

知覚入力型インソール開発のための基礎的研究－足底感覚による動作指導とその効果検証－

The development of the “perceptual stimulus insole”

- effects of gait instruction through plantar facilitation -

○ 長谷川正哉，島谷康司（県立広島大学），山本征孝（兵庫県立淡路医療センター）

佐藤慎也（島根大学医学部附属病院），島田雅史（広島大学スポーツ医科学センター）

Masaki Hasegawa, Koji Shimatani, Hiroshima Prefectural University

Masataka Yamamoto, Hyogo Prefectural Awaji Medical Center

Shinya Sato, Shimane University Hospital

Masashi Shimada, Hiroshima University Hospital Sports Medical Center

Abstract: We developed the perceptual stimulus insole (PSI), a device with projections inserted on it to guide the direction of movement of the center of foot pressure and the site of contact during movement. By stepping on a PSI projection while walking, the wearer can identify the target movement to be performed. In this study, we focused on the knee adduction moment, a moment related to osteoarthritis of the knee. The subjects were eight healthy men. We used a PSI with four projections on the plantar cutaneous area and instructed the subjects to use the projections to determine which area of the sole of the foot to make contact with the ground during the stance phase. Our results revealed that the knee adduction moment decreased while wearing the PSI with medial projections. These results may help lead to the development of a conservative treatment for knee osteoarthritis.

Key Words: Perception, Insole, Motor Control, Osteoarthritis of the knee

1. はじめに

1.1 足底荷重位置と動作について

インソールや装具などを用いた『他動的・受動的』な介入により，足底の荷重位置や足底圧軌跡（Center of foot pressure, 以下 COP 軌跡）が変化し，下肢関節動態に影響することが報告されている。

一方，スポーツ現場などで動作指導を行う際「親指の付け根に体重をかけて」や「踵は浮かせたまま」など，足底の荷重位置に意識を向けさせることで『自動的・能動的』なフォーム変容を促すような介入が実施されている。臨床現場においても同様であり，歩行指導を行う際には足底荷重位置や COP 軌跡の指導を行う。

しかし，我々が実施した先行研究によると COP 軌跡の伝達において「踵から着地して」「つま先で蹴り出して」などの言語を用いた指導では指導者の意図が被験者に十分伝わらず，遂行される動作の正確性や再現性が低いことを確認されている（図 1）。このような場合，指導者と学習者の想起する運動のイメージに齟齬が生じ，運動の学習過程に影響を及ぼすことが推測される。一方，臨床現場ではデモンストレーションなど視覚による情報伝達やハンドリングといった体性感覚を用いた情報伝達が行われており，教示内容や学習者の特徴によって情報の伝達手段が使い分けられている。

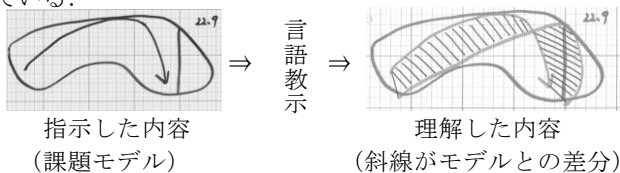


Figure 1 Verbal Instruction

1.2 知覚入力型インソールについて

そこで，我々の研究グループでは足底感覚入力を用いた情報伝達手法について検討を進めている。例えば，靴の中

に小石が入った状態をイメージして頂きたい。もし痛みがなければ小石の接触部位や荷重圧が増減するタイミングなどを知覚しながら歩行を続けることが可能である。これを動作中の着地位置，COP の移動方向や蹴りだし位置の教示に応用できないかと考えており，先行研究にて知覚入力型インソール（Perceptual Stimulus Insole, 以下 PSI）を開発した⁽¹⁾。

PSI はフラットなインソール上に足底感覚を刺激する 5 mm～10mm 程度の突起を設置し，着用者にはこの突起を踏みながら動作を行うように指導する。指導者は自身のイメージする荷重位置や COP 軌跡を突起によって表現する事が可能となり，一方，着用者は指導者の意図する様々なパターンの COP 軌跡を足底感覚を用いてダイレクトに理解することが可能となる（図 2）。

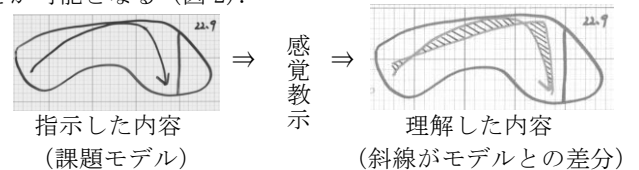


Figure 2 Sensory Instruction

1.3 PSI による動作指導の効果

先行研究の結果，PSI を用いた初期接地位置の教示により足関節背屈角度やトゥクリアランスの上昇が確認され，また COP 軌跡の教示により，実際の COP 軌跡と下肢アライメントが変化することを確認した（図 3）。



Figure3 Change in gait

2. 目的

PSI を用いた先行研究にて，COP 軌跡の制御課題中における下肢アライメントの変化が確認されたため，本研究では PSI 使用時における膝関節モーメントの変化について調査し，その応用可能性について検討することとした。

3. 対象と方法

3.1 対象

対象は既往の無い健康成人男性 8 名とした．平均年齢 25.2±6.3 歳，身長 172.7±5.8cm，体重 66.3±8.7kg であった．なお，本研究はヘルシンキ宣言に基づき実施され，実験前に被験者に内容を説明し，同意を得た後に実験を実施した。

