

主論文の要旨

**The Biomechanical Effect of the Sensomotor Insole on  
a Pediatric Intoeing Gait**

〔 小児の内旋歩行における固有受容器足底板の  
生体力学的影響 〕

名古屋大学大学院医学系研究科 機能構築医学専攻  
運動・形態外科学講座 整形外科学分野

(指導：石黒 直樹 教授)

馬淵 晃好

## 【緒言】

小児の内旋歩行は、小児整形外科領域において、最も一般的な問題として、しばしば、両親から相談を受ける歩行異常のひとつである。永続的な障害の遺残や、身体能力の成長発達への影響、治療方法の相談が、整形外科に求められる。内旋歩行は易転倒性を伴うことがある。歩行異常の矯正のために、歩行パターンの改善を目的とした非侵襲的な治療のひとつとして足底板療法が選択される。

固有受容器足底板（以下 SMI）は、1991 年にドイツのシューマイスターであるローター・ヤーリングによって、小児の痙性歩行における異常な歩行パターンを矯正して改善することを目的に開発された。SMI は、足底の固有受容器をバーで刺激することにより、下肢の筋緊張を変化させ、全身姿勢の安定化と運動プロセスを矯正する意図で開発された。ヤーリングは、SMI を用いて、脳性麻痺患者の異常な歩行パターンが改善されること示した。この情報を元に、小児の内旋歩行に SMI を用いたところ、脳性まひ患者よりも大きな歩行パターンの変化が起きた。本研究は、SMI が小児の内旋歩行に及ぼす効果を定量化するため、三次元動作解析による歩行解析で評価する目的で行われた。

## 【対象及び方法】

名古屋大学附属病院において 2009 年 1 月から 2010 年 12 月の間に、小児の内旋歩行に対して、SMI を使用して足底板療法を行った患者を対象とした。患者は、全員が未成年であり、患者の両親に説明を行い、同意が得られた場合にのみ、本研究への参加を認めた。足関節の可動域が  $30^{\circ}$  以下の患者、前足部の外転が  $10^{\circ}$  以下の患者は対象から除外した。他の方法で歩行分析を受けた患者も対象から除外した。非協力的で動作分析が不可能な年齢の低い小児の患者も対象から除外した。最終的に本研究に参加したのは、10 名の患者で平均年齢 5.6 歳（3 歳から 9 歳）であった（Table 1）。患者は、両側または片側の内旋歩行を有する男児 5 名、女児 5 名で、8 名の患者に両側の内旋歩行があり、1 名が右側のみ、1 名が左側のみ内旋歩行であった。6 名が先天性内反足であり、以前にギプス矯正と装具による治療を受けていた。さらに 2 名の患者は、軟部組織の切離術を受けていた。4 名が特発性に内旋歩行を呈する患者であった。下肢の内旋は、Staheli らの述べる方法（股関節の内外旋を元に、大腿前捻角の大きさを計測、下腿と足のなす角度により、下腿内捻角の大きさを計測、中足骨の内転を評価して足の外縁の形態の計測）によって評価した（Staheli, 1985）。

SMI は、固有受容器を刺激する四つのバー（外側ヒールバー、内側ヒールバー、レトロバー、トゥーバー）と、ラストバー（外側ウェッジ）で構成されている。患者に適合した足底板を作製するにあたり、熟練した義肢装具師により各バーを足底板の元になる基部にマジックテープで取り付けられた仮の足底板を使って、トライアルを行い、歩行パターンの変化を観察しながら、バーの配置を調節した。最終的なバーの配置が決まった後で、本物の SMI の作製を行なった。

動作解析には、VICON 3D モーションシステム（VICON MX system, Oxford, UK）

を使用した。対象は、5m の歩行路を任意の速度で歩き、その間に身体の骨盤と両下肢に貼り付けた 16 個の赤外線マーカーを 6 台のカメラで撮影した。撮影は 100Hz で行った。被験者の靴は SMI を使用した場合、使用しなかった場合で同じ靴を用いた。SMI を使用した場合と使用しなかった場合の二つの状況下で、VICON MX の Plug-in gait model を使い、経時的な股関節、膝関節、足関節の角度変化と、歩行速度、歩幅、ケーデンスを求めた。一歩行周期ごとのデータの解析を行うために、VICON normalizer ver.1.54 を使用した。歩行周期の各相は Perry の歩行解析に準じて決定した (Perry, 1992)。

検定には、SPSS ver.16.0 を使用して、SMI を使用した場合、使用しなかった場合の 2 群間の有意差を Paired t-test ( $P < 0.05$ ) で求めた。

### 【結果】

6 名の内反足の患者は、後足部に変形がなく、中足部が内転していた。4 名の特発性に内旋歩行を呈する患者のうち、3 名に大腿骨前捻があり、2 名に、脛骨内捻があった (Table 1)。臨床的に歩行パターンの改善は、SMI を使用した場合にほとんどの患者で示された。

