

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K17708

研究課題名(和文)3次元映像投影技術を用いた脳性麻痺児での歩行停止動作の分析と練習法の確立

研究課題名(英文)Biomechanical Analysis of Gait Termination in Children with Cerebral Palsy Using 3D Projection Mapping Technology and the Development of a Training Method

研究代表者

木元 稔(Kimoto, Minoru)

秋田大学・医学系研究科・助教

研究者番号：40759586

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、健常児と比べ脳性麻痺児では急に歩行を停止する能力が低いことを3次元動作解析データを用いて示した。脳性麻痺児では歩行の急停止を行うためにブレーキ力となる後方への力を発揮することが難しく、原因として歩幅が小さいことや左右に大きく足部が離れた歩行であることが影響し、停止に長い時間と歩数を要していた。本研究は、脳性麻痺児の歩行停止能力を改善するためのトレーニングに示唆を与えるものである。

さらに、床上歩行において、脳性麻痺児を一定の速度で歩行させる方法は確立されていなかった。本研究では、プロジェクション・マッピングの技術を用いて、快適速度の100%や125%の速さで歩かせる方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プロジェクションマッピングを用いた手法は、動作速度を制御できるため、他のバイオメカニクス研究に応用できる可能性がある。物体を用いた方法とは異なり、光での提示は光に触れたり踏んだりすること自体では怪我を誘発しないため、比較的安全である。子どもは一般的に光刺激を好む傾向があるため、発達障害児を含めた治療への応用が期待できる。

脳性麻痺児の歩行停止能力が低いことを客観的データで示したことは、脳性麻痺児が学校生活をはじめとする社会参加を安全に行うことに、間接的に寄与する可能性がある。衝突・転倒予防のためのトレーニング法の提案や、学校・施設の環境整備に対する知見を提供した意義は大きい。

研究成果の概要(英文):This study demonstrated, using 3D motion analysis data, that children with cerebral palsy (CP) have a reduced ability to terminate gait compared to typically developing children. The CP group has difficulty generating the backward braking force necessary for a sudden stop. The gait characteristics of children with CP, such as shorter step lengths and wider step widths, contribute to their prolonged time and increased number of steps required to stop walking. This research provides insights for training methods aimed at improving gait termination ability in children with CP.

Additionally, there were no established methods to control walking speed for children with CP on the floor before this study. This research proposed a new system utilizing projection mapping technology to control walking speeds at 100% and 125% of the comfortable walking speed.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：歩行停止 脳性麻痺 バイオメカニクス プロジェクションマッピング 転倒 衝突

1. 研究開始当初の背景

脳性麻痺児では歩行が不安定であり、転倒しやすいため社会参加が制限されることが多い。例えば、学校の教室では机と机の間が狭いため、歩く速さを適切に制御し、任意の場所に正確に止まることが求められる。また廊下では児童・生徒が走って飛び出してくる場合もあるため、予測できない状況であっても、急に止まることが必要である。しかし、脳性麻痺児では任意の場所で早く・安全・正確に停止することが難しい。

歩行停止時のバランスは、身体重心とそれを制御する床反力成分の分析により解析されている。急に歩行を停止させるには、片側の足から身体重心に向かってブレーキ力を発揮する必要がある。この過程で身体重心の前方への移動は徐々に小さくなり、歩行が停止する。しかし、左右の足部位置で前後に位置するのではなく、左右が揃う位置関係になった場合、より前方から後方に向かう力は発揮しにくくなる。脳性麻痺児では歩幅が小さいため、このブレーキ力となる進行方向とは逆向きの力が発揮しにくい歩行特性を持つ。また脳性麻痺児が示す歩行特性は、疾患によるものであるのか、子どもとしての運動発達の未熟性に起因するものなのかは不明であった。

さらに、歩行停止には歩行速度や停止するまでの距離が関係する。一般的により速い速度からの歩行停止は難易度が高い。また、停止するまでの距離が短い場合も、急に歩行を停止することは難しくなる。歩行の速度を変えた歩行停止について分析した先行研究はみられるものの、この歩行停止距離を規定し、難易度が高いより短い停止距離での研究を行った報告は、脳性麻痺児以外が対象のものに検索の範囲を広げても、見つけることができない。

以上のように、歩行停止が難しい理由を明らかにするためには歩行停止動作の運動学・運動力学的分析が必要であるものの、課題条件となる歩行速度の規定方法や、危険の少ない衝突回避課題の設定方法は紹介されておらず、脳性麻痺児の歩行停止動作は十分に解明されていなかった。

2. 研究の目的

3次元動作解析装置を用いて、健常児と比較した脳性麻痺児における歩行停止動作を運動学・運動力学的に解析することを主な目的とした。

3. 研究の方法

定型発達にある健常児と健常者の比較

歩行停止動作における運動発達の影響を調べるため、健常児 12 名の動作を健常者 13 名と比較した。被験者は歩行路を快適な歩行速度で歩き、緑色に投影されたスクリーンが赤色に変わったら直ちに歩行を停止するように指示された。

