

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：22401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350622

研究課題名(和文) 歩行中の方向転換におけるプロアクティブ姿勢制御戦略障害に関する基礎的研究

研究課題名(英文) A study of the proactive postural control problem on turning while walking

研究代表者

星 文彦 (Hoshi, Fumihiko)

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・教授

研究者番号：40165535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：若年者と高齢者、脳卒中者、認知症者を対象に歩行中の方向転換課題における頭部定位反応時間とステップ運動戦略を記録した。頭部定位反応時間は、若年者・高齢者・脳卒中者・認知症者で相違があり、認知症者が最も遅延していた。方向転換運動は若年者、高齢者、脳卒中者では支持脚方向でステップターン運動戦略を、遊脚方向でスピントーン運動戦略を取るに対して、認知症者では両方向でステップターン運動戦略を取った。このような方向転換指示に対する頭部定位反応時間の遅延と方向転換ステップ運動戦略の特異性から、認知症者においては認知-運動情報処理機能及びongoing programの修正機能に問題があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The head orientation reaction time and the strategy of the movement in the step in the turning task while walking for young adults(YA), the healthy older adults(HO), the strokes(S), and the dementia persons(D) were recorded. At the head orientation reaction time, it was significantly difference, and D had been delayed most. At the supporting leg turn, it was taken the step turn movement strategy in YA, HO and S, and at the swing leg turn, it was taken the spin turn movement strategy. On the other hand, the step turn strategy was taken by the both direction conversion in D. It was suggested that D had the problems of the perception-movement proposal information processing function and the modification function of ongoing program to allow directional change from the delay of the head orientation reaction time and the uniqueness of the strategy of the movement in the turning step.

研究分野：理学療法学

キーワード：認知症 予期的姿勢制御 頭部定位反応時間 歩行 方向転換 ステップターン運動戦略 スピントーン運動戦略 認知-運動情報処理

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション医療に関連する立位バランス機能に関する研究は、姿勢制御に関する理論の変遷に従い変化してきた¹⁾。つまり1960年代は姿勢反射としてのバランス機能、1990年代は運動戦略あるいは運動スキルとしてのバランス機能、2000年代以降は認知機能としてのバランス機能である。Huxham²⁾とPatla³⁾は、この3つの歴史の変遷を踏まえ、バランス機能を課題と環境及び身体機能の3つの相互作用と転倒あるいは障壁回避に関する時系列の観点から、予期的制御(機構)(proactive control mechanism)、予測的制御(機構)(predictive control mechanism)、応答的制御(機構)(reactive control mechanism)として整理をした。

予期的制御は、障害物の認知による回避戦略の想起であり、予測的制御は障害物を回避するための姿勢調整であり、応答的制御は予想に反しバランスを崩したときの姿勢応答を意味する。バランス機能研究の歴史からとらえると応答的制御は姿勢反射の研究、予測的制御は運動スキルの研究、予期的制御は認知機能としてのバランス研究であり、近年になり予期的制御に関する研究報告がなされるようになってきた⁴⁻⁹⁾。

2. 研究の目的

歩行中の障害物回避のための予期的制御について焦点をあて、視覚情報から新たな運動戦略を表出するまでの処理過程を歩行中の方向転換課題を用いて、方向転換反応時間と足部のステップ運動パターンの変化から同定し、若年成人と高齢者を基準とし脳卒中及び認知症者のバランス機能における予期的制御の特徴を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

対象は、健常成人20名(平均年齢25.8±5.7)、健常高齢者20名(平均年齢68.5±3.0)、脳卒中者11名(平均年齢66.6±9.9)、認知症者16名(平均年齢83.6±4.6)であった。健常高齢者の平均歩行速度は1.5m/secであった。脳卒中者は右麻痺6名、左麻痺5名、平均歩行速度0.98m/sec、認知症者の診断名は、15名がアルツハイマー認知症病、1名がレビー小体認知症で、Mini-Mental State Examination(MMSE)の平均は15.9±3.8であった。歩行速度は平均0.9m/secであった。

