

[原著論文]

杖使用歩行時における杖にかかる最大荷重と肩および肘関節負担度

相馬俊雄¹⁾、大西秀明¹⁾、百瀬公人²⁾、大山峰生³⁾、山本澄子⁴⁾、黒川幸雄¹⁾

キーワード：杖、最大荷重率、肩関節、肘関節

Maximum Load on Crutch and the Load on Shoulder and Elbow Joints
While Walking with a CrutchToshio Soma¹⁾, M.S., P.T., Hideaki Onishi¹⁾, Ph.D., P.T., Kimito Momose²⁾, Ph.D., P.T.,
Mineo Oyama³⁾, Ph.D., O.T., Sumiko Yamamoto⁴⁾, Ph.D., Eng.,
Yukio Kurokawa¹⁾, Ph.D., P.T.

Abstract

The purpose of this study was to investigate the load on the shoulder and the elbow joints during walking with a crutch. Nine healthy adults participated in this study. One leg of each subject was assumed to be an affected limb. All subjects used four kinds of crutches such as T-cane (T), Quadripod cane (Q), Lofstrand crutch (L) and Axillary crutch (A) with an upper extremity of sound side during walking. They were told to load their body weight on the crutch as much as possible. The movement was measured with 3D motion analysis system (VICON512) and force plates (AMTI). As a result, the rates of the maximum load on the crutch showed 44.9% in T, 59.2% in Q, 66.7% in L and 73.6% in A. The load on the elbow joint was significantly larger than that on the shoulder joint in T and Q ($p < 0.01$), while the load on the shoulder joint was larger than that on the elbow joint in L and A ($p > 0.1$). These results can be employed as an indicators when we recommend a suitable cane or crutch for individual patient who needs walking aid.

Key words: crutch, rate of maximum load, shoulder joint, elbow joint

要旨

本研究の目的は一側上肢で杖を用いた歩行の際に、杖にかかる最大荷重率および杖使用側の肩・肘関節にかかる負担度を4種類の杖で比較検討することである。健常成人を対象として、T字杖（T杖）、四点杖（Q杖）、ロフストランド杖（L杖）および松葉杖（A杖）に最大荷重をさせた平地歩

行を行った。動作解析には三次元動作解析装置（VICON512）および床反力計（AMTI）を使用した。負担度は動作中の関節モーメントの値を、筋力測定機器（KIN-COM）により測定した随意最大肩内転・肘伸展モーメントの値で除して正規化した。最大荷重率はT杖で体重の44.9%、Q杖で59.2%、L杖で66.7%、A杖で73.6%であった。負担度

- 1) 新潟医療福祉大学 医療技術学部 理学療法学科
- 2) 山形県立保健医療大学 保健医療学部 理学療法学科
- 3) 新潟医療福祉大学 医療技術学部 作業療法学科
- 4) 国際医療福祉大学大学院 福祉援助工学分野

相馬俊雄

[連絡先] 〒950-3198 新潟市島見町1398番地

TEL・FAX：025-257-4498

E-mail：soma@nuhw.ac.jp

はT杖では肩関節21.0%、肘関節61.5%、Q杖は26.3%と60.9%であり、肘関節が肩関節より有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。一方、L杖では59.0%と43.2%、A杖では38.8%と57.8%であり有意な差はみられなかった ($p > 0.1$)。これらの結果は部分荷重歩行訓練を指導する際の杖を選択する指標の一つになると考えられる。

I はじめに

臨床場面において部分荷重歩行訓練は、一側下肢に機能障害を有する患者に対して行う訓練の一つであり、免荷量が機能障害の回復や治療経過と共に随時変化する。一般的に立位保持、立ち上がり訓練を経た後、平行棒内で安定した歩行が得られると、平行棒外で杖を用いた歩行訓練プログラムへと展開していく場合が多い。この時、杖を使用する目的は、立位・歩行時の安定性の拡大、歩行中の駆動と制動、患脚下肢の免荷（疼痛の軽減、患脚荷重量の軽減）が挙げられる。

杖に関する先行研究では、杖使用歩行時の下肢に視点が向けられたものが多く、杖を使用している上肢について報告されたものはほとんど見られない^{1)~8)}。また、臨床場面では理学療法士が患者に対して、感覚的に杖を選択している場合が多いのが実状である。

