

聴覚および視覚刺激が健常成人の 後方ステップ動作に与える影響

今野 太陽¹⁾・藤原 裕太²⁾・真壁 寿³⁾

Effects of Auditory and Visual Cues on Backward Step in Healthy Young Subjects

Motoharu KONNO¹⁾, Yuta FUJIWARA²⁾, Hitoshi MAKABE³⁾

Abstract

Purpose: The aim of this study was to investigate the effects of auditory cue(AC) and visual cues(VC) on backward step for healthy adults. **METHODS:** Subjects were 10 healthy adults. The task was backward step at self-selected pace with and without external cue. The distance between Center of Pressure(COP) and Center of Mass(COM) projected onto the horizontal plane(COP-COM distance), backward push force, and backward maximum velocity of COM were measured and compared these parameters between external cue and non-cue. **RESULTS:** COP-COM distance in the first double support of backward step significantly increased with auditory cue. Backward push force significantly increased with visual cue in the first double support of backward step. Backward maximum velocity of COM significantly increased with visual cue in the second double support of backward step. **DISCUSSION & CONCLUSION:** AC effectively worked on anticipatory postural adjustments(=APA) before swing lower extremity in first double support of backward step and significantly increased the extension of COP-COM distance in the APA. On the other hand, VC effectively worked on the increase of push back force in the APA and significantly increased the backward velocity of COM in the second double support of backward step. It is necessary to confirm whether AC and VC produced similar results such as healthy subjects in Parkinson's disease in backward step and to apply these external cues in a clinical setting.

Key Words : healthy young subjects, backward step, auditory and visual cues

1. 緒 言

直立姿勢では身体重心 (Center of Mass=COM,

以下 COM) は、第 2 仙椎のすぐ前方にあるとされている¹⁾。足圧中心 (Center of Pressure=COP, 以下: COP) は床反力の作用点で、直立姿勢におい

-
- 1) 鶴岡協立リハビリテーション病院
〒997-0346 山形県鶴岡市上山添字神明前 38
Turuoka Kyoritu Rehabilitation Hospital
38 Shinmeimae, kamiyamazoe, Turuoka, 997-0346, Japan
- 2) NTT 東日本 東北病院
〒984-8560 宮城県仙台市若林区大和町 2-29-1
Tohoku Hospital of Nippon Telegraph and Telephone East
Corporation
2-29-1 Taiwa, Wakabayashi-ku, Sendai, Miyagi, 984-8560,
Japan

- 3) 山形県立保健医療大学理学療法学科
〒990-2212 山形県山形市上柳 260
Department of Physical Therapy,
Yamagata Prefectural University of Health Sciences
260 Kamiyanagi, Yamagata, Yamagata, 990-2212, Japan

(受付日 2013. 11. 27, 受理日 2014. 1. 24)

て COM を床面に投射すると COP とほぼ一致する。COP と COM を床面に投射した点との距離を COP-COM 距離と呼ぶ。動作中の COP, COM はそれぞれ独立に動き、よりバランスを要求される動作において、COP-COM 距離が大きくなるとされている。このような性質から、COP-COM 距離は動的バランスの指標になり²⁾³⁾⁴⁾、動的バランス能力が高いとその距離は増加し、姿勢制御機能が障害されているパーキンソン病患者などにおいて減少するといわれている⁵⁾。特に歩行動作の始めの第 1 歩において、パーキンソン病患者の COP-COM 距離が小さいことが知られている⁵⁾。

歩行やステップ練習を行うことでパーキンソン病患者は、動的バランスや歩行能力が改善し転倒の危険性が減少するとされている⁶⁾。また、聴覚刺激 (Auditory Cue=AC) および視覚刺激 (Visual Cue=VC) を用いた前方歩行訓練が歩行能力を改善し⁷⁾、さらに、パーキンソン病患者の小刻み歩行や歩幅の減少などの対策に聴覚刺激や視覚刺激を用いると効果があるとされている⁸⁾。