課題は10m歩行路において、4~5m程度の定常歩行後、方向指示刺激装置(イリスコ社)により矢印ランプで転換方向を提示し(光刺激)、その方向にできるだけ早く左右90°方向転換するものとした(図1)。

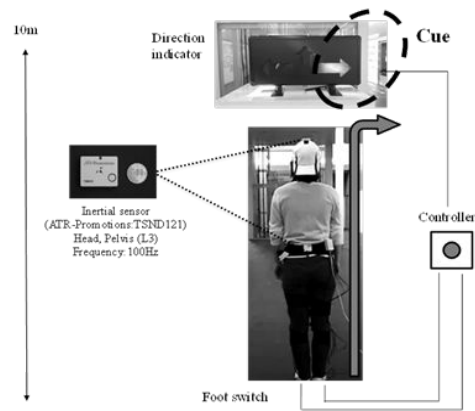
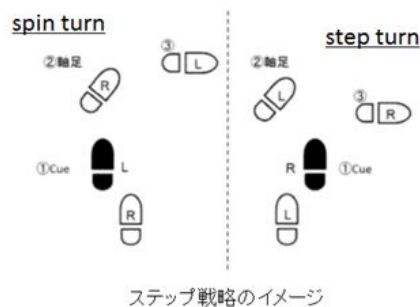


図1

光刺激は足底に付けたフットスイッチを用いて右または左足踵接地のタイミングとした。光刺激脚(支持脚)と転換方向の組み合わせの4パターン(支持脚/転換方向:左足/左,右足/右,左足/右,右足/左)を、支持脚方向(支持脚と転換方向が同側;左足/左,右足/右)と遊脚方向(支持脚と転換方向が反対側;左足/右,右足/左)に分類した。

各試行は5試行ずつ計20試行実施した。測定は十分練習した上で、対象者が動作習熟した後に行った。光刺激のタイミングと方向は対象者に伝えずにランダムとし、対象者が予測できないよう配慮した。

光刺激後のステップ戦略はビデオカメラ(JVC社;GC-YJ40)を用いて分析した。先行研究^{10,11)}に従い、転換方向と反対側の足を軸足として転換方向側の足を踏み出した場合(例えば、右方向に進む際に左足を軸足として右足を踏み出す)をstep turn、転換方向と同側の足を軸足とし、反対方向の足が軸足をクロスした場合(例えば、右方向に進む際に右足を軸足として左足をクロスする)をspin turnとした(図2)。



ステップ戦略のイメージ

図2

また、光刺激から頭部・腰部が回旋するまでの反応時間を慣性センサ(ATR-Promotions;

TSDN121) と方向指示刺激装置を同期して計測した。慣性センサは3軸(左右, 前後, 上下方向)の加速度・角速度・地磁気が可能で、大きさは 37mm(W) × 46mm(H) × 12mm(D)、重さは約 22g であった。方向指示刺激装置は2重スイッチを用い、験者が方向指示刺激装置のコントローラスイッチを押した後、踵に付けたフットスイッチが ON となることで光刺激が点灯する仕組みとした。点灯により、方向指示器から同期用の慣性センサに磁気刺激が送信され、各部の慣性センサと同期用ソフトウェア (ATR-Promotions ; SyncRecord-T) Web カメラ (UCAM-CO220FB) をモバイル PC 上で同期した。慣性センサの貼付位置は先行研究を参考に頭頂部, 第3腰椎棘突起とした。反応時間の算出方法は、光刺激から5歩前までを定常歩行データ(基準値)とし、光刺激後に各部の上下方向角速度データ(以下、Yaw データ)が基準値の平均値 ± 2SD から逸脱した時点、または Yaw データ波形が定常歩行データ波形から変化した時点を各部反応時間として算出した(図3)。

