算負荷量に比較して有意に大きかった。また、足底圧についても屋内条件は屋外条件よりも有意に大きかった。【結論】糖尿病患者の足底に加わる一日当たりの積算負荷量は、屋外よりも屋内で大きいため、屋内での積算負荷量を軽減することが足底圧管理による足部潰瘍形成予防において有効な手段となる可能性が示唆された。

キーワード：糖尿病，足底圧，積算負荷量

緒言

足部潰瘍を有する糖尿病患者は 5 年後の下肢切断率が 22%，再潰瘍形成率が 70% におよぶことが報告されており¹⁾，潰瘍形成前段階における予防的介入が推奨されている。足部潰瘍形成原因として患部にかかる力学的負荷量の過多が指摘されており^{2) - 4)}，糖尿病患者の足底圧を軽減するための

靴や足底板の有用性が報告されている⁵⁾。

一方、足底圧は日常生活において繰り返し加わるため、糖尿病患者の足部潰瘍形成リスクを予測するには、活動量を考慮し、足底圧と活動量の積を積算負荷量として検討する必要性が指摘されている⁶⁾。靴着用時積算負荷量についての報告は少数あるが、屋内（裸足）活動を考慮した積算負荷

* The plantar cumulative stress of patients with diabetes mellitus
- A comparison of in-door cumulative stress with out-door cumulative stress -

- 1) 名古屋ハートセンター
(〒461-0045 愛知県名古屋市東区砂田橋 1 丁目 1 番 14 号)
Konaka Mayumi, RPT: Department of rehabilitation, Nagoya heart center
- 2) 星城大学リハビリテーション学部リハビリテーション学科理学療法専攻
Hayashi Hisae, RPT, PhD: Department of Rehabilitation, Seijoh University
- 3) 名古屋大学医学部保健学科理学療法専攻
Hayashi Hisae, RPT, PhD: Department of Physical Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

4) 飯田市立病院リハビリテーション科
Sasaki Youhei, RPT: Department of Rehabilitation, Iida Municipal Hospital

5) 自宅
Nakamura Mayu, RPT

6) 名古屋共立病院リハビリテーション科
Kondo Eriko, Ito shinya, RPT; Moriyama yoshifumi, HFP: Department of Physical Therapy, Nagoya Kyoritsu Hospital

7) 半田東クリニック
Furuhashi kyuichi, MD: Handa Higashi Clinic

8) 松波総合病院心臓血管外科
Kumada Yoshitaka, MD, PhD: Department of Cardiovascular Center, Matsunami General Hospital

E-mail: hisaehayashi@seijoh-u.ac.jp

量についての報告はみられない。本研究の目的は、糖尿病患者の屋内条件下における積算負荷量を算出し、屋外条件下における積算負荷量との比較を通して、その特徴を明らかにすることである。

対象および方法

1. 対象者

平成23年8月1日から平成23年11月9日の間に外来受診した糖尿病患者に研究紹介のリーフレットを配布した。その中で研究参加の希望があり、取り込みおよび除外基準を満たした13例を対象とした。取り込み基準は10m以上の自立歩行が可能であること、除外基準は足底に潰瘍を有するなど裸足歩行にリスクを伴う者、保有疾患の治療過程において医師から活動制限されている者、義足を使用している者、足関節上腕血圧比（以下、ABI）が0.9未満である者、足部の重度の変形を有する者とした。対象者の属性を表1に示す。

対象者には、研究の趣旨と方法、研究協力の自由意思、いつでも中止できることを文書及び口頭で説明し、書面による同意を得た。本研究は、名古屋共立病院臨床研究委員会及び名古屋大学医学部生命倫理委員会保健学部の承認を得て行った（承認番号：11-501）。

表1. 対象者の背景

人数（人）	13
男性／女性（人）	6 / 7
年齢（歳）	61 ± 13
体重（kg）	67.2 ± 12.6
BMI（kg/m ² ）	26.5 ± 3.5
糖尿病罹病期間（年）	10 ± 7.1
HbA1c（%）	6.4 ± 0.7
糖尿病性神経障害患者（人）	3

Abbreviations: HbA1c=hemoglobin A1c. BMI=body mass index.