分析項目は、歩行速度、停止時間、停止に要した歩数、身体重心移動距離（前後、左右、上下方向）、圧中心移動距離（前後、左右方向）、身体重心と圧中心の距離差（前後、左右方向）、床反力（前後、左右、垂直方向）、床反力ベクトル角度（前後、左右）とした。

歩行停止距離を規定しない方法での研究

脳性麻痺児において急な歩行停止に要する時間や歩数を解析するため、健常児の歩行停止動作との比較を行った。脳性麻痺児は痙直型であり、4 から 18 歳までの自立歩行が可能である者を対象とした。解析項目は上記と同様とした。

歩行速度と歩行停止距離を規定した方法

歩行速度と歩行停止距離を規定するために、プロジェクション・マッピングの手法を動作課題の提示に応用した。一定の速度で床面上を動く緑色の光の線に合わせ被験者は歩行した。この緑色の線が動く速さは各被験者の 100%と 125%快適歩行速度の 2 種類とした。緑色の歩行速度誘導線に追従して被験者は歩き、その後突然出現する赤色の光の線を越えず踏まないよう被験者は歩行を急停止させた。この際の身体重心、圧中心、床反力データなどを、健常児のそれらと比較した。

4. 研究成果

本研究の一連の結果は、2つのインパクトファクターがある英文雑誌で公表され、さらに現在、他に2つの投稿論文が査読を受けている。

歩行停止動作中、健常児では左右の圧中心移動が成人のそれと比べ大きかった。幼児の歩行は歩幅が広い、つまり左右に脚を広げた歩き方であり、この特徴は学童期には目立たなくなるとされる。しかし、本研究でみられた圧中心の左右への移動量の大きさは、歩行停止における運動発達の一端を示すものであると考えられる。

本研究の結果から、脳性麻痺児では急な歩行停止に長い時間と多い歩数を要することが明らかになった。これらの背景として、脳性麻痺児では歩幅が小さく、また左右に足部を離れたバランスをとる歩容であることが挙げられる。このような歩行停止方法では、床反力を前方にある足部から身体重心に向かって、ブレーキ力として効果的に発揮することが難し

い状態になってしまう。脳性麻痺児の歩幅が小さい状況が、歩行停止を含めた歩行バランスに関連していることを示した点で本研究の成果は大きい。歩幅を増大するトレーニング手法は、申請者が以前に紹介しており、この治療体操が脳性麻痺児の歩行バランス改善に寄与できる可能性が示された。本研究の知見は、脳性麻痺児が直面する歩行停止の難しさにアプローチするためのトレーニング方法開発に寄与できる可能性がある。

プロジェクションマッピングの手法を応用し、歩行速度と歩行停止距離を規定することで、脳性麻痺児の歩行停止の新たな側面がみられた。健常児では歩行停止のためのブレーキ力を1歩目に発揮するものの、脳性麻痺児では1歩目で発揮される力が小さく、むしろ2歩目で健常児よりもブレーキ力を強く発揮していた。言い換えると、脳性麻痺児ではより速いタイミングで効果的なブレーキ力を発揮することができず、停止動作2歩目にかけてブレーキ力を分散させていた。また脳性麻痺児ではより速い歩行からの歩行停止時に、左右方向の身体重心-圧中心距離を小さくさせていた。脳性麻痺児の左右に大きい体幹運動は、歩行速度増加へ寄与するとされている。速い歩行速度においてみられた左右方向の身体重心-圧中心距離の短縮化は、脳性麻痺児の歩行速度低下戦略の1つであると考えられる。従来、脳性麻痺児における歩隔の大きさが歩行機能に与える影響は未解明のままであった。歩行バランスの側面から歩隔を小さくできることの機能的意義を明らかにした点で、本研究の知見は評価できる。

さらに、床面に歩行速度を誘導するための光の線を提示するプロジェクションマッピングの手法は、この研究領域の手法に応用できることが期待できる。光を用いた速度誘導は、陸上競技や自動運転などへの応用がすでになされている。プロジェクションマッピングの技術が、障害のある子どもの歩行速度制御にも応用できることを示した点で、本研究の意義は大きい。学校や施設などでの環境整備としての応用も期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2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 村山大河, 木元稔, 齊藤結奈, 岡田恭司	4. 巻 34
2. 論文標題 急な歩行停止における片脚での停止動作の分析 - 下肢運動力学に着目した検討 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 東北理学療法学	6. 最初と最後の頁 33-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15049/artsjpta.34.0_33	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 木元稔	4. 巻 4
2. 論文標題 脳性麻痺の歩行	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 235-240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -
1. 著者名 Kimoto Minoru, Okada Kyoji, Mitobe Kazutaka, Saito Masachika, Kawanobe Uki, Sakamoto Hitoshi	4. 巻 90
2. 論文標題 Analysis of center of mass and center of pressure displacement in the transverse plane during gait termination in children with cerebral palsy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 106 ~ 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2021.07.015	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Kimoto Minoru, Okada Kyoji, Mitobe Kazutaka, Saito Masachika, Sakamoto Hitoshi	4. 巻 108
2. 論文標題 Gait velocity control using projection mapping for children with spastic diplegia cerebral palsy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Clinical Biomechanics	6. 最初と最後の頁 106043 ~ 106043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clinbiomech.2023.106043	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 -