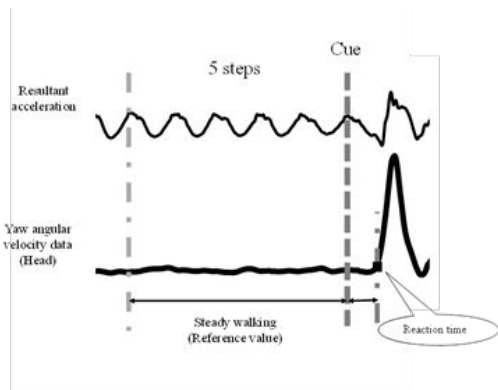


図3

足部接地のタイミングは頭部の3軸加速度合成データ(合成データ: $(x^2 + y^2 + z^2)$)のピーク値とした。サンプリング周波数 100Hz とし、移動平均法(10 区間)を用いて処理した。

若年者と高齢者及び認知症者の各群において、歩行速度と TUG (timed up and go test) を計測した。

統計処理では、反応時間の群間比較を一元配置分散分析及びステップパターンの出現率比較をカイ二乗検定で、反応時間と歩行速度、TUG との相関分析で比較し、有意水準は 5% とした。各対象者には研究の詳細を口頭で説明し書面にて同意を得た。なお、本研究は、埼玉県立大学倫理委員会の承認の下(承認番号 26047) 行った。

4. 研究成果

歩行中の方向転換指示に対する頭部定位反応時間及びステップ運動戦略について、若

年者と高齢者、認知症者、及び脳卒中者で比較した。また高齢者と認知症者については、反応時間と歩行機能とバランス機能との関連について検討した。

フットスイッチによる方向転換指示が提示されたときのフットスイッチ側方向への方向転換を支持脚方向転換とし、フットスイッチ側と反対方向への方向転換を遊脚方向転換と定義した。また方向転換指示から方向転換方向へ頭部を定位開始する迄の時間を頭部定位反応時間と定義した。ステップ運動戦略については、各群の各ステップ運動戦略の出現率で比較した。

若年者・高齢者・認知症者における頭部定位反応時間について

支持脚方向転換時の頭部の平均定位開始反応時間は、若年者が 362.5msec (SD: 32.2)、高齢者が 395.8msec (SD: 33.2)、認知症者が 536.6msec (SD: 122.2) で、有意差が認められ、多重比較で若年者と認知症者、高齢者と認知症者間で群間に有意差が認められた(図4)。

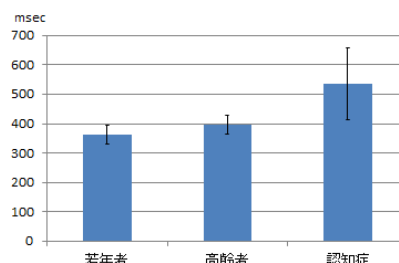


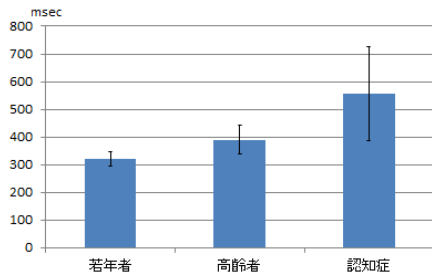
図4: 頭部定位反応時間(支持脚方向転換)

一元配置分散分析あり
多重比較Fisherの最小差法
若年-高齢者なし、若年-認知症、高齢者-認知症者有意あり
p<0.05

遊脚方向転換時の頭部の平均定位開始反応時間は、若年者が 320.6msec (SD: 27.7)、高齢者が 389.7msec (SD: 51.3)、認知症者が 555.0msec (SD: 169.6) で、有意差が認められ、多重比較で若年者と高齢者、若年者と認知症者、高齢者と認知症者の各群間で有意差が認められた(図5)。