数値はすべて平均値±標準偏差で示した。

なお、糖尿病性神経障害の有無の判定は糖尿病性神経障害を考える会の簡易診断基準（2002年）に従った。

2. 測定項目および測定条件

測定項目は足底圧、活動量とし、それらの値より積算負荷量を算出した。測定条件は屋内条件および屋外条件とし、屋内条件として、裸足歩行での足底圧と屋内活動量を測定し両者の積を屋内積算負荷量とした。屋外条件として、靴着用歩行での足底圧と屋外活動量を測定し両者の積を屋外積算負荷量とした。

3. 測定手順

1) 足底圧

足底圧測定には足底圧分布測定システム（F-scan ニッタ社製）を用いた。同一被験者に対し、快適速度で①裸足歩行、②靴着用歩行の二条件下で測定を行った。裸足歩行ではセンサーシートを足底に貼付し⁵⁾、靴着用歩行ではセンサーシートを靴の中に挿入した。また靴着用歩行では靴下を着用し、靴は対象者が最も頻繁に使用している自身の靴を使用した。平坦な直線の歩行路を設け、各条件下で歩行中任意の7秒間（50Hz, 350frame）の足底圧を測定した。測定手順は、センサーシートを装着した後に対象者の体重（kg）をコンピュータに入力し、片脚立位で校正を行い、条件毎に練習を1回行った後で測定を1回行った。足底圧の測定項目は圧と荷重時間の積分値（kg/cm² × sec）とした（図1）。解析対象は右足とし、測定した足底圧の中で波形が安定しており定常状態と思われる3歩の平均を求めた。

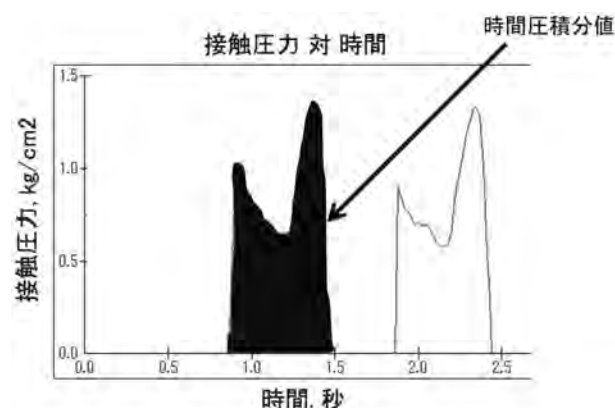


図1. 足底圧の計測

歩行時、F-scanに記録された波形から足底圧を計測した。足底圧は荷重時間と圧力の積分値とし、図の塗り潰し部分の面積を意味する。

2) 活動量

活動量として、加速度計測装置付歩数計（ライフコードGS スズケン社製）を用いて歩数を測定した。足底圧測定日の翌日から入浴以外の時間を除き起床から就寝まで常にライフコードを腰部に装着するよう依頼し、7日間の歩数を測定し一日当たりの歩数の平均値を求めた。また、対象者には調査用紙に7日間の外出時間帯を記載するよう依頼した。

総歩数から屋外歩数と屋内歩数の内訳を算出するため、歩行活動に相当するライフコード強度1（1.783METs）以上の活動記録と調査用紙の外出時

間を照合し、屋外活動時間比を求めた。同様に外出時間以外の時間帯における記録回数から屋内活動時間比を算出した。

一日当たりの歩数と屋外活動時間比の積を屋外歩数、一日当たりの歩数と屋内活動時間比の積を屋内歩数として算出した。

3) 積算負荷量

積算負荷量の算出方法は Maluf らの方法⁸⁾ に準じて、足底圧とストライド数 (歩数/2) の積とした。そして屋外ストライド数と靴着用条件足底圧の積を屋外積算負荷量とし、屋内ストライド数と裸足条件足底圧の積を屋内積算負荷量として求めた。

