

令和 5 年 10 月 24 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10972

研究課題名(和文) 適応的歩行障害における神経制御メカニズムの解明

研究課題名(英文) The study to clarify the neural mechanism of adaptive gait.

研究代表者

崎原 ことえ (Sakihara, Kotoe)

帝京大学・医療技術学部・准教授

研究者番号：40423115

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：自閉症スペクトラム障害児は発達性協調運動障害を併存することが知られている。発達性協調運動障害は運動視覚認知機能の低下が運動障害の原因となり、動作を環境中の視覚情報や感覚情報などの知覚情報の変化に合わせてられない適応機能低下が指摘されている。知覚情報への動作の適応機能について詳細な機序は不明である。そこで健常成人の視覚情報の変化に対応する歩行動作の適応機能について検討した。歩行動作は視覚情報に応じて歩行比が変化する明暗順番効果と、ランダムな視覚情報に対して歩行比が一定となる明暗安定効果の2種類の適応機能があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歩行動作は視覚情報へ明暗順番効果と明暗安定効果の2種類の適応機能を持つことが健常成人で明らかになった。これらの新しい基礎的な知見に基づいて、発達性協調運動障害を併存する自閉症スペクトラム障害児では、適応機能が具体的にどのような作用しているのか今後検討することができる。2種類の適応機能の中でも、明暗順番効果または明暗安定効果のいずれが実行されないのか、または実行されていても時間遅延やエラーがあるのか、など詳細な検討が必要である。本研究の研究成果によって、発達性協調運動障害を併存する自閉症スペクトラム障害児での歩行適応機能研究をさらに推進することが可能になった。

研究成果の概要(英文)：Children with autism spectrum disorder are well known to have comorbid developmental coordination disorder. They have declined visuospatial function that causes the movement impairment, and they cannot adapt their behavior to the changes of visual or somatosensory input in the environment. Detailed mechanism has not been clarified yet how the behavior adapted to the changes of visual or somatosensory input. We studied how adult's gait adapted to the changes of visual input. We found the gait has two adaptation processes. The first was the order effect that the gait gradually varied to the changes of the visual input. The second was the stable effect that the gait was stable to the randomly changed visual input.

研究分野：神経生理学

キーワード：適応的歩行 3D歩行解析 発達障害児

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトは適応的歩行によって、環境中の知覚情報(感覚情報および視覚情報)の変化に柔軟に対応しながら行動している。足の周期的な動きは屈筋と伸筋の交互の活動によって脊髄 CPG (Central Pattern Generation) 内の介在ニューロン群で自律的に生成され、歩行比(歩幅/単位時間当たりの歩数)が一定に保たれる。知覚情報が入力されると、歩行比が知覚情報の増加に反して減少し、歩行が環境に適応する。脊髄 CPG 内の介在ニューロン群は環境中の知覚情報に対して歩行を切り替えるスイッチ機能の役割をもち、ヒト脊髄 CPG 活動の総和は歩行比として計測される。知覚情報の変化に対するスイッチ機能の神経制御メカニズムは不明である。

2. 研究の目的

本研究では、まず健常小児を対象に、スイッチ機能の神経制御メカニズムの解明を目的とする。スイッチ機能の解明によって、ヒトが環境の不確定な知覚情報にどのように柔軟に対応して行動しているのか明らかになり、学術的価値が高い。また適応的歩行障害を示す疾患として、発達性協調運動障害および自閉症スペクトラム障害がある。自閉症スペクトラム障害は高率に発達性協調運動障害を併存する。彼らの運動障害の背景には歩行のスイッチ機能の異常があるのではと考えられるが機序は不明である。本研究では、彼らの適応的歩行障害の神経制御メカニズムおよびその特性を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

研究1) 社会性スキルと協調運動について

自閉症スペクトラム障害児 12 名を対象として、自閉症スペクトラム障害の社会性スキルと協調運動機能の関係について検討した。社会性スキルの評価には Social Responsiveness Scale (SRS)、協調運動機能の評価には Developmental Coordination Disorder Questionnaire (DCDQ) を用いた。

