

凍結路面における歩行の練習手段の提案

A proposal of a walking training device on a slippery surface

泉 隆† 田中 敏明‡ 白銀 暁*
Takashi Izumi Toshiaki Tanaka Satoshi Shirogane

1. まえがき

積雪寒冷地では冬期間に路面が凍結するため、歩行中の転倒事故が多数発生している。転倒の原因を特定することは簡単ではないが、歩行時の姿勢の安定性を高めることは転倒予防に重要であると考えられる。従来から北国では、滑りやすい路面では、踵や爪先だけを接地する姿勢を避けて、足底全面を接地する姿勢を取ることが行われている(全足接地歩行; いわゆる「ペタペタ歩き」, 「冬歩き」)。凍結路面の歩行に不慣れな人のために、適切な歩行方法の体得を支援する装置があれば、転倒予防につながる有用であろう。また、踵荷重の姿勢をとる傾向が高い高齢者が自分の歩容を認識する手段としても有用であろう。

筆者らは従来から起立歩行時の姿勢の安定化や転倒予防を目的としたバランストレーニング方法や足部に振動触覚情報をフィードバックする技術開発を手がけてきた[1]。本稿では、姿勢制御が重要となる凍結路面上での姿勢安定にかかる具体的な応用事案として、足底の接地状態を検出する機能を搭載した靴と練習用インタフェースによって練習者が自分の歩行中の足底の状態を意識することで適切な歩容を体得する方法を提案する。

2. 足底の接地状態の検出方法と歩行練習の方法

2.1 歩容と足底の接地

歩行周期中、遊脚層にある足は前方へ振り出され踵から接地し立脚層に入る。体幹の前進に合わせて足底全面が接地し、その後、踵から浮き上がり、最後に爪先が離れて遊脚層に移る(踵接地歩行; いわゆる「夏歩き」)。踵の接地、足底全体の接地、爪先の接地、という状態は連続的かつ周期的に遷移する。ところで、両足の靴の踵部と爪先部に接地を検出するセンサを搭載することで、踵と爪先が地面に接触/離反するタイミングを測定することができる。このようなセンサを搭載した靴を履くと「夏歩き」と「冬歩き」とでは、センサの on/off の時間パターンが異なることが予想される。従って、踵部と爪先部の接地センサが on である時間と off である時間を測定すれば、踵だけ、あるいは、爪先だけが接地している時間と両者が接地している時間の多寡を両足について定量的に比較することで、結局、「夏歩き」と「冬歩き」を弁別することが可能になると考えられる。

2.2 歩行練習の方法の提案

上述のように、歩行中の両足の接地状態は、(1)足が浮いている、(2)踵部だけが接地している、(3)爪先部だけが接地している、(4)踵部と爪先部の両方共に接地している、の

† 東海大学生物理工学部 Tokai Univ.

‡ 東京大学先端科学技術研究センター Univ. of Tokyo

* 埼玉県立大学保健医療福祉学部 Saitama Pref. Univ.

四つの状態のいずれかである。歩行リズムの時間スケールは秒オーダーで進行し、身体運動制御の精度は 100ms オーダーで議論すれば十分とすれば、センサの状態を 10ms 程度の時間間隔でサンプルして計数すれば十分である。以上を踏まえて、本稿では次のような歩行練習方法を提案する:

- 練習者は、任意の平坦な路面上を通常の歩行と同様に歩くことで歩行練習を行う。
- 足底の接地状態を検出するセンサを搭載した靴を履く。
- 練習者は、予め決まった歩数の歩行を行い、その歩行中の足底の接地状態を計測し記録する。
- 歩行練習の直後に歩容が「夏歩き」か「冬歩き」かを判定した結果が表示される。
- 練習者は、結果表示を参考にして歩容を調整し、再度の歩行練習に挑む。

以上のような手順を反復することで「冬歩き」を体得することができると考えられる。

3. 試作装置

3.1 歩行練習靴

一般的な人の足の大きさを考慮して、23, 25, 27cm の三種類の大きさで靴底が平坦な靴を用意した。平坦な靴底は市販品では数が少ないが、センサを安定的に貼付するために必須である。機械的耐久性が高いテープスイッチ(東京センサ; LH-040; 基部長 57mm, 接触検出部長 17mm, 検出部高さ 6mm)を踵部と爪先部の接地検出センサとして採用した。



図1 靴底にテープスイッチと硬質スポンジを貼付した歩行練習靴

センサを靴底に装着するには適正な位置がある。爪先部のセンサは、第一中足骨の骨頭の直下が、踵部のセンサは踵骨の骨底の直下が適正な位置である。例えば、店頭での表示サイズが 25.0cm の靴では、靴底の爪先から踵へ向かう最も長い距離は 280mm であった。この靴で爪先部のセ

