

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：12102
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2012
課題番号：23700661
研究課題名(和文) 歩き出しの生理学に基づく脳梗塞麻痺患者のリハビリテーション支援ロボット開発
研究課題名(英文) Development of a rehabilitation assist robot for stroke paretic patients based on the physiology of initiation of locomotion
研究代表者 門根 秀樹 (KADONE HIDEKI) 筑波大学・サイバニクス研究コア・助教
研究者番号：90599820

研究成果の概要(和文)：視線、頭部、体幹の動作と全身移動の関係性に着目したリハビリテーションを提案する。従来研究において、歩行計測データから、体の各部位の水平面内の回転に注目すると、平均的に視線や頭部が、歩行方向および他の体部位よりも早く回転しており、それらの持つトップダウンの関係が予測されていた。ここではその解析をさらに進め、それらの関係性の制御モデルを電動車椅子に実装し、運動機能障害患者のための車椅子を構築する。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focus on the rehabilitation of the relationship between the movement of gaze, head, and trunk and the whole body movement. From the previous researched, top-down anticipatory relationship of these components of whole body locomotion was predicted. We develop a model of the relationship using data by human observation, and implement on an electric driven wheelchair to construct a robotic system for patients with functional impairment.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野：人間医工学・福祉工学・ロボティクス

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：歩行、動作支援、運動生理学、福祉ロボット、リハビリテーション、頭部動作、電動車椅子

### 1. 研究開始当初の背景

脳梗塞による運動機能障害のリハビリテーション支援機器の開発において、歩き出しに関わる脳部位（歩行誘発野）の性質は、これまで十分に考慮されてこなかった。それらの部位は、脊髄へのパターン開始指令を出すだけでなく、歩行時の視線や頭部・体幹の姿勢も制御している。頭部には視覚、平衡感覚

の受容器が集中しており、これらによる空間中の全身移動の知覚情報処理は、歩行の生成、制御において大きな役割を持っている。リハビリテーションにおいては、脚を動かすことに注意するあまり、俯いて脚部を注視し、歩行に適していない姿勢をとってしまうことがしばしばみられる。この姿勢は、神経情報処理のレベルで、空間知覚や歩行開始指令の

発現に適しておらず、そのためさらに歩行を開始しにくくなると考えられる。先行研究から、健常者の歩行中には視線、頭部が身体に先んじての進行方向に回転することが知られており、このような姿勢制御と全身移動の関係を訓練させることで、歩行や脚動作の開始が容易になるのではないかと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、視線、頭部、体幹の動作と全身移動の関係性に注目した、リハビリテーションのための電動車椅子を開発し、その有効性を確認することである。

## 3. 研究の方法

(1) 申請者は、これまでに視線および頭部運動と歩行軌道の関係性について調べるため、健常者の歩行データを計測し、解析を行ってきた。計測実験においては、健常者10人が被験者となり、計9パターン比較的複雑な歩行軌道を描いた。軌道は床面に描かれておらず、被験者は、事前に提示される紙の上に描かれたものと実験者によるデモに基づいて歩行した。全身運動のモーションキャプチャと視線計測を同期して行った(図1)。このデータの解析により、水平面内の回転に注目すると、平均して視線が約200ミリ秒、頭部が約100ミリ秒、歩行方向および他の体部位よりも早く回転しており、視線や頭部が歩行方向や体部位の動きを予測しているという結果が得られている。ここでは、この関係性をロボットに適用することを目的として、より精密な解析を行う。具体的には、視線、頭部、体幹、腰部、足部それぞれの水平面内の角度の時間的関係だけでなく空間的関係についても解析し、これらの軌道の曲率への依存性を検討する。

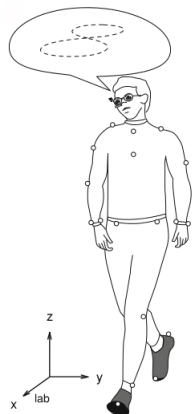


図1 歩行計測実験

(2) 上記で得られた自然な頭部姿勢と歩行軌道の実現するように、頭部姿勢に基づいて電動車椅子を制御するようコントローラを実装し、その操作性を評価する。

## 4. 研究成果

(1) 軌道の曲率が $-2[1/m]$ 以下または $2[1/m]$ 以上の区間(HC)、 $-1[1/m]$ 以上 $1[1/m]$ 以下の区間(SC)、それ以外の区間(MC)について解析を行った。(i)進行方向に対して、平均的に、空間的関係については、(HC)視線が39度、頭部が22度、(MC)視線が32度、頭部が18度進行方向に先んじていた。(SC)については予測的関係は特に見られなかった。時間的関係についても同様に、視線が進行方向に対して頭部よりも先行しており、予測時間の大きさは曲率にしたがって大きくなった。(雑誌論文(2)から図4bを引用(図2))