本研究の目的は、一側上肢で杖を用いた歩行の際に、杖にかかる荷重量および杖使用側の肩・肘関節にかかる負担度を4種類の杖で比較検討することである。

II 方法

1 対象

対象は実験内容を説明し同意が得られた、両上下肢に整形外科的疾患の既往のない健康成人9名（男性6名、女性3名）であり、年齢は22~31歳 (26.6 ± 3.5 歳、平均値 \pm 標準

偏差)であった。身長は156~177cm (168.0 ± 6.5 cm)であり、体重は49~81kg (64.8 ± 11.2 kg)であった。

2 使用機器と動作課題

動作解析にはCCDカメラ8台を含む三次元動作解析装置 (VICON512, Oxford Metrics Ltd, Oxford)、床反力計 (OR6-6-2000, AMTI, MA) 6台を用いた。被験者には赤外線反射マーカー (直径25mm:以下、マーカー) を、両側の肩関節・肘関節・手関節・股関節・膝関節・足関節・第5中足趾節間関節 (以下、第5MP関節) と、杖先端外側部の合計15箇所貼り付けた。身体へのマーカーの貼り付け位置は、臨床歩行分析研究会の規定によるものとした⁹⁾。

被験者は右下肢を健脚、左下肢を患脚と想定し、右上肢でT字杖 (以下、T杖)、四点杖 (以下、Q杖)、ロフトランド杖 (以下、L杖) および松葉杖 (以下、A杖) を使用した。最大荷重歩行は杖に最大荷重をし、杖と患脚を同時に接地、離地する二動作歩行とした (図1)。杖の長さは立位で杖先を健脚小趾の前外側15cmの位置に置き、グリップを握った時に肘関節30度屈曲位となるように設定した。また、A杖は上端と腋窩部に二横指の隙間を空けた。実験に先立ち被験者は、上記の条件で部分荷重歩行の練習を行った。最大荷重歩行は、床反力計が中央に位置するように設置した10mの歩行路を3回歩行した。杖使用上肢の関節モーメントを測定するため、1つの床反力計上には杖だけが乗るようにして歩行を行った。動作速度は被験者の行きやすい速度とし規定しなかった。

最大荷重歩行中の肩関節内外転、肘関節屈曲伸展モーメントのピーク値を以下のように算出し絶対値を求めた。肩関節内外転モーメントと肩関節角度の算出方法を図2に示す。肩関節内外転モーメントは肘関