一方、後方ステップ動作は、立位姿勢から下肢を後方に一歩踏み出し、踏み出した足のつま先が接地した後に、踵が接地するまでの一連の動作をいう。方向転換や最初の一步を踏み出すことが困難なパーキンソン病患者にとって、後方ステップ動作は重要な動作であり、方向転換や歩行訓練の一環として臨床的に良く用いられる動作である。また、後方ステップ動作についても聴覚刺激や視覚刺激を用いることで、パーキンソン病患者の後方ステップ動作の改善が期待できると考えられるが、これらの刺激の効果を検討した研究は報告されていない。また、動的バランス指標として COP-COM 距離を用い、パーキンソン病患者の後方ステップ動作に対する聴覚刺激および視覚刺激の効果を検討した研究も報告されていない。

本研究の目的は、健常成人を対象に聴覚および視覚刺激が後方ステップ動作に与える影響を明らかにし、聴覚および視覚刺激のより効果的な提示方法について検討することである。これらの点が明らかになれば、パーキンソン病患者の後方ステップ動作訓練の一助になると考えている。

2. 研究方法

2-1. 対象

本研究の目的と方法を説明し、同意の得られた整形外科および神経疾患のない健常成人 10 名とした。身長平均 169.8 ± 7.0 cm, 体重平均 61.3 ± 7.0 kg, 平均年齢 21.2 ± 1.2 歳であった。

2-2. 手順

後方ステップ動作は 3 次元動作解析装置 (ViconMX, VMS 社) と床反力計 (Type 9287 A, Kistler 社) を用いて計測した。Plug-in-Gait Model に従い赤外線反射マーカーを対象者に計 35 個取り付けた。また、右足踵に感圧センサ (PH-463, DKH 社) を取り付け、踵離地 (ヒールオフ) と踵接地 (ヒールコンタクト) を同定した。サンプリング周波数は、3 次元動作解析装置 100 Hz, 床反力計と感圧センサは 1000 Hz とした。

課題動作は、両足部間 10 cm の静止立位から右足を後方に 1 歩ステップした。その後、右足を戻し、同じ動作を繰り返した。

外的刺激を与えない (Non Cue=NC) 後方ステップ動作 (以下、NC 後方ステップ動作)、聴覚刺激 (Auditory Cue=AC) を用いた後方ステップ動作 (以下、AC 後方ステップ動作)、視覚刺激 (Visual Cue=VC) を用いた後方ステップ動作 (以下、VC 後方ステップ動作) の 3 種類とした。

AC 後方ステップ動作は快適後方歩行の歩行率 (歩/分) に合わせた後方ステップ動作 (以下、AC 100 後方ステップ動作) と快適後方歩行の 110% の歩行率 (歩/分) に合わせた後方ステップ動作 (以下、AC 110 後方ステップ動作) とした。2 つの歩行率に合わせた聴覚刺激はメトロノームを用い、その音をスピーカーから提示した。メトロノームの音は後方ステップ動作開始前から提示し、対象者は任意のタイミングでメトロノームの音に合わせて AC 後方ステップ動作を行った。

対象者は後方を振り向きながら床に貼ったテープを視覚刺激として VC 後方ステップ動作を行った。床面のテープはスタート位置と目標とする歩幅の位置に平行になるように貼りつけた。VC 後方ステップ動作は、スタート位置から床面のテープまでの長さを快適後方歩行の歩幅に合わせた後方ステップ動作 (以下、VC 100 後方ステップ動作) と快適後方歩行の 110% の歩幅に合わせた後

表 1 10 m 後方歩行パラメータ

時間 (sec)	10.5 ± 1.6
ステップ数 (steps)	17.5 ± 2.1
ケージンス (steps/min)	100.6 ± 6.8
ステップ長 (m)	0.58 ± 0.07

平均±標準偏差

方ステップ動作 (以下, VC 110 後方ステップ動作) とした.

各後方ステップ動作の測定は, 十分に練習を行った後に行った. 測定回数は3回とした. また, 後方ステップ動作の順番はランダムに行った.

なお, 事前に, 聴覚刺激時に用いるリズム, 視覚刺激時に用いる歩幅を決定するため, 大杉ら⁹⁾の方法を参考とし, 10 m の歩行路と歩行路の前後に 3 m の助走路を設定し, 対象者の快適な速度にて 10 m 後方歩行を実施した. その所要時間と歩数から, 歩行率 (歩行率 (steps/min) = 歩数 (steps) / 所要時間 (min)), 歩幅 (歩幅 (m/step) = 10 m / 歩数 (steps)) を算出した. 表 1 にその結果を示した.