4. 統計学的解析

屋内条件下と屋外条件下との間で、各測定項目を比較検討した。対応のある t 検定を用い、有意水準は 5%未満とした。

結果

1. 積算負荷量

屋内積算負荷量 (916 ± 541 kg/cm²/day) は屋外積算負荷量 (476 ± 271 kg/cm²/day) よりも有意に大きい値であった ($p<0.05$)。 (図 2)

また、糖尿病性神経障害を有する 3 名と他の 10 名を比較すると、糖尿病性神経障害患者の屋内積算負荷量 1116 ± 968 kg/cm²/day, 屋外積算負荷量 601 ± 326 kg/cm²/day, その他 10 名の屋内積算負荷量 855 ± 406 kg/cm²/day, 屋外積算負荷量 438 ± 260 kg/cm²/day であり、屋内外のいずれの積算負荷量も糖尿病性神経障害患者の値が高い結果となった。

2. 活動量

屋内歩数 (3945 ± 2124 歩) と屋外歩数 (2825 ± 1258 歩) には有意差は認められなかった。 (図 3)

3. 足底圧

裸足条件 (0.48 ± 0.17 kg/cm²*sec) では靴着用条件 (0.33 ± 0.08 kg/cm²*sec) に比較して有意に高い値となった ($p<0.01$)。 (図 4)

また、糖尿病性神経障害を有する 3 名と他の 10 名を比較すると、糖尿病性神経障害患者の裸足条件 0.67 ± 0.26 kg/cm²*sec, 靴着用条件 0.41 ± 0.08 kg/cm²*sec, その他 10 名の裸足条件 0.43 ± 0.07 kg/cm²*sec, 靴着用条件 0.3 ± 0.06 kg/cm²*sec であり、裸足条件・靴着用条件のいずれも糖尿病性神経障害患者の値が高い結果となった。