図1 動作課題

一側上肢に杖を使用させ、反対側下肢を患脚と規定し、杖に最大荷重をさせた二動作歩行とした。

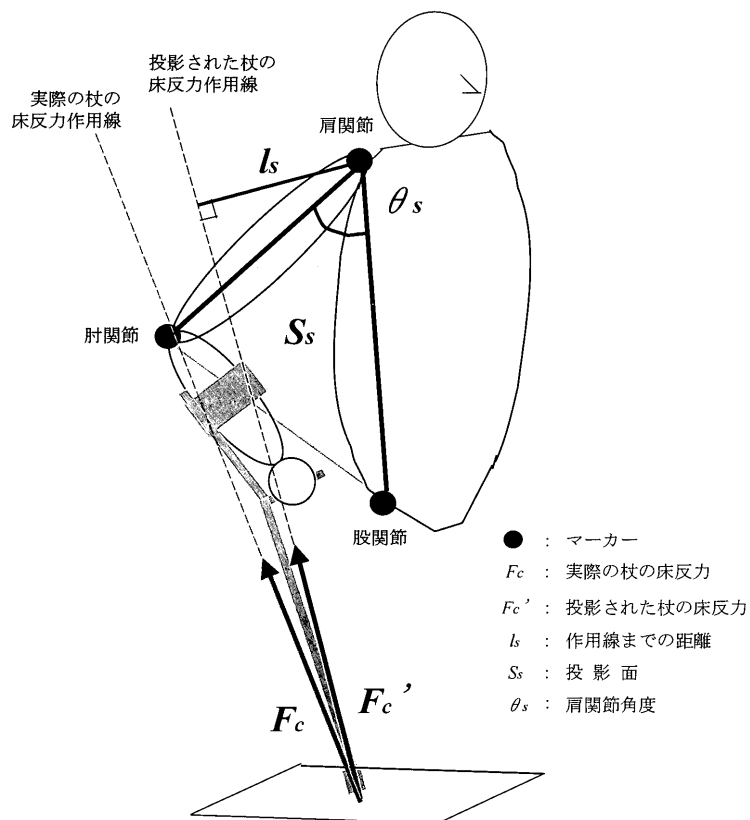


図2 肩関節内外転モーメントと関節角度の算出方法

肩関節内外転モーメントは肘関節・肩関節・股関節の3つのマーカー位置で規定される平面 (S_s) に、杖からの床反力ベクトル (F_c) を投影し、その投影されたベクトル (F_c') と肩関節から投影されたベクトル作用線までの垂線の距離 (l_s) をかけることにより算出した。肩関節角度は肘関節・肩関節・股関節のマーカーのなす角度 (θ_s) とした。

節・肩関節・股関節の3つのマーカー位置で規定される平面 (S_s) に、杖からの床反力ベクトル (F_c) を投影し、その投影されたベクトル (F_c') と肩関節から投影されたベクトル作用線までの垂線の距離 (l_s) をかけることにより算出した。肩関節角度は肘関節・肩関節・股関節のマーカーのなす角度 (θ_s) とした。したがって、外転とは上腕を体側より三次元空間内のあらゆる位置へ挙上する運動を示し、内転とはその外転位より体側へ戻る運動を示すことと規定した。同様に、肘関節屈曲伸展モーメントは、手関節・肘関節・肩関節の3つのマーカーで規定される平面に、杖からの床反力ベクトルを投影し、そのベクトルに肘関節からの垂線の距離をかけて算出した。肘関節角度は手関節・肘関節・肩関節のマーカーのなす角度とした。

3 最大荷重率と負担度の算出

最大荷重量は杖が床反力計上に接地している区間の床反力ベクトル鉛直方向成分のピーク値2回を平均した値とし、3回の歩行の平均した値とした。杖にかかる最大荷重率は、得られた最大荷重量を各被験者の体重で除して算出した。また、異なる関節間で関節モーメントを比較するため、随意最大関節モーメントを計測した。負担度は歩行時の各関節モーメントのピーク値を、随意最大関節モーメントの値で除して算出した。随意最大関節モーメントは、以下の方法で計測した。

肩関節内転筋および肘関節伸展筋の随意最大関節モーメントは、筋力測定機器 (KIN-COM, Chattanooga, TN) を用いて測定した。被験側は杖使用側となる右上肢とした。測定角度は各被験者の歩行中に得られた関節モーメントのピーク値が発揮された関節角度に近似した値を設定した。随意最大肩関節内転モーメントは、歩行中に

ピーク値が発揮された肩関節30度外転位で測定した。測定肢位は椅子座位で肩関節を30度外転、軽度内旋位で保持するため上腕部をベルトで固定し、肘関節は90度屈曲位とした。また、測定中の体幹および骨盤の動きを防ぐため、背もたれに体幹および骨盤をベルトで十分に固定した。随意最大肘関節伸展モーメントは、歩行中にピーク値が発揮された肘関節30度屈曲位で測定した。測定肢位は椅子座位で肩関節60度屈曲位、90度外旋位で保持するため上腕近位部および遠位部をベルトで固定した。測定手順は各運動課題を施行する前に中等度の努力でウォームアップを行い、3分間の休息後5秒間の随意最大等尺性収縮を行った。測定は各運動課題を2回ずつ行い、疲労の影響を避けるために各施行間に3分間の休息を入れた。筋力測定機器により得られた随意最大肩関節内転および肘関節伸展モーメントのピーク値は、運動開始後1秒以降の最も大きな値 (Nm) とした。また、各運動課題のそれぞれ2施行のうち、最大値が大きい方を解析対象とした。

各杖の最大荷重率の統計処理には分散分析を行い、事後検定にはFisherのPLSDを用いて有意水準を5%以下とした。また、最大荷重歩行時の各杖における肩関節内外転・肘関節屈曲伸展モーメントのピーク値は対応のあるt検定を用いて比較し、有意水準を5%以下とした。