3.2 知覚入力型インソールの設定

本研究で用いる PSI の設定方法として，踵後外側部，踵後内側部，小趾球部，母趾球部に接触するプラスチック性の半球形シールをインソール上に貼付した．半球形シールはまず 5 mm を基準とし，被験者が足底にて知覚できない場合は 7mm, 9mm と知覚可能なサイズの突起に変更した．また，被験者の足サイズを計測し，JIS 規格に基づいた靴サイズとその靴サイズに対応する PSI を着用させた。

なお実験条件は踵後内側部と母趾球部の突起に荷重しながら踏み返し動作を行う内側突起条件，踵後外側部と小趾球部に荷重しながら踏み返し動作を行う外側突起条件および何も指示を与えないコントロール条件の 3 条件とした。

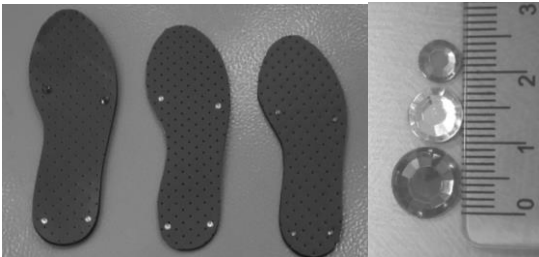


Figure 4 Perceptual Stimulus Insole

3.3 実験方法

使用機器は赤外線カメラ 12 台と床反力計 6 枚を含む三次元動作解析装置を用いた．赤外線反射マーカーは Plug-InGait Lower Body Model に準拠し，これに膝関節内側上顆 2 点，足関節内踝 2 点を追加した 22 点を被験者に貼付した。

なお，本研究では各条件における踏み返し動作中の前額面上の膝関節モーメント（外部内転／外転，+で内転）に着目し，初期接地～荷重応答期に発生する第 1 ピーク，立脚中期以降に発生する第 2 ピークを抽出した．各条件 5 試行ずつ実施させ，最大値，最小値を除いた 3 試行分の平均値を求めた．統計処理には Friedman 検定および Scheffe の対比較法を用いて比較検討した．統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

4. 結果

膝関節内転モーメントの第 1 ピークは Control 条件 0.46 ± 0.15Nm/kg，内側条件 0.34 ± 0.16Nm/kg，外側条件 0.54 ± 0.18Nm/kg となり，内側条件-外側条件間に有意差を認めた ($p < 0.01$)．次に，第 2 ピークは Control 条件 0.29 ± 0.08Nm/kg，内側条件 0.23 ± 0.08Nm/kg，外側条件 0.36 ± 0.07Nm/kg となり，内側条件-外側条件間に有意差を認めた ($p < 0.01$)．代表例のグラフを図 5 に示す。

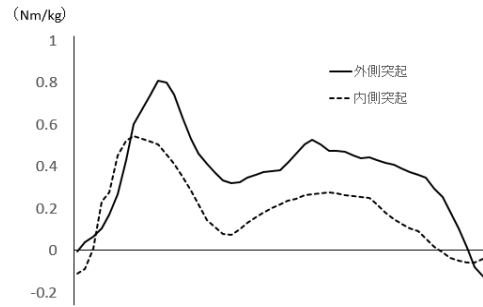


Figure5 Knee joint moment (stance phase)

5. 考察

本研究結果より，PSI 着用条件における関節モーメントの変化が確認された。

この理由について検討する．建内ら⁽²⁾は運動連鎖について説明しており，足底面内で荷重位置が偏移すると全身の力学的平衡を保つためにアライメントに変化が生じ，足部内側荷重では X 脚方向に，足部外側荷重では O 脚方向に下肢アライメントが誘導されることを報告している．これを我々の先行研究および本研究結果に照合すると，内側突起条件では X 脚方向に，外側突起条件では O 脚方向に下肢アライメントを変化させながら動作を行うこととなり，床反力ベクトルと関節中心までの距離が増減し，膝関節モーメントに影響が及ぶものと考えられる。

また，膝関節内転モーメントについては内側型変形性膝関節症との関係性が報告されている．従来の内側型変形性膝関節症に対する介入手法として，外側ウェッジや膝装具などを用いて下肢アライメントや荷重位置を矯正し，膝関節内転モーメントを軽減する手法が一般的であった⁽³⁾．

一方，本研究では内側突起条件においてこの膝関節内転モーメントが減少していることから，PSI を用いた COP 軌跡の教示により従来の介入手法と類似した効果を発揮する可能性が示唆された。

研究の限界として，本研究では健康成人を対象としており，実際の変形性膝関節症者を対象としていない．今後，X 脚や O 脚の対象での検証を進めるとともに，症例を対象とした検証を進める必要がある。

6. 総括

本研究では PSI による足底感覚入力と課題指示が踏み返し動作中の膝関節モーメントに与える影響について調査した．結果，内側突起条件，外側突起条件において膝関節モーメントの変化が確認された．膝関節内転モーメントは内側型変形性膝関節症との関連が指摘されていることから，新たな介入戦略として PSI の利用が期待できる．なお，本研究の一部は平成 28 年度科学研究費助成（若手研究 B：課題番号 No. 16K21297）を受け実施した。

参考文献

- (1) 長谷川正哉，島谷康司，知覚入力型インソールを用いた後足部への感覚入力と選択的注意が歩容に与える影響，靴の医学，Vol. 28，No. 2，pp. 30-34，2014．
- (2) 樋口貴広，建内宏重，運動連鎖と姿勢制御，姿勢と歩行-協調からひも解く，pp. 59-86，三輪書店，2015．
- (3) 鳥山実，出家正隆，内側型変形性膝関節症に対する膝外反装具の長期使用による歩行動作への影響，臨床バイオメカニクス，Vol. 33，pp. 321-327，2012．