

【原著】

杖の位置と荷重方法に対する床反力作用点の変動

犬丸敏康¹、小島久典²¹金沢大学医薬保健研究域²大阪府立大学総合リハビリテーション学部

(受付：平成 23 年 2 月 28 日)

(受理：平成 23 年 3 月 7 日)

要 旨

本研究では杖の位置や荷重方法を変え、それによる立位バランスの影響を床反力作用点から検討した。主成分分析を用い、各条件での床反力作用点の特性を調べた。杖の位置は中央（以下 CP）、前方（以下 FP）、後方（以下 RP）とした。杖の荷重方法は杖をもつのみで荷重しない（以下 NW）、身体全体で荷重を行う（以下 BW）、腕のみの力で荷重を行う（以下 AW）とした。第 1 主成分を長軸、第 2 主成分を単軸とし、固有値を長径、短径とする楕円により床反力作用点の変動を表した。第 1 主成分の固有値が大きくなる場合で楕円が横長となれば床反力ベクトルの方向と大きさが定まりやすい特性へと変化する。このパターンが CP の BW と FP の BW にみられ、中央・前方に杖を位置させ、身体全体で荷重することがより立位バランスの安定性に寄与しやすいことが明らかとなった。

キーワード：杖、床反力作用点、主成分分析、立位バランス

緒 言

杖は第三の足とも言われ¹⁾、特に高齢者や障がい者では歩行や立位での補助具として適用されている。近年ではバランスの安定や足への負担の軽減等を目的としてトレッキングやウォーキングといったスポーツの場面でも利用され、その価値がますます増大している。杖使用に伴う身体への影響の研究も散見され²⁻⁵⁾、それらの多くは杖による立位バランスへの影響を検討している。また、それらの報告によると杖の持つ位置や杖の種類でも動揺は異なるが、総じて杖により立位の安定性が増すという見解が得られている。このことから杖は立位の機能を補い、立位バランスを高める上で欠かせない道具といえる。これらの研究の一方で、どのように杖を使用することで立位の安定性が変わるのかといった杖の使用方法に関する研究は少ない。特に杖のつく位置や荷重のかけ方に関しては今まであまり注目されていない。そのため、杖の位置や荷重方法が立位にどのような影響を与える

のかといった質問に対しては明らかな回答がない。

本研究では杖の位置や荷重方法を変える条件下での立位バランスを検討した。立位バランスの検討として身体重心や足部の圧中心、関節トルクなどいくつかの手法があるが⁶⁾、本研究では足部への床反力作用点からこれを調査した。さらに床反力作用点に関して主成分分析を用い、各条件での床反力作用点の変動の違いをとらえることにした。

方 法

1 被験者

15 名の健常者を対象とした。年齢は 22.3 ± 1.4 歳（平均値 \pm 標準偏差）であった。身長は 164.8 ± 8.9 cm、体重は 55 ± 5.5 kg、上肢長は 70.1 ± 4.8 cm、下肢長は 78.5 ± 6.3 cm であった。実験は金沢大学の医学倫理規定に基づき、被験者には予め実験の主旨を説明した上で同意を得てから実施した。

2 実験機器

床反力作用点は床反力計（共和電業、ECG150KAS5）にひずみアンプ（三栄、6M41A）を接続し、Winter⁷⁾の床反力作用点の計算式に基づいて測定した。杖荷重はガラス板にひずみゲージ（共和電業、30-120-C1-11L1M2R）を貼付した自作の装置にひずみアンプ（共和電業、DPM-602A）を接続して測定した。各ひずみアンプからの電位はAD変換した後、パーソナルコンピュータ上の計測ソフト（アドテックシステム、DASYLab 4.0J）によりサンプリング周波数 500 Hz、ローパスフィルタ 5 Hz にて 5 秒間のデータを記録した。なお、杖荷重の装置は床反力計の中心から右方に 30 cm で床反力計に接しないような高さで設置し、杖荷重からの値が床反力作用点に影響しないように考慮した。各被験者の杖荷重の床反力作用点は 5 秒間のデータにおける平均値として算出した。