2-3. 解析手法

静止立位時から右脚のヒールコンタクトまでを後方ステップ動作と定義し, 右側下肢を遊脚側下肢, 左側下肢を立脚側下肢とした. 前後方向を X 軸, 左右方向を Y 軸とした. 立位時の COM, COP は常に動いているので, 動作開始時点 P0 を原点にする必要から P0 を次のように定義した. P0 直前の 100 ポイント分の COM, COP の xy 座標を平均し, その平均値を原点とした. この操作の関係上, 後方ステップ動作中の COM, COP の xy 座標から 100 ポイントの xy 座標の平均値を引いて, COM と COP の xy 座標を補正した. また, 後方ステップ動作を次のような 5 つの時点で区分した. P0=COP が変位開始した時点, P1=COP が遊脚前に最も右側に移動した時点, P2=遊脚側 Heel-Off 直前の時点, P3=遊脚側 Toe-Off 直前の時点, P4=遊脚側 Toe-Contact 直前の時点, P5=遊脚側 Heel-Contact 直前の時点とした. 後方ステップ動作の相分けを図 1 に示した.

1) COP-COM 距離 (%)

3次元動作解析装置のデータから COP と COM

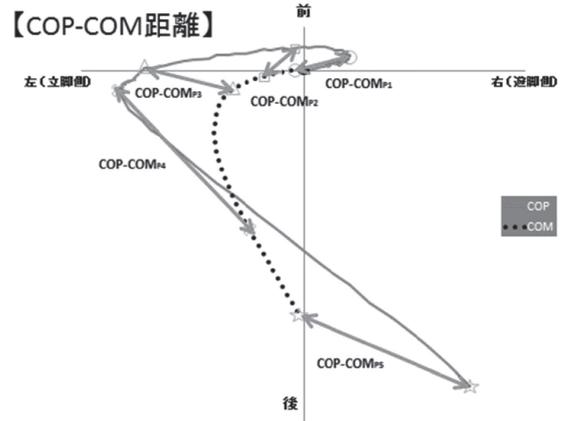
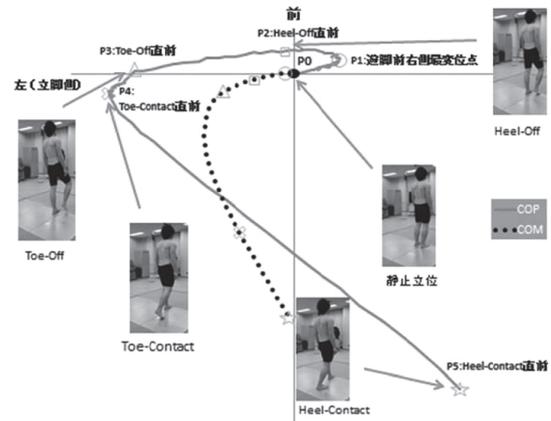


図 1 後方ステップ動作と COP, COM の移動

上の図は後方ステップの各時点を表す. 下の図は後方ステップの各時点の COP-COM 距離を身長で正規化したものである.

を水面上に投射した点との距離を COP-COM 距離とした. 時刻 t_i における COP の X 座標を $X_{COP}(t_i)$, COM の X 座標を $X_{COM}(t_i)$, COP の Y 座標を $Y_{COP}(t_i)$, COM の Y 座標を $Y_{COM}(t_i)$ とすると, 時間 t_i における COP-COM 距離, すなわち $COP-COM(t_i)$ は以下の式から求められる.

$$COP-COM(t_i) = \sqrt{(X_{COP}(t_i) - X_{COM}(t_i))^2 + (Y_{COP}(t_i) - Y_{COM}(t_i))^2}$$

P1 から P5 における COP-COM 距離を, 身長で正規化した.

2) COM 後方移動速度最大値 (mm/sec)

後方ステップ動作時の COM 前後方向変位を後方ステップ時間で割ることで求めた. COM 後方移動速度最大値は, 後方ステップ動作の P4-P5 間で観察される.

3) 遊脚側蹴りだし力 (N/kg)

動作開始 (P0) から遊脚側下肢のトゥーオフ直前 (P3) までの遊脚側の床反力前方成分最大値を体重で正規化した.