研究2) 歩行動作計測・解析について: 反射マーカー法とマーカーレスの shape 法

反射マーカー法とマーカーレスの shape 法を用いて、歩行動作を計測および解析した。反射マーカー法では、健常成人および健常小児を対象に任意速度の 10m 歩行を計測した。下肢関節に反射マーカーを設置し、その座標位置を天井に設置した 8 台のカメラで追跡した。反射マーカーは腰から股関節、大腿、下腿、足までの計 23 か所に設置し、設置部位は正中上後腸骨棘、左右それぞれの上前腸骨棘、大転子、外側大腿部、外側顆、内側顆、すね、外側踝距骨、内側踝距骨、踵骨後部、2・3 指の内側骨、親指爪先とした。マーカーレスの shape 法では、健常成人を対象に固定式のカメラ 8 台による 3D 歩行計測環境を用いて、Y 軸方向へ任意速度の 10m 歩行を計測した。まず被験者と背景との明暗差から被験者の輪郭を抽出するため背景の減算を行い、次に抽出した輪郭に被験者を重畳し、動作追跡用のシミュレーションモデルを被験者の輪郭へ適合した。最後にシミュレーションモデルで自動的に歩行動作を追跡した。歩行サイクルの算出には立脚相の開始点である初期接地期と終了点である前遊脚期、遊脚相の終了点である遊脚終期を設定し、歩行パラメータを算出した。

研究3) ワイヤレス慣性センサー法について

マーカーレスの shape 法は計測の際に、天井に 8 台のカメラ設置が必要であるため、測定環境の設定が簡便なワイヤレス慣性センサー法を実施した。健常成人を対象とした。両下肢計 7 か所(左右下腿上部、左右内脛上部、左右足の甲、仙骨)にワイヤレス慣性センサー(Xsens 社, MVN Awinda)を装着し、被験者の身体寸法と慣性センサーの位置情報から被験者ごとのアバターを作成した。直線状の 10m 歩行中の歩行動作を計測し、歩行中の慣性データと動作のビデオ動画を同期記録し(MNV Analyze 2021.0)歩行動作を 3D 構成した。歩行動作を解析し(Xsens 社, Motion cloud: gait report)、歩行比(歩幅/歩行率)を算出した。歩行速度を 3 段階(低速、任意、高速)、環境照度を 5 段階(0Lux, 3Lux, 46Lux, 111Lux, 160Lux)に設定し、視覚情報の変化に対する歩行の適応機能について歩行比を指標として検討した。

研究4) 視覚刺激による歩行の適応機能について

健常成人を対象として、両下肢の計 7 か所(左右大腿部、左右内腿部、左右足の甲、仙骨)にワイヤレス慣性センサー(MVN, Xsens 社)を装着し、10m 自由歩行中の歩行動作を 3D 計測した。自由歩行中は被験者は一定の任意速度を保った。慣性センサーの座標データからアバターを作成し歩行比(歩幅/歩行率)を解析した。視覚刺激には歩行中の照度を遮光ゴーグルによって 8 段階(1Lux, 3Lux, 5Lux, 13Lux, 34Lux, 77Lux, 120Lux, 289Lux)に分けて設定した。まず照度を徐々に低下させ(明暗条件)またはランダムに照度を変化させた(ランダム条件)。次に、明暗条件とランダム条件を交互に実施し条件間のインターバルは 15 分とした。実施パターンは、明暗条件 ランダム条件 明暗条件とランダム条件 明暗条件 ランダム条件とした。

4. 研究成果

研究1) 社会性スキルと協調運動について

自閉症スペクトラム障害児 12 名すべてで DCDQ が低値を示し発達性協調運動障害の併存が示唆された。また社会性スキルが悪化すると協調運動も悪化し、社会性と協調運動は線形関係にあることが明らかになり、先行研究の知見と一致した(図1)。

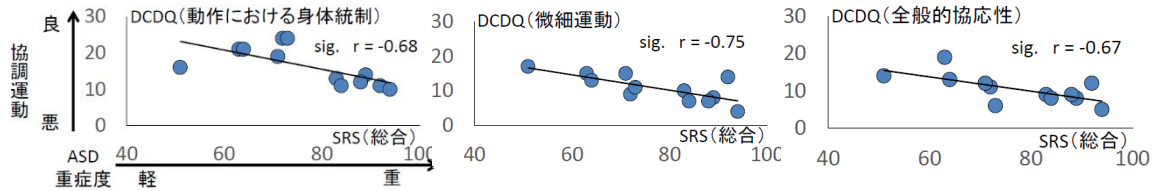


図1 社会性スキルと協調運動の関係

研究2) 歩行動作計測・解析について：反射マーカー法とマーカーレスの shape 法

反射マーカー法では、歩行中に内側踝と内足踝距骨に設置した左右のマーカーどうしが接触し、小児では特に接触回数が顕著となり歩行動作の支障となるため、小児への実施は困難と判断された。本研究では歩行動作の分析に最小限のマーカー数を採用したが、小児では内くるぶしのマーカーが歩行の支障となりマーカー法は小児には適さないことが明らかになった。また自閉症スペクトラム障害児は皮膚への知覚過敏を示すことがあり、マーカー法は実施できる対象児が限定されると考えられた。