3 実験手順

被験者に床反力計の中央に両内踝の幅を 5 cm の立位をとらせ、その姿勢から右手で持った杖で荷重をかけるように指示した。杖は予め各被験者の大転子の高さに調節した T 字杖を使用した。杖への荷重値は被験者の 40 cm 眼前にあるディスプレイに表示させ、被験者にはそれをモニターしながら体重の 10% の値となるように教示した。体重の 10% の杖荷重とした理由は、1 本の杖で荷重できる体重は最大でも 20% 以下であること⁸⁾、体重の 20% 程度で安定した杖の操作が可能であること⁴⁾、さらに予備実験から 20% よりも 10% のほうがより自然な荷重であるとの被験者の意見に基づいた。杖の位置は杖荷重の装置の中央（以下 CP）、中央から前方 20 cm（以下 FP）、中央から後方 20 cm（以下 RP）の 3 条件とした。杖の荷重方法は杖をもつのみで荷重しない（以下 NW）、身体全体で体重の 10% の荷重を行う（以下 BW）、腕のみの力で体重の 10% の荷重を行う（以下 AW）の 3 条件とした。疲労の影響を避けるために各条件間で十分な休憩時間をとった。

4 データ解析・処理

Gordon ら⁹⁾は 2 次元でのリーチング運動における手先位置の変動をみるために主成分分析を用いている。本研究ではこれに習い、各条件での床反力作用点の変動をみることを目的に主成分分析を用いた。図 1 に CP の NW の条件における主成分分析による床反力作用点の変動の解析を例示する。データの平均値を中心として第 1 主成分を長軸、第 2 主成分を短軸とし、固有値の平方根を長径、短径とする楕円により床反力作用点の変動を表した。データ解析・処理には R 2.11.1 (<http://www.r-project.org>) を用いた。

結 果

CP、FP、RP における床反力作用点の変動をそれぞれ図 2、図 3、図 4 に示す。各図内の○は NW、□は BW、△は AW における各被験者の床反力作用点を示す。全体の床反力作用点の分布の傾向として NW はほぼ中心周辺、BW は杖荷重側、AW は杖荷重側とは逆の X 軸上に位置していた。各図の楕円の長径と短径に相当する固有値を表 1 に示す。各条件における固有値の左は第 1 主成分の固有値、右は第 2 主成分の固有値を示す。CP の図 2 から BW において横長の楕円となり、表 1 より BW の長径の固有値が大きく、短径の固有値に比べて寄与率が 79.17% と高い値となった。FP の図 3 では図 2 と同様に BW において横長の楕円となり、長径の固有値の寄与率も 74.06% と高い値となった。RP の図 4 ではいずれの条件でも図 2、3 に見られた横長の楕円はみられず、表 1 から最も高い寄与率をもつ BW でも 64.95% に留まった。

考 察

本研究では主成分分析により床反力作用点の変動をとらえた。主成分分析は元のデータが持つ情報を少数個の主成分で要約する手法であり¹⁰⁾、本研究の場合では第 1 主成分の固有値が大きくなる場合は床反力作用点の変動が一定の特性になることが予測できた。特に床反力作用点は方向と大きさをもつ床反力ベクトルの合成点であるために楕円が横長になればなるほど床