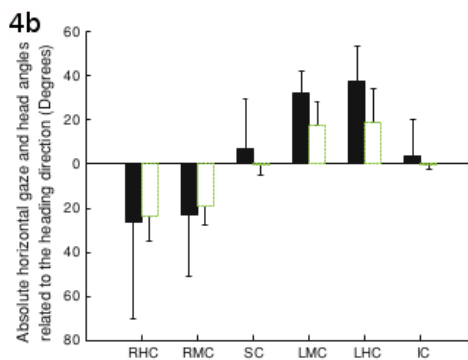


図2 進行方向に対する予測

(ii)各身体セグメント間関係として、視線が頭部に202ms、体幹に443ms、その他のセグメントに対して490ms先行していた。予測時間は曲率に応じて大きくなり、例えば視線の頭部に対する予測時間は(SC)217ms、(MC)255ms、(HC)400msとなった。空間的関係についても同様の結果が得られた。(雑誌論文(2)から図5b、5cを引用(図3、4))

また、軌道の変曲点(カーブの方向が直進に対して右から左または左から右に変化する地点)付近における性質として、このようなセグメントでは開始時において、視線は500msそして5度頭部の向きよりも早く方向転換を行い、「変曲」セグメントの終わりまで頭部の向きおよび体部位の方向を予測することはなかった。

以上のように、時間的にも空間的にも、視線から始まって頭部、体幹、腰部および進行方

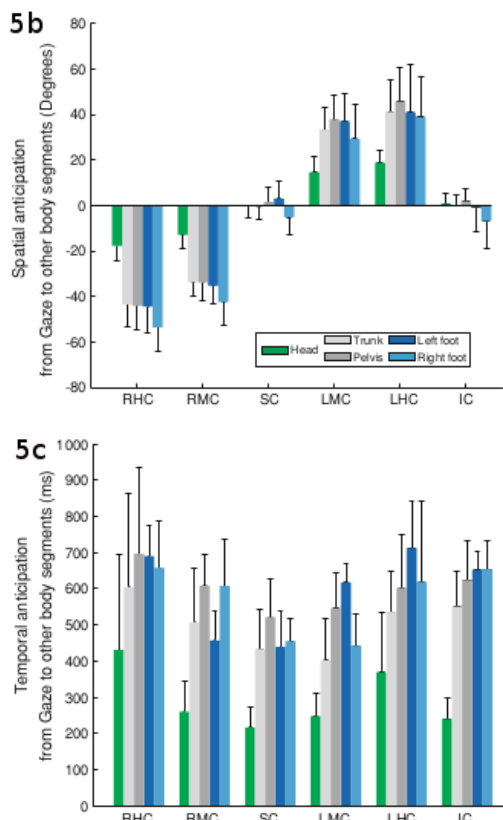


図3(上)、4(下) 各体部位に対する予測

向の順序で回転するというトップダウンの関係があることが示された。身体の移動という歩行本来の目的に応じて、まず視線と頭部姿勢がそれを予見し、次に実際の歩行として実現されるのである。力学的な側面だけに注目すれば、物体の運動は外力を起点として起こることから、床から足裏に受ける力を基準として歩行を記述することになる。しかし神経情報処理的には、頭部、体幹が基準となって運動が生成される。

本研究では、記憶された複雑な軌道上の歩行中の、3次元空間中の視覚的方向性を表す視線のもつ時系列的な予測のシステムについて検証した。実験結果から、視線、頭部そしてその他の体部位となるトップダウンのシステムティックな予測関係があることを示した。軌道の幾何的性質に依存した視線の時空間的予測のメカニズムについて評価した。実験結果を次にまとめる。

(1) 頭部の接速度ベクトルの方向で定義される進行方向に対する視線と頭部の予測は、それぞれ404msと183msであった。(2) 視線は各体部位の方向について時空間的に予測していた。(3) 変曲点を含むセグメントにおいて、視線による予測の特徴的振る舞いがみ