SMI を使用した場合としない場合で、患者の股関節、膝関節における水平面の動きに有意差があった。SMI を使用すると、ローディングレスポンス (以下 LR) において、骨盤に対する大腿近位の外旋が有意に増加した ( $18.3^\circ \pm 28.1^\circ$  vs  $21.6^\circ \pm 28.0^\circ$ ,  $p = 0.009$ ) (Table 2, Fig. 2)。ターミナルスイング (以下 TSw) においても有意に外旋が増加した ( $16.3^\circ \pm 27.4^\circ$  vs  $19.0^\circ \pm 26.4^\circ$ ,  $p = 0.047$ )。また、SMI を使用すると、ミッドスタンス (以下 MSt) において、大腿に対する下腿の内旋が減少した ( $-0.7^\circ \pm 12.5^\circ$  vs  $2.0^\circ \pm 14.9^\circ$ ,  $p = 0.03$ ) (Table 3, Fig. 3)。ターミナルスタンス (以下 TSt) においても、内旋が減少した ( $-1.4^\circ \pm 11.9^\circ$  vs  $2.3^\circ \pm 14.5^\circ$ ,  $p = 0.042$ )。矢上面と、前額面において、股関節、膝関節の運動は変化がなかった。足関節背屈は、LR と TSw において増加した。そして、足関節背屈は TSt で、減少した。SMI を使用すると、有意に歩行速度の増加 ( $67.9$  m/min vs  $64.9$  m/min,  $p < 0.001$ ) と、歩幅の増加 ( $500$  mm vs  $477$  mm,  $p < 0.001$ ) があった (Table 4)。一方で、SMI を使用した場合と、使用しなかった場合のケーデンスに変化はなかった ( $137.6$  steps/min vs  $136.7$  steps/min,  $p = 0.89$ )。

### 【考察】

小児の内旋歩行のマネージメントにおいて、原因を診断して自然経過を理解することが重要である (Li と Leong, 1999)。下肢の捻れ変形がどの高さ (大腿骨前捻、脛骨内捻、中足骨内反) にあるのかを同定することが、治療の計画を立てるのに必要なポイントである (Thackeray と Beeson, 1996)。しかしながら、本研究の結果からは、SMI は、特発性の内旋歩行だけではなく、先天性の内反足に伴う内旋歩行においても、歩行パターンを変化させた。被験者の下肢の捻れ変形の高さはまちまちであった。SMI は、下肢の捻れ変形に対して直接的な構造変化を起こさせずに、歩行パターンを変化させることができる。したがって、小児の内旋歩行のマネージメントに対して効果的

な治療オプションとして使うことができる。

正常な歩行では、立脚初期の LR において下腿内旋運動が起きる (Levangie と Norkin, 2005)。歩行中の足の内外旋は、立脚中期における歩行の進行方向と、足の長軸の向きによって表される歩向角で示されるが、歩向角は、外側ウェッジを使用すると内旋し、外側ウェッジと、アーチサポートを使用すると外旋する (Nakajima, 2009)。SMI の構造には、外側ウェッジとアーチサポートに相当する外側ヒールバーと内側ヒールバーがある。本研究の結果では、SMI を使用することにより、下肢の内旋運動が減少して、遊脚期の終わり (TSw) から、立脚初期 (LR) にかけて大腿近位内旋が減少し、立脚中期の MSt から TSt の間に下腿内旋が減少している。足底板が股関節、膝関節へ及ぼす影響はよく分かっていないが、下腿、足関節、足部のアライメントは、踵骨の内外反による影響を受けることは知られている (Levangie と Norkin, 2005)。我々は、立脚初期の踵接地において、SMI の内側ヒールバーと外側ヒールバーにより、踵骨が中間位に保持されて、下腿内旋を抑制していると考えている (Fig 4)。

SMI の働きは、内旋歩行における下肢内旋の変化に加えて、小児の歩行速度と歩幅を有意に増加する。本研究では、SMI を使用した場合と、使用しなかった場合の間で 1 分間あたりの歩数 (ケーデンス) には有意差が無かった。歩行速度は、歩幅とケーデンスの乗算に正の相関をすることから、SMI による歩行速度の増加は、歩幅の増加によるものである。歩幅は、歩行の進行方向に対する骨盤の回旋が大きくなれば増加する (Perry, 1992)。SMI は、遊脚期の終わりから立脚初期の間で、骨盤に対する大腿外旋を増加させているため、進行方向に対する骨盤の回旋は大きくなり、そのため、歩幅が増加する。

## 【結語】

小児の内旋歩行の治療に使用した SMI の影響を、三次元動作解析による歩行分析で検討した。SMI を使用した場合、特発性、先天性内反足による足の変形に関係なく、遊脚終期と立脚初期における股関節での骨盤に対する大腿近位の外旋は増加した。SMI を使用した場合、立脚中期における下腿の内旋は減少した。SMI は、小児の内旋歩行の歩行パターンを変化させ、歩行速度、歩幅を増加する。