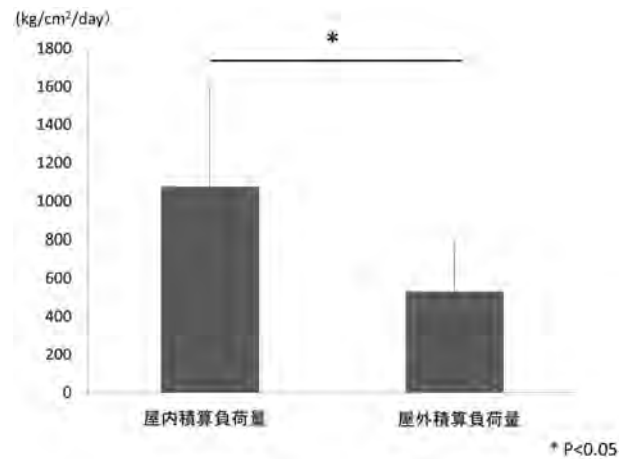


図 2. 積算負荷量の比較

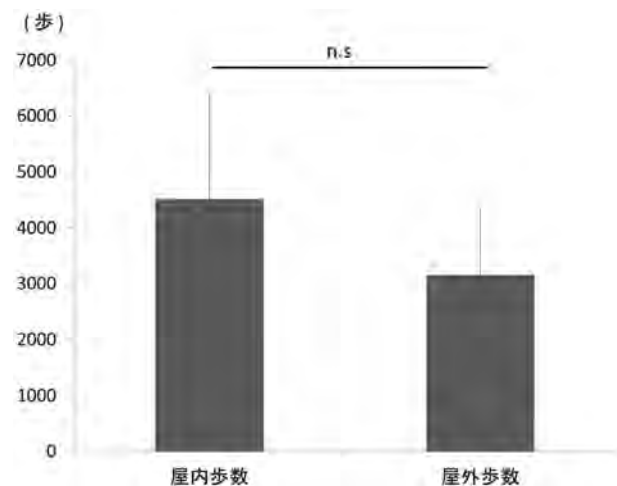


図 3. 活動量の比較

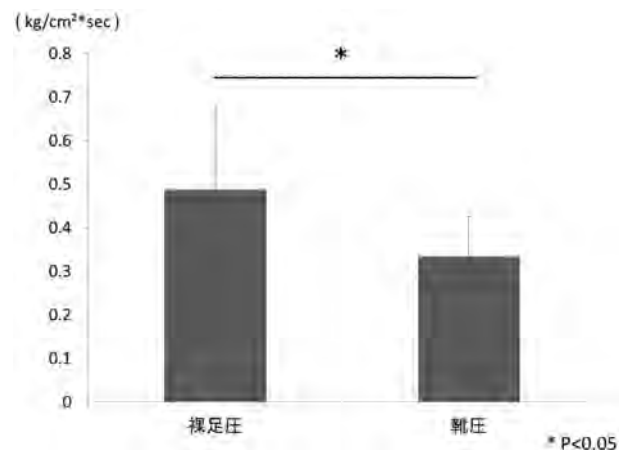


図 4. 足底圧の比較

考察

一日当たりの積算負荷量を屋内外の負荷量に区別して算出すると、一日当たりの負荷量の内訳は、屋内活動時の負荷量が屋外活動時の負荷量よりも大きいことが明らかとなった。Malufら⁸⁾は除圧治療靴を着用した糖尿病症例の足底圧と一日の活動量から積算負荷量を算出し、積算負荷量が非糖尿病症例より小さかったことを報告している。本研究において屋内活動について調査したことで、靴を着用しない環境での力学的負荷が大きいたことが新たに確認された。

足底圧について、裸足条件の足底圧は靴着用条件に比較して有意に高かった。これは健常者においても靴着用により足底圧が有意に軽減されることを示す先行研究⁷⁾の所見と一致している。ここでは最大足底圧の軽減が得られた理由として、靴を着用することで足底の接触面積が増加し、足底圧の集中を回避できることが挙げられている。本研究では、靴着用時の足底接触面積の測定は行っていないが、対象者のうち4例は医師に処方された減圧治療靴を着用していたため、靴着用により足底接触面積が増加し、足底圧の軽減が得られたものとする。また、糖尿病性神経障害を有する対象者は、症例数としては少ないが、その他の対象者に比較して足底圧が高く、積算負荷量も高い傾向がみられた。一方で、靴着用による減圧の効果は他の対象者よりも大きかった。この結果は、糖尿病患者の足部潰瘍形成予防策として靴の着用が推奨される根拠のひとつになり得ると考えられる。

活動量について、屋内活動量と屋外活動量を比較した先行研究はみられないが、本研究において対象者の屋内活動量と屋外活動量の間に有意差はみられなかった。したがって、屋内外積算負荷量の差は足底圧に規定されると考えられる。

足底圧と潰瘍発生の関係についての先行研究では、歩行時最大足底圧が $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上あるいは $10\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上の症例で潰瘍発生の相対危険率が上昇するという報告^{2), 12)}があるが、潰瘍を発生させる閾値について完全な合意は得られていない。平地歩行に比較して階段昇降や方向転換時の足底圧が高くなるなど生活動作による違い¹³⁾や、一日の活動時間の内訳は歩行が約5%程度であるのに対し、立位の時間は約15%と高い割合を占めるという報告¹⁴⁾から、歩行以外の動作で加わる負荷量も考慮した積算負荷量を調査することが望まれる。