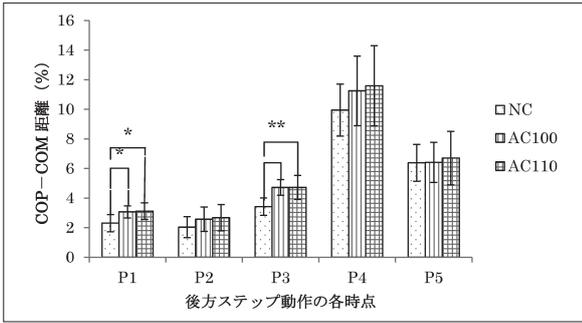


図 2 聴覚刺激下での COP-COM 距離

後方ステップの各時点 (P1~P5) での COP-COM 距離を表す。P1 から P5 における COP-COM 距離を身長で正規化した。NC: 外的刺激なし後方ステップ動作, AC100: 快適後方歩行の歩行率 (歩/分) に合わせた聴覚刺激下の後方ステップ動作, AC110: 快適後方歩行の 110% の歩行率 (歩/分) に合わせた聴覚刺激下の後方ステップ動作。

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

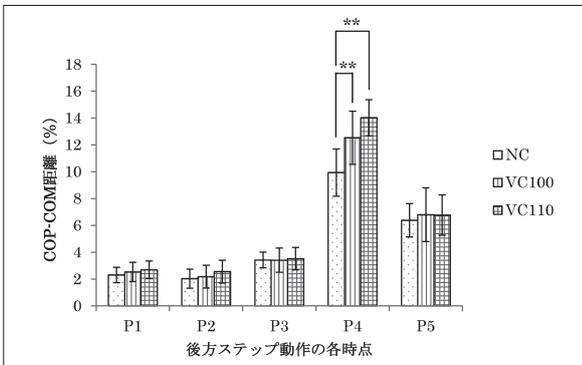


図 3 視覚刺激下での COP-COM 距離

後方ステップの各時点 (P1~P5) での COP-COM 距離を表す。P1 から P5 における COP-COM 距離を身長で正規化した。NC: 外的刺激なし後方ステップ動作, VC100: 快適後方歩行の歩幅に合わせた視覚刺激下の後方ステップ動作, VC110: 快適後方歩行の 110% の歩幅に合わせた視覚刺激下の後方ステップ動作。

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

4) 動作時間割合 (%)

P0-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5 で要した時間を P0 から P5 までに要した時間で割ってその百分率で表した。

5) 統計解析

無刺激, 聴覚刺激, 視覚刺激の 3 条件における COP-COM 距離, COM 後方移動速度最大値, 遊脚側蹴りだし力, 動作時間割合の有意差検定を行った。Shapiro-Wilk 検定にて正規性を確認後, 正規性のあるデータの比較は反復測定分散分析後, Tukey の多重比較検定を用いた。正規性のないデータの比較は Friedman 検定後, Bonferroni 多重比較検定を用いた。有意水準は 5% とした。解析ソフトは SPSS version 16.0 を用いた。

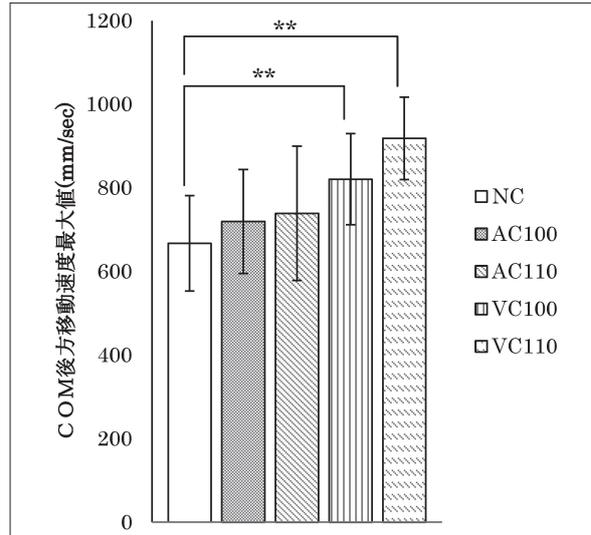


図 4 COM 後方移動速度最大値

COM 後方成分の移動距離を後方ステップに要した時間で割って算出した。NC: 外的刺激なし後方ステップ動作, AC100: 快適後方歩行の歩行率 (歩/分) に合わせた聴覚刺激下の後方ステップ動作, AC110: 快適後方歩行の 110% の歩行率 (歩/分) に合わせた聴覚刺激下の後方ステップ動作, VC100: 快適後方歩行の歩幅に合わせた視覚刺激下の後方ステップ動作, VC110: 快適後方歩行の 110% の歩幅に合わせた視覚刺激下の後方ステップ動作。 **: $p < 0.01$

