スプリング内蔵型松葉杖が杖歩行時の上肢体幹筋活動および荷重安定性に及ぼす影響

○横田 知明（九州大学大学院芸術工学府）

村木 里志（九州大学大学院芸術工学研究院）

Effects of Spring-loaded Axillary Crutches on Stability and Upper-body's Muscle Activity during the Ambulation

Tomoaki YOKOTA (Graduate School of Design, Kyushu University),

Satoshi MURAKI (Faculty of Design, Kyushu University)

1. はじめに

松葉杖は安定性が高く、杖により多くの体重をかけることができる反面、上肢への負担は大きくなる。特に手部において痛みの訴えが多く、杖が着地する際の衝撃や荷重時の手掌への圧迫が原因として考えられる。これに対して筆者らはグリップの太さに着目し、適度な太さで手掌への圧迫が軽減できることを示した¹⁾。一方、使用者が感じる手部の痛みは低減されず、杖着地時の衝撃による影響が大きいと考えられた。そこで支柱にスプリングを組み込んだ松葉杖（Spring-Loaded Crutches, SLC）に注目した。SLCは杖着地時の衝撃を緩和し、良い使用感をもたらすことが示されている。しかしながらスプリングが作用する間の杖の不安定性が懸念されており²⁾、これに伴って上肢体幹に余計な力が生じる可能性がある。

杖を使用する目的のひとつは安定性の向上である。しかしSLCの性能を決定するスプリングのばね定数の設定において、荷重時の安定性も含めて検討した研究は見られない。そこで本研究では、SLCを用いた片足完全免荷3点歩行時の杖荷重安定性と内蔵したスプリングのばね定数との関係を明らかにすることを目的とした。また、上肢体幹への負担を評価するためにばね定数と上肢体幹筋活動量との関係を検討した。

2. 方法

2 - 1. 対象者

対象者の体重によって杖荷重時のスプリング動態が変化することが考えられるため、体重が65kg程度の被験者を選定し、上下肢に疾患のない右利きの健常成人男性12名を対象とした（平均年齢23.6±1.0歳、平均身長171.4±4.6cm、平均体重63.5±3.7kg）。被験者には実験の目的および方法を十分に説明した後、実験参加の同意を得た。

2 - 2. 条件

従来型の松葉杖としてアルミ製松葉杖1組を用いた（ST条件）。SLCには従来型と同型のアルミ製松葉杖を加工し、支柱にスプリングユニットを装着したもの1組を用いた（図1）。スプリングのばね定数は体重65kgの杖使用者が荷重によって30mm圧縮させることができる10.6N/mmを基準とした。実験では、入手できるもののうち最も近い10.7N/mm（SPmid条件）に加え、7.2N/mm（SPlow条件）、15.7N/mm（SPhi条件）のばね定数を持つスプリングを使用した。これらのスプリングには予め30Nの負荷をかけてスプリングを安定させた。

図1. スプリングユニット

2 - 3. 実験手順

まず被験者の身長に合わせて松葉杖の長さおよびグリップ部の高さを調節した。次に歩行方法を指導し、歩行が安定するまで10分程度練習を行わせた。歩行方法は2本の松葉杖を使用し、片側下肢に体重をかけない3点歩行とした。歩調は80steps/minとし、メトロノームのテンポに合わせて歩行させた。歩行練習後は10分程度の休憩を取り、各杖での歩行課題を行った。8mの歩行路を歩行させ、杖が床反力計に正しく接地した試行を成功試行とした。各杖条件につき10試行測定した。条件間には10分程度の休憩時間を設けた。

2 - 4. 測定項目

杖荷重時における安定性を評価するために床反力を測定した。また、松葉杖歩行に必要とされる筋群から杖荷重時の安定性に関与すると考えられる僧帽筋下部、広背筋、大胸筋、上腕三頭筋外側頭、長橈側手根伸筋の表面筋電図を測定した。各

条件での試行後には杖の使用感に関する主観評価をVisual Analog Scale (VAS) を用いて記録した。

3. 結果

3 - 1. SLCの有効性

主観評価の項目の内、手部へ感じる衝撃の強さを評価した項目では、SLC条件がST条件よりも感じた衝撃が小さかったが、杖条件間に有意な差は見られなかった。

3 - 2. 杖荷重時の安定性

床反力水平成分の時間変化を杖先が接地した瞬間を0%、離地した瞬間を100%として正規化した。その後0.1%毎の変動量を算出し、矢状面において杖が鉛直となった瞬間を境に杖接地期を前期および後期に区分してそれぞれの区間にて左右成分および前後成分の総変動量を算出した (図2)。

いずれの杖条件においても杖接地期前期での総変動量が後期よりも有意に大きかった ($p < 0.01$)。左右成分では、SPlow条件の総変動量がST条件およびSPhi条件よりも有意に大きかった。前後成分においてもSPlow条件の総変動量がST条件よりも有意に大きかった ($p < 0.01$)。

主観評価における杖荷重時の安定感SPlow条件がST条件よりも有意に小さかった ($p < 0.05$)。杖荷重時の安心感はST条件がSPmid条件およびSPlow条件よりも有意に大きかった ($p < 0.05$)。

図2. 床反力左右成分の変化量 (*: $p < 0.05$)

3 - 3. 上肢体幹筋の筋活動量

表面筋電位を全波整流後、杖接地期における振幅積分値 (Integrated Electromyogram, iEMG) を算出し、ST条件の振幅積分値に対する各条件の振幅積分値の百分率比 (%iEMG) を求めた。

フリードマン検定の結果、大胸筋の%iEMGに杖条件の有意な主効果が認められた。多重比較の結果、SPlow条件の%iEMGがST条件よりも有意に大き

かった (図3)。他の部位において杖条件の主効果は認められなかったものの、長橈側手根伸筋を除く全ての部位においてSLC使用時の%iEMGがST条件より大きい傾向が見られた。

図3. 大胸筋の筋電図積分値 (*: $p < 0.05$)

4. 考察

今回、手部へ感じる衝撃の強さに杖条件間の有意な差は見られなかった。今後、衝撃加速度などによる客観的な検証を行う必要がある。

一方、スプリングのばね定数が小さいSLCは安定性が従来型よりも低く、杖荷重時に不安を感じていることが示された。また、杖に体重をかける段階の杖接地期前期における床反力水平成分の変動量は杖接地期後期よりも大きく、杖への荷重時に前後左右の動揺が生じていることが示唆された。特に杖接地期前期におけるSPlow条件の床反力変動量はST条件よりも大きく、より杖の動揺が生じていたと考えられる。

さらに、大胸筋の筋活動量はSPlow条件でST条件よりも大きかった。松葉杖での歩行において大胸筋は上肢と胸壁とで杖を挟み、杖を安定させる働きがあり、荷重時の杖の動揺に対して安定性を得るために筋活動量が増加したと考えられる。

以上の結果より、スプリングのばね定数によって杖荷重時の安定性および体幹の筋活動量は変化し、SLCにばね定数の小さいスプリングを内蔵すると、安定性が低下し、杖を安定させる大胸筋の筋活動量が増加することが示された。

参考文献

- 1) 横田知明他：“松葉杖のグリップ径が杖使用時における手部の負担に及ぼす影響”，人間工学, Vol. 50, No. 5, pp. 286-293, 2014.
- 2) 上園英嗣他：“スプリング組み込み式松葉杖の有用性”，運動・物理療法, Vol. 9, No. 4, pp. 307-312, 1998.