III 結果

すべての被験者における最大荷重率を平均した値を表1に示す。T杖では体重の $44.9 \pm 4.6\%$ (平均値 \pm 標準偏差)、Q杖では $59.2 \pm 4.5\%$ 、L杖では $66.7 \pm 6.2\%$ 、A杖では $73.6 \pm 5.6\%$ の荷重が可能であり、すべての杖の間に有意な差がみられた ($p < 0.01$)。

次に筋力測定機器より得られた、すべての被験者の随意最大肩関節内転および肘関

表1 杖にかかる最大荷重率

[単位：%]	
杖	最大荷重率
T字杖	44.9±4.6
四点杖	59.2±4.5
ロフトランド杖	66.7±6.2
松葉杖	73.6±5.6

平均値±標準偏差、 $p<0.01$ 、 $n=9$
すべての杖の間に、有意な差がみられた

表2 筋力測定機器による随意最大肩関節内転と肘関節伸展モーメントのピーク値

[単位：Nm]	
30度	
肩関節内転	48.2±15.6
肘関節伸展	36.4±10.7

平均値±標準偏差、 $n=9$

表3 杖使用側の肩および肘関節にかかる負担度

[単位：%]				
	T字杖	四点杖	ロフトランド杖	松葉杖
肩関節	21.0±17.6	26.3±22.1	59.0±36.9	38.8±21.7
肘関節	61.5±23.9]**	60.9±26.8]**	43.2±23.6]ns	57.8±28.9]ns

平均値±標準偏差、**: $p<0.01$ 、 $n=9$

節伸展モーメント値の平均値を表2に示す。随意最大肩関節内転モーメント値は、 $48.2\pm 15.6\text{Nm}$ であった。随意最大肘関節伸展モーメント値は、 $36.4\pm 10.7\text{Nm}$ であった。

各被験者について肩関節および肘関節の負担度を算出した後、平均した値を表3に示す。T杖では肩関節で $21.0\pm 17.6\%$ 、肘関節 $61.5\pm 23.9\%$ であった。Q杖は肩関節 $26.3\pm 22.1\%$ 、肘関節 $60.9\pm 26.8\%$ であり、どちらの杖を使用したときも肩関節より肘関節にかかる負担度の方が有意に大きな値を示した($p<0.01$)。一方、L杖では肩関節 $59.0\pm 36.9\%$ 、肘関節 $43.2\pm 23.6\%$ であった。A杖では肩関節 $38.8\pm 21.7\%$ 、肘関節 $57.8\pm 28.9\%$ であり、肩関節と肘関節に有意な差はみられなかった($p>0.1$)。

IV 考察

1 4種類の杖による最大荷重率の比較

杖に最大荷重をして歩行した時、どの程度の荷重が可能であるか4種類の杖を用いて比較した。その結果、杖にかかる最大荷重率は、T杖では体重の44.9%、Q杖では59.2%、L杖では66.7%、A杖では73.6%の荷

重が可能であり、T杖、Q杖、L杖、A杖の順に有意に大きな値を示した。

T杖を使用して歩行した時の杖にかかる最大荷重率を測定した報告はいくつか見られる。Edwardsら¹⁰⁾は体重の平均24~42%、Murrayら¹¹⁾は40%、伊藤ら¹²⁾は19%、Elyら¹³⁾は15%の最大荷重が可能であると報告している。今回我々が行った結果では、EdwardsらやMurrayらの報告とほぼ一致しているが、これらの先行研究では年齢が30歳代から70歳代の幅広い年齢層の股関節疾患患者を対象としている。そのため、加齢に伴う杖使用上肢の筋力低下が、荷重時の支持力に影響を及ぼしていると推察され、最大荷重率の範囲が15~42%と広い範囲を示していると考えられる。また、杖の高さの設定がそれぞれ不明確で統一されていないため、最大荷重時における肩関節および肘関節の角度に違いが生じ、最大荷重量に影響を及ぼしているものと考えられる。

Baxterらは健常成人を対象に、両側上肢にL杖を使用した最大荷重歩行を行い、一側L杖に体重の平均26~29%の最大荷重が可能であると報告している¹⁴⁾。しかし、この