なお、各群における立脚方向転換と遊脚方向転換と頭部定位反応時間の相違は認められなかった。

これらのことから、若年者に比べ、高齢者と認知症者に頭部の定位に要する時間に遅延が認められ、特に認知症者に遅延が著明であることが明らかとなった。



一元配置有意差あり
多量比較、Fisherの最小有意差法
若年-高齢者、若年-認知症、高齢者-認知症有意差あり
P<0.05

若年者・高齢者・認知症者におけるステップ運動戦略の出現率について

支持脚方向転換時のステップ運動戦略は、各群全てで、ステップ運動戦略を行っていた。一方、遊脚方向転換時のステップ運動戦略は、若年者では 100%スピントーン運動戦略を行っていたが、高齢者では、スピントーン運動戦略の出現率が 71.8%、ステップターン運動戦略の出現率が 28.3%であった。認知症者では、スピントーン運動戦略の出現率は 4.7%で、ステップターン運動戦略の出現率が 95.3%であった。それぞれカイ二乗検定にて有意差が認められ、認知症者の遊脚方向転換時のステップターン運動戦略に特異性を認めた(表1)。また、認知症者の中で方向転換の遅れは、歩行周期 1 周期遅れが、支持脚方向で 4 例、遊脚方向で 2 例認められた。さらに認知症者の方向転換歩行パターンは、ステップパターンが主であるが、直線歩行パターンを続けながら歩行転換する歩行パターンの様相が観察された。

表1: 方向転換ステップ戦略出現率(若年者・高齢者・認知症者)

指示方向	支持脚方向	支持脚方向	支持脚方向	遊脚方向	遊脚方向	遊脚方向
各群	若年者	高齢者	認知症	若年者	高齢者	認知症
ステップ N	100.0	96.7	100.0	0.0	28.3	95.3
スピン N	0.0	3.3	0.0	100.0	71.7	4.7

カイ二乗検定: p<0.05

脳卒中者における頭部定位反応時間について

脳卒中者は、麻痺側・非麻痺側関係なく支持脚方向転換、遊脚方向転換時の頭部定位反応時間に有意差が認められず、平均 414.4m 秒、

SD69.7 で、若年者及び高齢者に比べ明らかに遅延をしていた。

脳卒中者におけるステップ運動戦略の出現率について

脳卒中者の支持脚方向転換時のステップ運動戦略は、100%スピントーン運動戦略で行い、遊脚方向転換時のステップ運動戦略はスピントーンが 84.8%、ステップターン運動戦略が 15.2%の出現率であった。カイ二乗検定で有意差が認められ、支持脚方向へはステップターン運動戦略、遊脚方向転換時にはスピントーンを行う傾向があることが明らかとなった(表2)。

表2: 方向転換ステップ戦略出現率(脳卒中者)

	支持脚方向	遊脚方向
ステップ	100	15.2
スピン	0	84.8

カイ二乗検定: p<0.05

頭部定位反応時間と歩行能力とバランス機能について

若年者と高齢者、認知症者の各群において、頭部定位反応時間と歩行速度及び TUG については、相関関係が認められなかった。

頭部定位反応時間と MMSE について

認知症者における MMSE と頭部定位反応時間の相関関係は認められなかった。

考察

以上の結果から、頭部定位反応時間とステップ運動戦略について考察する。

歩行中の方向転換における頭部定位反応時間は、若年者、高齢者、脳卒中者、認知症者の順で遅延することが明らかとなった。また頭部定位反応時間は方向転換の方向が支持脚方向と遊脚方向において差が認められなかった。脳卒中者においては、方向転換時の頭部定位反応時間は麻痺側と非麻痺側に影響を受けなかった。また頭部定位反応時間と歩行速度や TUG などの運動機能パラメータとの相関は認めなかった。これらのことから、方向転換時の頭部定位に要する時間は、身体運動機能の直接的な影響はなく、むしろ環境認知と運動戦略発起に関わる情報処理機能