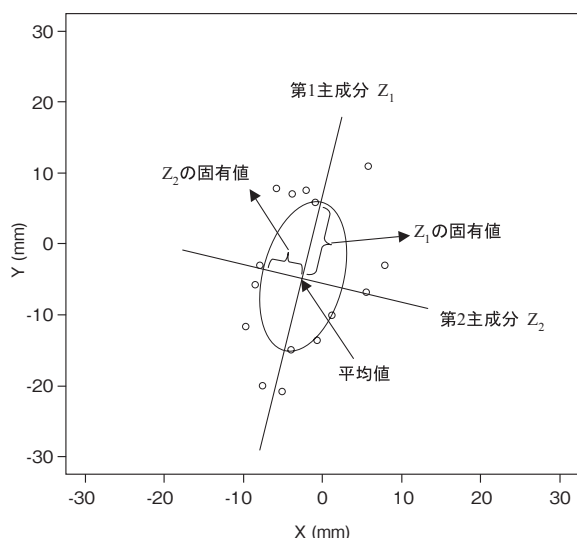


図 1. 主成分分析による床反力作用点の変動の解析

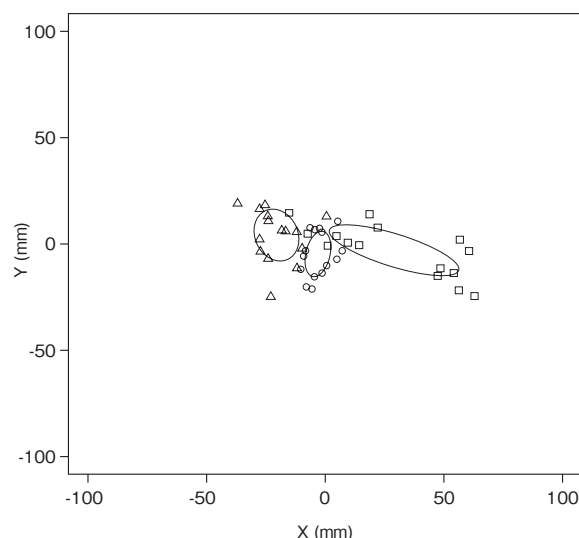


図 2. CPにおける床反力作用点の変動

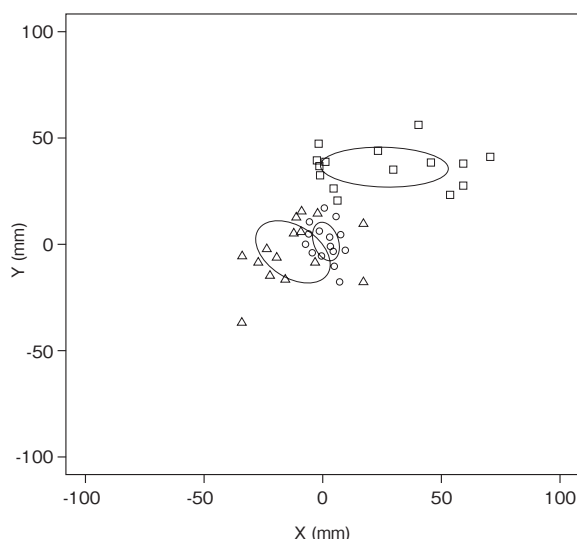


図 3. FPにおける床反力作用点の変動

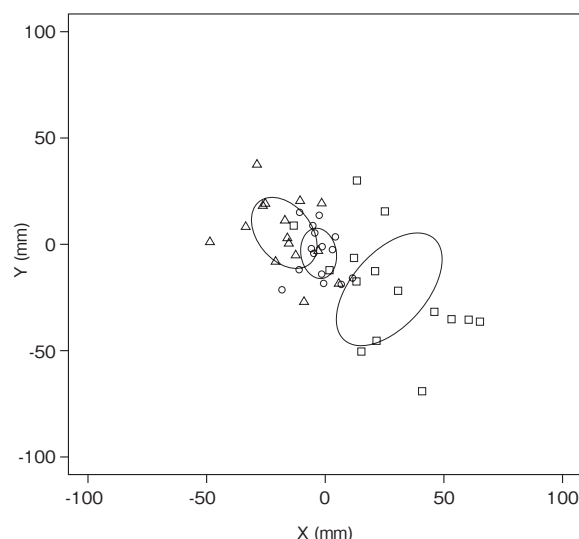


図 4. RPにおける床反力作用点の変動

反力ベクトルの方向と大きさが定まりやすい特性へと変化する。本研究の結果をこれに照らし合わせてみると、最もこの特性を有している条件はCPのBWとFPのBWであった。このことから、中央、もしくは前方に杖を位置させ、身体全体で荷重することで床反力作用点の変動を定めやすい、言い換えれば立位の安定性が得

られやすい杖の位置と荷重方法であることが示唆された。一方、同じBWでもRPでは第1主成分の固有値の寄与率が低く、身体全体での荷重でも後方の杖位置では床反力作用点の変動が定めにくくなることが示唆された。さらにAWの条件ではいずれの杖位置でも横長となる楕円がみられず、腕での荷重は身体全体での荷重よ

表 1. 各条件での固有値と寄与率

位置	CP						FP						RP					
方法	NW		BW		AW		NW		BW		AW		NW		BW		AW	
固有値	10.74	5.17	28.85	7.59	12.47	9.03	9.17	5.16	26.87	9.41	17.79	11.72	11.99	7.40	30.31	16.36	18.04	11.84
寄与率	67.50	32.50	79.17	20.83	58.00	42.00	63.99	36.01	74.06	25.94	60.28	39.72	61.84	38.16	64.95	35.05	60.37	39.63