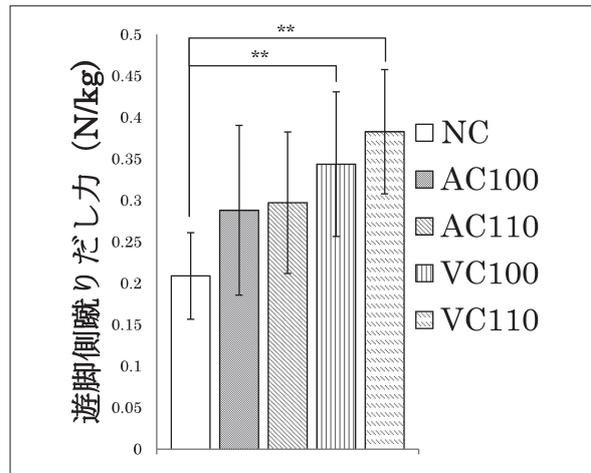


図 5 遊脚側蹴りだし力

P0 から P3 間の遊脚側の床反力前方成分の最大値で蹴りだし力を表した。遊脚側蹴りだし力は, 体重で正規化した。 **: $p < 0.01$

3. 結果

3-1. COP-COM 距離

NC 後方ステップ動作時の COP-COM 距離と比較し, AC100 後方ステップ動作時と AC110 後方ステップ動作時の COP-COM 距離が, P1, P3 で有意に増加した (図 2)。NC 後方ステップ動作時の

表 2 刺激条件の違いによる後方ステップ動作時間割合

ステップ	NC	AC 100	AC 110	VC 100	VC 110
P0-P2	22.4±10.7	18.0±7.1	18.7±7.8	19.9±6.9	18.3±5.4
P2-P3	17.1± 6.9	21.7±5.7	20.8±7.0	14.0±5.2	13.8±3.2
P3-P4	38.3± 3.8	37.8±2.6	36.7±3.2	40.4±4.3	41.2±3.1
P4-P5	22.2± 5.8	22.5±4.4	23.8±5.4	25.7±7.3	26.8±4.2

P0からP5までに要した時間を100%とし、P0-P2, P2-P3, P3-P4, P4-P5に要した時間の割合で算出した。

COP-COM距離と比較し、VC 100後方ステップ動作時とVC 110後方ステップ動作のCOP-COM距離が、P4で有意に増加した(図3)。また、AC 100後方ステップ動作とAC 110後方ステップ動作において、COP-COM距離の有意差は認められなかった。同様に、VC 100後方ステップ動作とVC 110後方ステップ動作において、COP-COM距離の有意差は認められなかった。

3-2. COM後方移動速度最大値

NC後方ステップ動作時のCOM後方移動速度最大値と比較し、VC 100後方ステップ動作時とVC 110後方ステップ動作時のCOM後方移動速度最大値が有意に増加した。AC 100後方ステップ動作とAC 110後方ステップ動作の間において、COM後方移動速度最大値の有意差は見られなかった(図4)。

3-3. 遊脚側蹴りだし力

NC後方ステップ動作の遊脚側蹴りだし力と比較し、VC 100後方ステップ動作とVC 110後方ステップ動作の遊脚側蹴りだし力が有意に増加した。AC 100後方ステップ動作とAC 110後方ステップ動作の間において、遊脚側蹴りだし力の有意差は見られなかった(図5)。

3-4. 動作時間割合

NC後方ステップ動作のP2-P3動作時間割合と比較し、AC 100後方ステップ動作とAC 110後方ステップ動作においてP2-P3動作時間割合が増加する傾向にあった。一方、NC後方ステップ動作のP2-P3動作時間割合と比較し、VC 100後方ステップ動作とVC 110後方ステップ動作においてP2-P3動作時間割合が減少する傾向、P3-P5動作時間割合が増加する傾向がみられた(表2)。

4. 考 察

1. COP-COM距離

COP-COM距離は聴覚刺激を用いた際に、P1(遊脚前右側最変位時点)、P3(遊脚側トゥーフ直前時点)において有意に増加し、視覚刺激を用いた際には、P4(遊脚側トゥーコンタクト直前の時点)において有意に増加した。