を反映している可能性が示唆され、老化や脳機能障害等による中枢神経系の環境認知-運動戦略発起情報処理機能の状態を、つまり歩行中の方向転換課題付加による二重課題処理の遅延を反映している可能性があると考えられた。

方向転換時のステップ運動戦略については、若年者においては、方向転換指示時の転換方向（支持脚方向と遊脚步行）により、ステップターンとスピントーンの各運動戦略が明らかに定型化していた。高齢者と片麻痺者においては、基本的に若年者と同様の運動戦略を用いる傾向があったが、認知症者においては、スピントーンを取るべき遊脚方向においてもほとんどの者がステップターンを取っていた。ステップターンとスピントーンを運動技能の難易度からすると、ステップターンは両足部で作られる支持基底面が広いのに対して、スピントーンは両下肢を交差させる運動パターンで支持基底面がステップターンに比べ狭く、より不安定でバランス機能が要求される運動戦略であることが考えられる^{11,12)}。このような観点からすると、バランス機能の低下を踏まえた適応運動戦略としてステップターンを選択した可能性があり、認知症者ではその程度が著明であった可能性が考えられ、バランス機能の低下が示唆される¹³⁻¹⁶⁾。さらに、認知症者では方向転換時の遅れが一周期遅れとなるケースや直線歩行に近似した歩行パターンを続けながら方向を変えていくケースが認められたことを考慮すると、歩行中に付加的課題を提示されると歩行という一次課題、または現在遂行中の運動プログラム（ongoing program）の遂行を修正することが困難である可能性が示唆された¹⁷⁾。

以上、方向転換指示に対する頭部定位反応時間の遅延と方向転換ステップ運動戦略の特異性から、認知症者においては環境認知-運動発起情報処理機能及び ongoing program の修正機能の問題があることが示唆された。これらの問題は、バランス機能における予期的機能を反映するものと考えられ、本研究で用いた歩行中の方向転換課題における頭部定位反応時間とステップ運動戦略の分析は認知症者のみならず脳卒中による高次神経機能障害者を対象とするバランス機能障害解明のための研究手法となると提案するものである。

本研究の問題点と今後の課題

脳卒中者及び認知症者の対象が少ない。
高齢者と認知症者の年代対応が不十分である。
対象認知症者に高齢で重度認知症者が多く、広範な年齢層と軽度認知症を対象とすることが必要である。

文献

- 1) 星 文彦：バランス障害と理学療法, 理学療法, 29, 4, 371-377, 2012
- 2) F. E. Huxham, et al: Theoretical considerations in balance assessment. Australian Journal of Physiotherapy, 47, 89-100, 2001
- 3) A. E. Patla: Understanding the roles of vision in the control of human locomotion Gait Posture 1997;5:54-69.
- 4) G.J. Chapman, M.A. Hollands: Evidence for a link between changes to gaze behaviour and risk of falling in older adults during adaptive locomotion, Gait & Posture 24 288-294, 2006
- 5) G.J. Chapman, M.A. Hollands: Evidence that older adult fallers prioritise the planning of future stepping actions over the accurate execution of ongoing steps during complex locomotor tasks, Gait & Posture 26 59-67, 2007
- 6) M. Yamada, T. Higuchi, et al: Maladaptive turning and gaze behavior induces impaired stepping on multiple footfall targets during gait in older individuals who are at high risk of falling, Archives of Gerontology and Geriatrics, 54, e102-e108, 2012
- 7) M. Yamada, T. Higuchi, et al: Measurements of Stepping Accuracy in a Multitarget Stepping Task as a Potential Indicator of Fall Risk in Elderly Individuals, J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2011 September;66A(9):994-1000
- 8) T. Imai, S. T. Moore, et al: Interaction of body, head, and eyes during walking and turning, Exp Brain Res, 2001, 136: 1-18.
- 9) M.A. Hollands, A.E. Patla, et al: Loo where you 're going!: gaze behavior associated with maintaining and changing the direction of locomotion, Exp Brain Res, 2002, 143: 221-230.
- 10) S.B. Akram, J. S. Frank, et al; Turning behavior in healthy older adults: Is there a preference for step versus spin turn? Gait Posture, 31, 23-26, 2010.
- 11) K. Hases, R.B. Stein et al; Turning strategies during human walking, J Neurophysiol, 81, 2914-2922, 1999.
- 12) M.J.D. Taylor, P. Dabnicki, et al; A three-dimensional biomechanical comparison between turning strategies during the stance phase of walking, Hum Mov Sci, 24, 558-573, 2005.
- 13) S.T.O 'Keeffe, H. Kazeem, et al; Gait disturbance in Alzheimer 's disease: A clinical study, Age and Aging 25, 313-316, 1995.
- 14) E. M. Kato-Narita, R. Nitrinni, et al;