りも床反力作用点の変動が定めにくく、立位の安定性が低いといえる。

バイオメカニクス分野において主成分分析による解析は増えつつあり¹¹⁾、多くの情報から個々の関係性を引き出す際に有用なツールとなる。本研究では床反力作用点の X 座標と Y 座標の 2 次元情報のために与えられた変数自体は少ない。しかし、それを主成分分析に適用することで各条件における床反力作用点の変動をうまく特性化づけることができた。この特性に基づくと、中央・前方に杖を位置させ、身体全体で荷重する杖の使用方法が立位バランスの安定性に寄与しやすいことが明らかとなった。

本研究は健常者を被験者としたためにトレーニングといったスポーツのある一場面を想定すれば本研究の結果をあてはめることも可能だが、これが高齢者や障がい者の日常場面となるとすぐに結びつくとは限らない。また、立位のみ限定したために歩行における杖使用となるとさらに違う結論が得られることも十分にありうる。そのため、今後は被験者の対象を拡大するとともに様々な動作の条件も加味して検討したいと考えている。

謝 辞

本研究のデータ収集に際して金沢大学医学部保健学科の塩月友希氏の多大なる協力を得た。ここに深謝の意を表する。

文 献

- 1) 寺田寅彦：ステッキ。：寺田寅彦全集 第六巻。岩波書店 東京 1961
- 2) 山本圭介，藤原孝之，田辺誠，他：T 字杖使用立位における重心動揺の変動。理学療法学 **12**: 159 1985

- 3) Lu C, Yu B, Basford JR, et.al.: Influences of cane length on the stability of stroke patients. *J Rehabil Res Dev* **34**: 91-100 1997
- 4) Soma T: Measurement of upper limb sway during partial weight-bearing with three ambulatory aids. *J Tsuruma Health Sci Soc* **29**: 11-17 2005
- 5) 奥壽郎，廣瀬昇，加藤宗規，他：杖の使用が重心動揺に与える影響。理学療法科学 **24**: 235-239 2009
- 6) Winter DA: Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* **3**: 193-214 1995
- 7) Winter DA: Biomechanics and motor control of human movement. Second Edition John Wiley and Sons New York pp 86 1990
- 8) 大橋正洋：移動を助ける道具・機器。大橋正洋(監修):生活の場における移動の援助。医歯薬出版 東京 pp 85 2006
- 9) Gordon J, Ghilardi MF, Ghez C: Accuracy of planar reaching movements: I. Independence of direction and extent variability. *Exp Brain Res* **99**: 97-111 1994
- 10) 青木繁伸：R による統解解析。オーム社 東京 pp 196-206 2009
- 11) Daffertshofer A, Lamoth CJC, Meijer OG, et.al.: PCA in studying coordination and variability: a tutorial. *Clin Biomech* **19**: 415-428 2004

連絡先：犬丸敏康
金沢大学医薬保健研究域
金沢市小立野 5-11-80 (〒 920-0942)
E-mail: inumaru@mhs.mp.kanazawa-u.ac.jp

Variability in the center of pressure resulting from changes in cane placement and method of weight-bearing

Toshiyasu INUMARU¹, Hisanori KOJIMA²

¹ Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University

² School of Comprehensive Rehabilitation, Osaka Prefecture University

Summary

The aim of this study was to examine the changes in the center of pressure that result from changes in cane placement and method of weight-bearing, and the effects of these changes on standing balance. Using principal component analysis, we studied the characteristics of the center of pressure under various conditions. The possible values for cane placement were center (CP), front (FP), and rear (RP), and for the method of weight-bearing were no weight (NW), body weight (BW), and arm weight (AW). We represented the variability of the center of pressure in the form of an ellipse, in which the directions of the major and minor axes indicated the direction of pressure, and the length of the axes indicated the eigenvalue. In cases where the ellipse was horizontally long, indicating that the eigenvalue of the major axis was high, we recognized that only one characteristic was controlling the direction and magnitude of the force vector in that condition. This pattern was observed in the BW-FP and BW-CP conditions; this demonstrates that body weight and a cane positioned either the front or the center of the body will provide a more stable standing balance.

(Med Biol **155**: 268-272 2011)

Key words: cane, center of pressure, principal component analysis, standing balance

Correspondence address : Toshiyasu INUMARU
Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University
5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa 920-0942, Japan