マーカーレスの shape 法では、シミュレーションモデルによる歩行動作の追跡によって、歩行サイクルにおける下肢関節の経時的变化を可視化し、足関節の座標軸上の変化から、歩行速度 (m/s)、左右の歩幅 (m)、左右の重複歩調 (m)、歩調 (歩数/分)、周期 (秒) を自動的に算出した。マーカーレスの shape 法はマーカーの取り付けがなく自閉症スペクトラム障害児にとって非侵襲的である。また実施に必要な時間は歩行時間のみであるため極めて短時間で計測でき、就学前の低年齢の小児から実施可能であった。

研究3) ワイヤレス慣性センサー法について

歩行比は 160Lux 条件では任意速度と高速速度では差がなく低速度でのみ増加し、先行研究と一致する結果であった。歩行比は照度が低下すると、46Lux、111Lux、160Lux の条件間で差がなく、0Lux では有意に低下した。照度が低下すると歩行比が低下し、歩行動作が視覚刺激に適応することが明らかになった。右足の歩行比がいずれの照度条件でも左足より高値となり、左右差がみとめられた。ワイヤレス慣性センサーを用いた歩行動作の計測は下肢への最小限のセンサー数で実施でき、装着から計測まで短時間で実施可能であった。非侵襲性と簡便性から健常小児および発達障害児への適応が期待された。

研究4) 視覚刺激による歩行の適応機能について

照度が徐々に低下するについて歩行比も低下し、明暗順番効果がみとめられた。また照度がランダムに変化すると歩行比は一定となり明暗安定効果がみとめられた。通常、歩行比は自由歩行中は一定値となるが、視覚刺激によって変化し、明暗順番効果と明暗安定効果の2種類を示し、歩行が視覚刺激に鋭敏に適応することが明らかになった。

またランダム条件の15分後に明暗条件を実施すると、明暗条件でみとめられた歩行比の低下が抑制された。明暗安定効果によっていったん歩行比が一定になるとその影響は15分後も持続することが示され、視覚刺激に対する歩行動作の適応機能は、明暗安定効果が明暗順番効果に優先されることが示唆された。

本研究によって、歩行動作は視覚情報へ明暗順番効果と明暗安定効果の2種類の適応機能を持つことが健常成人で明らかになった。これらの新しい基礎的な知見に基づいて、今後は、健常小児を対象に、歩行動作の視覚適応機能について成人と同様に作用するのか、また発達の影響がどのようにみとめられるのか検討する。さらに本研究の研究成果によって、発達性協調運動障害を併存する自閉症スペクトラム障害児での歩行適応機能研究をさらに推進することが可能になった。発達性協調運動障害を併存する自閉症スペクトラム障害児では、視覚刺激への歩行適応機能が具体的にどのような作用しているのか今後検討することができる。2種類の適応機能の中でも、明暗順番効果または明暗安定効果のいずれが実行されないのか、または実行されていても時間遅延やエラーの有無についてなど詳細な検討が必要である。自閉症スペクトラム障害児には高率に発達性協調運動障害を併存するが、発達性協調運動障害の重症度によって歩行の適応機能が影響を受けるのではないかと予想されるため、自閉症スペクトラム障害児で発達性協調運動障害を併存しない対象群も考慮して、歩行の視覚刺激への適応機能について検討する必要がある。一方で、知覚刺激のなかでも視覚刺激への適応機能と体性感覚刺激への適応機能についても

検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sakihara Kotoe, Kita Yosuke, Suzuki Kota, Inagaki Masumi	4. 巻 45
2. 論文標題 Modulation effects of the intact motor skills on the relationship between social skills and motion perceptions in children with autism spectrum disorder: A pilot study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Brain and Development	6. 最初と最後の頁 39 ~ 48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.braindev.2022.09.001	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	稲垣 真澄 (INAGAKI MASUMI) (70203198)	国立研究開発法人国立精神・神経医療研究センター・精神保健研究所 知的・発達障害研究部・客員研究員 (82611)	
研究分担者	奥住 秀之 (OKUZUMI HIDEYUKI) (70280774)	東京学芸大学・教育学部・教授 (12604)	
研究分担者	中村 みほ (NAKAMURA MIHO) (70291945)	愛知県医療療育総合センター発達障害研究所・障害システム研究部・客員研究員 (83902)	
研究分担者	北 洋輔 (KITA YOSUKE) (90627978)	慶応義塾大学・文学部（三田）・准教授 (32612)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	鈴木 浩太 (SUZUKI KOTA) (20637673)	四天王寺大学・教育学部・講師 (34420)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関