予測的姿勢調節(anticipatory postural adjustment = APA, 以下APA)とは、MassionやColumによれば随意的な動きが起きる前の姿勢調節を意味し¹⁰⁾¹¹⁾、本研究の後方ステップ動作においてはCOPが前方並びに右側に変位している時期を指す。聴覚刺激は、後方ステップ動作の前半に働き、右下肢を後方に一步踏み出す前の両脚支持期のAPA期に主に作用していたと考えられる。また、聴覚刺激は、快適後方歩行率に合わせたAC 100条件下、10%聴覚刺激リズムを上げたAC 110において、COP-COM距離の延長効果に有意な差がないことが明らかになった。

一方、視覚刺激は、後方ステップ動作の後半、すなわち後方ステップ動作の遊脚期のCOP-COM距離の延長に対して、有効に作用していると考えられる。快適後方歩行の歩幅に合わせた刺激VC 100、快適後方歩行の歩幅の110%に合わせた刺激VC 110の2条件において、COP-COM距離の延長に対して有効に作用し、その効果に差がないことも明らかになった。

本研究と同様な研究結果がパーキンソン病患者の前方ステップ動作においても認められている¹²⁾。今後、パーキンソン病患者の後方ステップ動作において、聴覚刺激と視覚刺激がCOP-COM距離に与える影響を明らかにする必要があると考えている。

2. COM 後方移動速度, 遊脚側蹴りだし力

COM 後方移動速度最大値, 遊脚側蹴りだし力は, 聴覚刺激で有意差は見られず, 視覚刺激でのみ有意に増加した。

P4 から P5 おいて, つまりトゥーコンタクトからヒールコンタクトにおいて, 視覚刺激条件下での COM 後方移動速度が, 刺激条件なしと比べて有意に増加を示した。つまり, 視覚により床面の目印を見定め, その後目印に向けて下肢を振り出し, つま先が接地した後はその勢いにまかせて, 急激に COM を後方に移動する。このような後方ステップ動作のストラテジー (strategy) を取っていたと推測される。本研究において聴覚刺激はあくまで, 足部離地が起こる前の COP の側方かつ後方への移動, すなわち足部離地前の APA 期に影響していたものと考えられる¹³⁾。従って, 聴覚刺激が COM 後方移動速度に対して有意に影響しなかったものと考えられる。

一方, 遊脚側蹴りだし力は, P0 から P3 間の遊脚側の床反力前方成分最大値で蹴りだし力を表している。P0 から P3 は先に述べたように後方ステップ動作前の APA 期と考えられる。それにも関わらず, 視覚刺激のみが, 蹴りだし力に有意に影響を及ぼしていた。これは, 視覚刺激時には COP を側方に十分に移動することなく, すぐに床面の目標に向かって COM を前方に強く, 移動したことによって生じたものと考えられる。このことは, 表 2 の P0 から P3 に要した動作時間割合の合計が, 視覚刺激時の方が短いことから明らかである。

3. 臨床応用に向けて

健常成人を対象に, 聴覚刺激は後方ステップ動作の APA 期の COP-COM 距離の延長に対して, 視覚刺激は APA 期の後方蹴り出し力と両脚支持期の COM 後方移動速度に対して, 有効に作用することが明らかになった。また, 両刺激とも 10% 増しの聴覚刺激, 視覚刺激においても, その効果に差がないことが明らかになった。藤原¹²⁾はパーキンソン病患者の前方ステップ動作において, 10% 増しでの聴覚刺激および視覚刺激範囲であればすくみ足は見られなかったと述べている。一方, Bartels ら¹⁴⁾はパーキンソン病患者において, 目的に合わない刺激はすくみ足を招くとされている。以上のことから, 後方ステップ動作において 10

% 増までの刺激範囲では, 個々に合わせた刺激を用い臨床応用可能であることが示唆される。

今後, パーキンソン病患者の後方ステップ動作においても, 健常成人において見られるような効果があるかどうかを明らかにし, 臨床応用を進めていく必要がある。

5. 結 論

聴覚刺激は後方ステップ動作において両脚支持期のステップ動作前の APA 期に作用し, その間の COP-COM 距離の延長に有効に働く。一方, 視覚刺激は後方ステップ動作前の APA 期の蹴りだし力とステップ動作後半の両脚支持期の COM 後方移動速度に対して有効に働く。今後, パーキンソン病患者の後方ステップ動作においても, このような特徴があるかどうかを明らかにし, 臨床応用を進めていく必要がある。