報告においても杖の高さの設定が統一されておらず、肘関節が僅かに屈曲している状態や、伸展0度でロッキングした状態で荷重がされていると推察される。今回我々はL杖での最大荷重時、肘関節角度は屈曲30度とほぼ一定になっていたため、Baxterらの値の大小と本実験結果を直接比較することはできない。また、江原はL杖はグリップ上部のパイプと前腕部のカフにより前腕部が固定されるので、手掌でグリップを上部から押さえつけることが可能となり、体重の半分程度でも負荷が可能であると述べている¹⁵⁾。

浅見らは健常成人を対象に歩行中のA杖にかかる最大荷重率を測定した結果、体重の平均67.4%の荷重が可能であったと報告しており¹⁶⁾、本実験結果に近似した値を示している。

Q杖を使用した歩行中の最大荷重を報告されたものは見られず、本結果と比較検討することができなかった。

また、T杖よりもQ杖の方が最大荷重率が大きくなった理由として、T杖は杖先が一点で床面に接地しているため、最大荷重をかけた場合杖の前後左右への動揺が大きくなると考えられる。Jebson¹⁷⁾はT杖にかかる荷重が体重の20~25%を越えると、前後左右方向の重心軌跡が大きくなり、それ以上の荷重を杖にかけることは困難であると報告している。一方、Q杖は杖先が四点で床面に接地しているため、T杖に比べ前後左右の動揺が少なく、安定してより大きな荷重をかけることが可能になると考えられる。また、L杖は前腕部が固定されているため、グリップと前腕部カフの2箇所では体重を受けることができる。したがって、荷重時グリップを握るだけのT杖およびQ杖より前後左右の重心動揺が少なく、肘関節および肩関節周囲筋の筋力を利用して、より大きな荷重が可能になると考えられる。

最後に、A杖は体幹側面と上腕内側部で杖の上端を挟み固定して使用するため、前後左右の重心動揺が他の3種類の杖に比べ最も少なく安定していると考えられる。したがって、肩関節周囲筋の筋力を主に利用し、より大きな荷重をかけることが可能になると考えられる。

2 杖使用上肢にかかる肩関節および肘関節の負担度の比較

杖に最大荷重をして歩行した時、杖使用側の肩関節および肘関節にかかる負担度を3種類の杖で比較検討した。その結果表3より、T杖およびQ杖ともに肩関節より肘関節の方が有意に大きな値を示した。江原は歩行中杖への床反力ベクトルは、杖の長軸方向に沿っており、常に手関節の近傍を通っていることが多く、大きな荷重をかけようとした場合、杖と肘・肩関節が一直線上に並ぶのが合理的であると述べている⁷⁾。したがって、杖からの床反力ベクトルは手関節中心の近傍を通り、肘関節角度は常に計測時に規定した約30度屈曲位に保持されていたため、肘関節中心から床反力ベクトルまでの垂線の距離が長くなる。よって、肩関節より必然的に肘関節の方が大きくなったと考えられる。

一方、L杖では肩関節と肘関節の間に有意な差は見られなかった。江原はL杖の特徴としてT杖およびQ杖と異なり、グリップと前腕部カフの2箇所では前腕部を固定しているため、杖からの床反力ベクトルを手首に通す必要がなく、大きな力をかけた場合でも安定して肩関節および肘関節の近傍に通うことができると述べている¹⁵⁾。

安岡らはT杖の使用は上肢関節を筋力で杖を固定させる必要があるため、動作時の関節痛を主訴とする慢性関節リウマチ患者の使用は否定的に考えている。むしろ、Q杖は杖自体に安定感があり、L杖は固定性

が高いことを利点として報告している¹⁸⁾。

A杖において、肩関節と肘関節の負担度に有意差が見られなかった理由として、被験者間で、杖の使用方法が統一されていないことが要因として考えられる。その方法は主に二種類見られ、一つ目は杖の上端を体幹側面と上腕内側部で挟み固定して使用する方法であり、二つ目は体幹側面と上腕内側部での固定が不十分なため、グリップを握った上肢だけで荷重を支持してしまう方法であった。これにより、床反力ベクトルは、手関節または肩関節のどちらかを通ることになり、肩関節と肘関節の負担度に影響を及ぼしたものと考えられる。

以上よりこれらの結果は、一側下肢に機能障害を呈した整形外科疾患患者の障害の回復や、治療経過と共に変化する荷重量に合わせた歩行訓練を指導する時に、杖を選択する指標の一つになると考えられる。