本研究の限界について、足底圧は床の材質¹⁵⁾・靴の種類¹⁶⁾・歩行速度³⁾などによって異なるが、

本研究では測定時の環境での足底圧（屋内は裸足、屋外は測定時の靴、床は測定時の床、歩行速度は快適速度）で生活していると仮定して積算負荷量を算出している点が挙げられる。また、今回使用した歩数計は、階段昇降・方向転換などの動作の違いや、立位・座位などの姿勢の違いを区別することはできないため、これらの動作・姿勢に伴う負荷量の影響を考慮することはできなかった。厳密な積算負荷量を測定するためには、足底にセンサーシートを取り付けて24時間の足底圧を測定するような機器が必要である。本研究の積算負荷量は概算の値であるが、屋内環境によって積算負荷量が増大する可能性があることを示唆することができた。このことは、環境を改善するための一助になり得ると考えられる。

結論

糖尿病患者の足底圧と活動量から求めた一日当たりの積算負荷量の内訳をみると、屋外活動時よりも屋内活動時の値の方が大きいことが明らかとなり、糖尿病患者の足底にかかる力学的負荷量の管理には屋内の足底圧や活動状況を考慮する必要があるということが確認された。

謝辞

本研究にご協力頂いた被験者の皆様、また測定にご協力頂いた病院職員の皆様に心より感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) Apelqvist J, Larsson J, et al: Long-term prognosis for diabetic patients with foot ulcers. *J Intern Med.* 1993; 233: 485-491.
- 2) Frykberg RG, Harvey C, et al: Role of neuropathy and high foot pressures in diabetic foot ulceration. *Diabetes Care.* 1998; 21: 1714-1719.
- 3) Apelqvist J, Larsson J, et al: The influence of external precipitating factors and peripheral neuropathy on the development and outcome of diabetic foot ulcer. *J Diabet Complications.* 1990; 4: 21-25.
- 4) Peters EJ, Armstrong DG, et al: Risk factors for recurrent diabetic foot ulcers. *Diabetes Care.* 2007; 30: 2077-2079.
- 5) 青木主税, 金森晃・他: 糖尿病性神経障害患者における歩行時の足底圧および靴中敷きのクッション効果について. *北里医学.* 1997; 27: 230-237.

- 6) Lavery LA, Armstrong DG, et al : Predictive value of foot pressure assessment as part of a population-based diabetes disease management program. *Diabetes Care*. 2003; 26: 1069-1073.
- 7) Burnfield JM, Few CD, et al : The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults. *Clin Biomech*. 2004; 19: 78-84.
- 8) Maluf KS, Mueller MJ : Comparison of physical activity and cumulative plantar tissue stress among subjects with and without diabetes mellitus and a history of recurrent plantar ulcers. *Clin Biomech*. 2003; 18: 567-575.
- 9) Armstrong DG, Nixon BP, et al : Activity patterns of patients with diabetic foot ulceration. *Diabetes Care*. 2003; 26: 2595-2597.
- 10) Pitei DL, Foster A, et al: The effect of regular callus removal on foot pressures. *J Foot Ankle Surg*. 1999; 38: 251-306.
- 11) Cavanagh PR, Bus PA : Off-Loading the Diabetic Foot for Ulcer Prevention and Healing. *Plast Reconstr Surg*. 2011; 127: 248-256.
- 12) Murray HJ, Young MJ, et al : The association between callus formation, high pressures and neuropathy in diabetic foot ulceration. *Diabetic Med*. 1996; 13: 979-982.
- 13) Rozema A, Ulbrecht JS, et al : In-shoe plantar pressures during activities of daily living: implications for therapeutic footwear design. *Foot Ankel Int*. 1996; 17: 352-359.
- 14) Najafi B, Crews RT, et al: Importance of time spent standing for those at risk of diabetic foot ulceration. *Diabetic Care*. 2010; 33: 2448-2450.
- 15) Na seokhee, Chung MK, et al: Ergonomic Evaluation of Three Types of Inner-Room Floor Mats by Using In-Shoe and Platform Type Pressure Measurement Systems. *産業医科大学雑誌* . 2011; 33: 1-10.
- 16) Perry JE, Ulbrecht JS, et al: The use of running shoes to reduce plantar pressures in patients who have diabetes. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1995; 77: 1819-1828.