6. 引用文献

- 1) Donald A. Neumann, 嶋田智明, 平田総一郎 (監訳者). 筋骨格系のキネシオロジー. 東京: 医歯薬出版株式会社 2005. p. 62.
- 2) Martin M, Shinberg M, Kuchibhatla M, Ray L, Carollo JJ, Schenkman ML. Gait initiation in community-dwelling adults with Parkinson disease: Comparison with older and younger adults without the disease. *Phys Ther.* 2002; 82:566-577.
- 3) Chang HA, Krebs DE. Dynamic balance control in elders: gait initiation assessment as a screening tool. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999; 80: 490-494.
- 4) Riley PO, Schenkman ML, Mann RW, Hodge WA. Mechanics of a constrained chair-rise. *J Biomech.* 1991; 1: 9-22.
- 5) Hass CJ, Waddell DE, Fleming RP, Juncos JL. Gait initiation and dynamic balance control in Parkinson's disease. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005; 86: 2172-2176.
- 6) Protas EJ, Mitchell K, Williams A, Qureshy H, Caroline K, Lai EC. Gait and step training to reduce falls in Parkinson's disease. *NeuroRehabilitation.* 2005; 20: 183-190.
- 7) 中馬孝容. パーキンソン病のリハビリテー

- ション. リハビリテーション医学. 2004; 41: 162-167.
- 8) 長澤弘. パーキンソン病の理学療法最前線. PT ジャーナル. 2009; 43 (6) : 493-500.
- 9) 大杉紘徳, 美和香葉子, 重森健太. 健常成人の後進歩行の特徴. 理学療法科学. 2007; 22 (2) : 199-203.
- 10) Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. Progress in Neurobiology. 1992; 38(1):35-56.
- 11) Mackinnon CD, Bissig D, Chiusano J, Miller E, Rudnick L, Jager C, Zhang Y, Mille ML, Rogers MW. Preparation of anticipatory postural adjustments prior to stepping. J Neurophysiol. 2007; 97(6):4368-4379.
- 12) 藤原裕太. 視覚および聴覚的刺激がパーキンソン病患者の歩行開始動作に与える影響. 山形県立保健医療大学大学院修士論文. 2010.
- 13) Roemmich RT, Nocera JR, Vallabhajosula S, Amano S, Naugle KM, Stegemöller EL, Hass CJ. Spatiotemporal variability during gait initiation in Parkinson's disease. Gait Posture. 2012; 36(3):340-343.
- 14) Bartels AL, Leenders KL. Brain imaging in patients with freezing of gait. Mov Disord. 2008; 23 (2):461-467.

要 旨

目的：健常成人において聴覚刺激および視覚刺激が後方ステップ動作に与える影響を明らかにする。**方法：**健常成人 10 名。聴覚および視覚刺激下で後方ステップ動作を実施し、足圧中心 (Center of Pressure = COP) と体重心 (Center of Mass = COM) の距離 (以下, COP-COM 距離), 蹴りだし力, COM 後方移動速度最大値を測定した。そして, これらを刺激なしの条件と比較検討した。

結果：COP-COM 距離は聴覚刺激下の後方ステップ動作時の両脚支持期において有意に増加した。一方, 蹴りだし力は視覚刺激下の後方ステップ動作の両脚支持期において有意に増加した。COM 後方移動速度最大値は視覚刺激下のステップ動作後半の両脚支持期に有意に増加した。

考察とまとめ：聴覚刺激は後方ステップ動作において両脚支持期の下肢振り出し前の予測的姿勢調節 (anticipatory postural adjustment=APA, 以下 APA) 期に作用し, その間の COP-COM 距離の延長に有効に働いた。一方, 視覚刺激は APA 期の蹴りだし力, ステップ動作後半の両脚支持期の COM 後方移動速度最大値に対して有効に働いた。今後, パーキンソン病患者の後方ステップ動作において, 両刺激が健常成人と同様な作用があるかどうかを明らかにし, 臨床応用を進めていく必要がある。

キーワード：健常成人、後方ステップ、聴覚および視覚刺激