られた。このようなセグメントでは視線は、一つ目のカーブに沿った予測的動作が終了するよりも前に次のカーブに沿った予測へと移行するため、頭部の向きおよび体部位の方向を予測することがない区間が存在した。(4) 曲率による視線と頭部の水平面内での向きの変化を評価した。曲率によってセグメントに分けた軌道において、視線と頭部の時間的予測は曲率の増加に対して2次関数的に増えることが見られた。また視線に対しては曲率の増加に対して空間的予測が増加することがわかった。以下、本研究より得られた議論点をまとめる。

記憶を用いた軌道の再現には認知的なメンタルシミュレーションが必要であり、脳のナビゲーションと空間記憶にかかわる領域が必要とされる。近年のイメージング研究により海馬回が歩行のメンタルシミュレーションにかかわっていることが示されている。これらの神経系は視覚野に接続されており、視覚的にガイドされた歩行に寄与することが知られている。このことから、視線方向に基づく参照座標系が想定される。軌道の将来の進行方向の予測性は先行研究でも示されてきており、視覚的ゴールが示されないときや長期間の複雑な軌道においても、これが成立することが本研究で示された。

本研究では視線の振る舞いの全体的な性質に着目しており、眼球運動の詳細を記述するものではなかった。視線運動眼振の早いフェーズが、視覚像の将来の方向を予測して眼球を動かすことが知られている。この現象は中心窩からの空間的解像度の高い網膜像を用いて画像処理を行うために必要なものである。ここで計測した眼球にも眼振の性質が見られた。

また、視線の水平面内での予測角度が曲率に依存することが示された。空間的予測は曲率に依存して大きくなる。fMRIによる研究で、後方海馬回と紡錘状回の活動が、直線的な軌道上を進むときよりも曲がった軌道上を進むときに大きくなることが示されている。我々の結果も同様に、向同側の予測的眼球運動が多く観察されている。

サルの自由空間中での楕円描画のタスクにおいて手運動のプランニングに依存した眼球運動が知られており(特に最大変曲点への注視)、その際に大脳皮質が担う役割が示されている。ヒトの動作計測から、線描画中の手と軌道上の歩行運動においてともに、速度と曲率の関

係がパワー則に従うことが知られているため、運動計画の段階での手運動と歩行の共通性が類推される。特に、歩行軌道と視線予測の関係が中枢系によって計画されているのではないかと推測できる。

合目的な動作における視線予測は手のリーチングにおいても見られ、一般的なメカニズムであるといえる。暗闇での歩行中にも視線による予測は行われており、期待される方向へのフィードフォワードな指令として用いられていることが示唆される。運転動作においても将来の方向へガイドすることにおける視線の寄与の重要性が知られている。

(2) 頭部と体幹の相対姿勢を計測するセンサとして、(i)光学式モーションキャプチャ、(ii)2つのIMUセンサ、(iii)2つのIMUセンサと赤外線カメラを使用した(図5)。(iii)の場合について、床面上に与えられた軌道上をたどるよう電動車椅子を操作するタスクにおいて、従来のジョイスティックを用いた場合と頭部姿勢を入力インターフェースとして用いた場合を比較し、軌道の空間的な誤差は、頭部姿勢を用いた場合が平均的に若干大きくなるものの、大きな問題はないことを確認した。



図5 頭部計測と制御を実装した電動車椅子

## 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2件)

(1) H. Hicheur, H. Kadone, J. Grezes, A. Berthoz, The Combined Role of Motion related Cues and Upper Body Posture for the Expression of Emotions during Human Walking, 査読有, Modeling, Simulation and Locomotion, COSMOS, 18, 2013, 71-85, DOI: 10.1007/978-3-642-36368-9\_6

(2) D. Bernardin, H. Kadone, D. Bennequin, T. Sugar, M. Zaoui,

A. Berthoz, Gaze Anticipation During Human Locomotion, 査読有, Experimental Brain Research, Vol.223 65-78, 2012, DOI: 10.1007/s00221-012-3241-2

[学会発表] (計1件)

(1) 門根 秀樹、鈴木 健嗣、山海 嘉之、頭部動作指標に基づく歩行支援のための装着型計測デバイスの開発、第33回臨床歩行研究会抄録集、査読有、2011年12月11日、九州大学筑紫キャンパス

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

門根 秀樹 (KADONE HIDEKI)

筑波大学・サイバニクス研究コア・助教  
研究者番号：90599820