3 今後の課題

今回、三次元動作解析装置と床反力計から得られた関節モーメントの値を筋力測定機器により測定した随意最大関節モーメントの値で除して、杖使用上肢にかかる負担度と規定した。しかし、実際の杖使用上肢にかかる負担度は、関節モーメントの値から得られた値だけでなく、杖に荷重をかけている持続時間や肩関節および肘関節周囲の筋活動量、さらに関節に作用する関節間力なども考慮する必要があると考えられる。今後は杖にかかる荷重量を一定にした場合、杖使用上肢の肩関節および肘関節周囲筋の筋活動量、関節モーメントにどのような違いがあるか検討していきたいと考える。

引用文献

1) Bennett L., Murray M.P., Murphy E.F., et al: Locomotion Assistance through Cane Impulse, Bull Prosth Res, 10-31:

38-47, 1979.

- 2) Vargo M.M., Robinson L. R., Nicholas J.J.: Contralateral V Ipsilateral Cane Use - Effects on Muscles Crossing the Knee Joint -, Am J Phys Med Rehabil, 71 (3): 170-176, 1992.
- 3) Li S., Armstrong C.W., Cipriani D.: Three-Point Gait Crutch Walking: Variability in Ground Reaction Force During Weight Bearing, Arch Phys Med Rehabil, 82: 86-92, 2001.
- 4) Neumann D.A.: An Electromyographic Study of the Hip Abductor Muscles as Subjects With a Hip Prosthesis Walked With Different Methods of Using a Cane and Carrying a Load, Physical Therapy, 79 (12): 1163-1176, 1999.
- 5) Neumann D.A.: Hip Abductor Muscle Activity as Subjects With Hip Prostheses Walk With Different Methods of Using a Cane, Physical Therapy, 78 (5): 490-501, 1998.
- 6) Chiou-tan F.Y., Magee K.N., Krouskop T.A.: Comparison of Upper Limb Muscle Activity in Four Walking Canes: A Preliminary Study, J Rehabil Res Dev, 36 (2): 94-99, 1999.
- 7) Opila K.A., Nicol A.C., Paul J.P.: Upper Limb Loadings of Gait With Crutches, J Biomech Eng, 109: 285-290, 1987.
- 8) Reisman M., Burdett R.G. Simon S.R. et al: Elbow Moment and Forces at the Hands During Swing-Through Axillary Crutch Gait, Phys Ther, 65(5): 600-605, 1985.
- 9) 山本澄子 (臨床歩行分析研究会・編): 関節モーメントによる歩行分析. 医歯薬出版株式会社. 25-31. 1997.
- 10) Edwards B. G.: Contralateral and Ipsilateral Cane Usage by Patients with Total

- Knee or Hip Replacement, Arch Phys Med Rehabil, 67: 734 - 740, 1986.
- 11) Murray M.P., Seireg A.H., Scholz R.C.: A Survey of the Time, Magnitude and Orientation of Forces Applied to Walking Sticks by Disabled Men, Am J Phys Med, 48: 1 - 13, 1969.
 - 12) 伊藤邦臣, 三浦 敦, 町田 敏: 歩行用補助具の作用—特にリハビリテーションに用いたT字杖、二本松葉杖の免荷効果—, 骨・関節・靭帯, 7: 693 - 699, 1994.
 - 13) Ely D.D., Smidt G.L.: Effects of Cane on Variables of Gait for Patients with Hip Disorders, Physical Therapy, 57(5): 507 - 512, 1977.
 - 14) Baxter M.L., Allington R.O., Koepke G. H.: Weight-distribution Variable in the Use of Crutches and Canes, Phys Ther, 49(4): 360 - 365, 1969.
 - 15) 江原義弘, 大橋正洋, 窪田俊夫: 歩行関連障害のリハビリテーションプログラム入門. 医歯薬出版株式会社. 32 - 33. 1999.
 - 16) 浅見豊子, 渡辺英夫, 伊藤由美ら: 杖歩行パターンと体重からみた脚荷重量, 理学診療, 5(2): 130 - 133, 1994.
 - 17) Jepsen R. H.: Use and Abuse of Ambulation Aids, J Am Med Assoc, 199: 63 - 68, 1967.
 - 18) 安岡郁彦: 慢性関節リウマチ患者と杖, 理学療法, 17(9): 836 - 841, 2000.