Assessment of balance in mild and moderate stages of Alzheimer's disease, Arq Neuropsychiatr, 69, 202-207, 2011.

15)A. F. Pettersson, M. Engardt, et al; Activity level and balance in subjects with mild Alzheimer's disease, Dement Geriatr Cogn Disord, 13, 213-216, 2002.
16)N. B. Alexander, J. M. Mollo, et al; Maintenance of balance, gait patterns, and obstacle clearance in Alzheimer's disease, Neurology 45, 908-914, 1995.
17)M. K. Y. Mak, A. Patla, et al; Sudden turn during walking is impaired in people with Parkinson's disease, Exp Brain Res, 190, 43-51, 2008.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

中村高仁, 菊本東陽, 星文彦; 歩行中の方向転換動作における予期的姿勢制御に関わるステップ戦略の検討, 理学療法 - 臨床・研究・教育, 23, 72-76, 2016.

[学会発表](計 8 件)

星文彦, 中村高仁, 菊本東陽, 鈴木陽介陽介, 藤本鎮也, 村田佳太, 塙大樹, 武田尊徳, 田代英之: 歩行中の障害物回避のためのプロアクティブ姿勢制御戦略に関する基礎的研究, 第49回日本理学療法学会大会, 2014, 5月, 横浜.

T. Nakamura, F. Hoshi; Analysis of the onset of turning during walking after stroke., XXCongress of the international society of electrophysiology and kinesiology, 15-18, July, 2014, Rome, Italy.

T. Nakamura, F. Hoshi; Proactive postural control of the turning while walking in healthy adults., WCPT 1-4, May, 2015, Singapore.

T. Nakamura, F. Hoshi; The strategies on turning while walking after stroke. XXI ISEK Congress, 2016 July ISEK, Chicago Illinois 5-8, July, 2016 Chicago, Illinois.

中村高仁, 武田尊徳, 星文彦, 菊本東陽: 脳卒中片麻痺患者における方向転換時の予期的姿勢制御に伴うステップ戦略の分析, 第51回日本理学療法学会大会, 2016.5月, 札幌.

中村高仁、菊本東陽、武田尊徳、星文彦;

高齢者の方向転換開始動作におけるステップ戦略の分析, 第52回日本理学療法学会大会, 2017.5月, 千葉.

中村高仁, 星文彦; 認知症者の方向転換開始動作における運動戦略の分析-2 ケースによる予備検討-, 第54回日本リハビリテーション医学会学会, 2017.6月, 岡山.

T. Nakamura, F. Hoshi; Postural and stepping strategies on turning while walking. 2017 ISPG World Congress, 25-29 June, 2017, Fort Lauderdale, FL, USA.

[図書](計 件)

[産業財産権]

出願状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

星文彦 (Hoshi Fumihiko)
埼玉県立大学・保健医療福祉学部・教授
研究者番号: 40165535

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()