ンサは爪先から 88mm (靴底の長さに対して爪先から 31.4%) の位置、踵部のセンサは同じく 230mm (82.1%) の位置に検出部の中心部分を設置すると、足底を平坦に接地した時に両センサが適切に動作することを確認した。

靴底にセンサを取り付けるだけの状態では、センサが靴底から突出し歩行中に違和感を感じるため、これを避けるため、センサを貼付しない部分にセンサと同等の厚さの硬質スポンジを貼り付けて靴底を概ね平坦にした。試作した靴の例を図 1 に示す。

3.2 歩容の判定・表示装置

両足の靴底のセンサからケーブルが引き出されるので、これらをまとめて歩行中に邪魔にならないようにする。複数のケーブルは、右足・左足毎に結束でまとめ、下腿と大腿の外側に沿って腰部に至り、腰部で装置本体にコネクタを介して接続する。大腿と下腿では、ケーブルが下肢から離れないように紐帯で緩く押さえる。

装置は、歩行中に左右の足が 4 つの状態のいずれかをとる時間割合を集計し計算する機能、計算結果から歩容が「夏歩き」と「冬歩き」の間でどの程度であるかを判定する機能、および、判定結果を表示する機能を持っている。これらの機能を小さな筐体内で実現するために入出力機能を備えたマイクロプロセッサ (PIC16F819 等) を採用した。

歩行練習中は、練習者は特段の構えや意識をせずに普段通りに歩行ができることが望ましく、装置は軽量で両手が自由であることが望ましい。試作装置の本体部分の重量はおよそ 160g であり、紐で首に掛けて使用できる。また、ウエストポーチ等に入れて使用することも可能である。歩容の判定・表示を行う本体装置の例を図 2 に示す。



図 2 歩容の判定・表示装置

3.3 歩行練習インタフェース

装置用に開発したソフトウェアは単純な構成とし、特殊な工夫は行っていない。左右の足から爪先と踵のセンサの情報を入力し、左右の足で別々に 4 つの状態を判別して計数する。練習者は予め決められた歩数 (例えば 10 歩や 30 歩など) を歩くと、計測が終了したことが表示され、続いて歩容の判定結果が LED の点灯によって表示される。図 2 は最も簡単な表示方法の例で、「冬歩き」であるか、あるいは「夏歩き」であるかを左右の足で別々に表示するインタフェースである。練習者は、直前に歩いた歩容を思い出しながら、左右の足の使い方や接地の仕方を確認し、必要に応じて反省することができる。その後、装置をリセット

して改めて歩行練習を繰り返すことで、歩容を改善する練習が行える仕組みになっている。

4. 考察と展望

試作した靴と装置を健康な高齢者に使用してもらい感想を収集した。それによれば、凍結路面での歩き方を頭で考えるだけでなく体を動かして体得する練習方法に対して多くの肯定的意見があった。基本的に、提案した方法で冬季凍結路面を想定した歩行練習を行うことについては実効性が期待できそうである。他方で、靴と装置がケーブルで繋がっているために歩行中に反対側の足に接触して歩きにくいこと、LED 表示が二段階表示ではゲーム性がなく練習意欲に繋がらず飽きやすいこと、そもそもペタペタ歩く姿が見た目に格好悪く人前では実行したくないなどの意見が出された。

今回は、市販の靴を用いて練習靴を試作したが、もとより靴の形状は意匠によるバラツキがあり、人の足部の解剖学的形状にも個人差が見られる。従って本提案を発展させるためには、異なる形状の靴を用いて足部の体型が様々な練習者に対応した練習靴を試作するなど、応用経験を積み上げる必要がある。基礎的なデータの蓄積を目指したい。また、足底の接地の様子がきめ細かく表示されると歩容の変化が理解されやすくなるので表示方法を改めること、実際の冬道での歩行練習の方法を考案すること、歩行中にケーブルが邪魔にならないように無線化を行うことなど、実用性を踏まえた改良にも手間を掛けてゆきたい。

本稿では、「冬歩き」の歩容が凍結路面での転倒予防に対して有効であるかどうかを検討せずに、いわば見切り発車的に歩行練習靴を試作している。今後は、試作装置を用いて滑りやすい路面における歩行時の歩容を測定することができるので、「冬歩き」と「夏歩き」の歩容の違いが、姿勢動揺の大きさや転倒しそうな状態からの回復のしやすさなどに対してどのように関わっているのかを客観的に調べる所存である。さらに、その結果を踏まえて、凍結路面における安全な歩容を究明し、その体得方法を洗練させてゆきたい。

参考文献

- [1] 田中敏明, 泉 隆, 敦賀健志, 大村昭紀, “皮膚感覚刺激を付与する装置および方法,” 特許公報(B2), 特許第 4690890 号, 平成 23 年 6 月 1 日発行。