1. 著者名 京野優美, 木元 稔	4. 巻 35
2. 論文標題 歩行車歩行を急停止させたときの動作の特徴	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東北理学療法学	6. 最初と最後の頁 52-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 川野辺有紀, 堀岡航, 仲村真哉, 三澤晶子, 坂本仁
2. 発表標題 脳性麻痺児と典型発達児との急な歩行停止制動の比較 - 歩行速度を変化させたときの変化 -
3. 学会等名 第9回日本小児理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 水戸部一孝, 齋藤正親, 川野辺有紀, 堀岡航, 佐々木美帆, 仲村真哉, 三澤晶子, 坂本仁
2. 発表標題 一定の歩行速度へ誘導するための, プロジェクション・マッピングの応用 健常児・者を対象とした信頼性の検証.
3. 学会等名 第40回東北理学療法学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 水戸部一孝, 齋藤正親, 川野辺有紀, 堀岡航, 佐々木美帆, 仲村真哉, 三澤晶子, 坂本仁
2. 発表標題 プロジェクション・マッピングを用いた脳性麻痺児の3次元歩行解析 一定の歩行速度に誘導する方法としての信頼性検証
3. 学会等名 第40回東北理学療法学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 京野優美, 木元稔
2. 発表標題 歩行車歩行を急停止させたときの動作の特徴 - 身体重心と床反力による解析 -
3. 学会等名 第40回東北理学療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山大河, 木元稔
2. 発表標題 急な歩行停止動作における下肢運動の分析 - ブレーキに必要な床反力後方成分との関連性 -
3. 学会等名 第40回東北理学療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 小船屋理子, 堀岡航, 川野辺 有紀, 仲村真哉, 坂本仁
2. 発表標題 歩行急停止での関節角度変化-異なる距離での比較-
3. 学会等名 第57回日本リハビリテーション学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲村真哉, 木元稔, 岡田恭司, 齊藤明, 丸山元暉, 川野辺有紀, 坂本仁
2. 発表標題 脳性麻痺児における足関節背屈可動域制限と各下腿筋の筋硬度との関係
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 仲村真哉, 小船屋理子, 川野辺有紀, 坂本仁, 木 元稔
2. 発表標題 脳性麻痺児における移動能力と下 腿筋の筋硬度の関係
3. 学会等名 第41回秋田県リハビリテーション研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kimoto M, Okada K, Mitobe K, Sakamoto H, Kawanobe U, Horioka W, Wakasa M, Saito A
2. 発表標題 KINEMATIC AND KINETIC ANALYSIS OF UNPLANNED GAIT TERMINATION IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY
3. 学会等名 World Confederation for Physical Therapy Congress 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 坂本仁, 川野辺有紀, 堀岡航, 小船屋理子
2. 発表標題 脳性麻痺児における歩行の非計画的停止動作 - 歩行時と歩行停止時の関節角度比較 -
3. 学会等名 第37回 東北理学療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 坂本仁, 川野辺有紀, 小船屋理子, 堀岡航, 仲村真哉
2. 発表標題 急な歩行停止における制動力の変化 模擬障害物の提示位置を変化させた場合での分析
3. 学会等名 第6回 日本小児理学療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小船屋理子, 木元美沙子, 川野辺有紀, 坂本仁, 木元稔
2. 発表標題 脳性麻痺児における手術後の運動機能の変化 ~ 足部変形との関連から ~
3. 学会等名 第40回 秋田県リハビリテーション研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 水戸部一孝, 齋藤 正親, 川野辺有紀, 木元美沙子, 堀岡航, 坂本仁, 齊藤明, 若狭正彦
2. 発表標題 脳性麻痺児における歩行の非計画停止動作 -健常青年との比較-
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木元稔, 岡田恭司, 水戸部一孝, 齋藤 正親, 川野辺有紀, 堀岡航, 佐々木美帆, 坂本仁, 齊藤明, 若狭正彦
2. 発表標題 脳性麻痺児における歩行の非計画停止での重心と圧中心の分析 -典型的発達青年との比較-
3. 学会等名 第5回日本小児理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kimoto M, Okada K, Mitobe K, Sakamoto H, Kawanobe U, Horioka W, Wakasa M, Saitou A
2. 発表標題 Kinematic and kinetic analysis of unplanned gait termination in children with cerebral palsy
3. 学会等名 WCPT Congress 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 藪中 良彦、木元 稔、坂本 仁	4. 発行年 2020年
2. 出版社 メジカルビュー社	5. 総ページ数 432
3. 書名 小児理学療法学	

1. 著者名 木元 稔	4. 発行年 2019年
2. 出版社 メジカルビュー社	5. 総ページ数 19
3. 書名 小児リハ評価ガイド：統合と解釈を理解するための道しるべ	

1. 著者名 木元稔	4. 発行年 2023年
2. 出版社 中外医学社	5. 総ページ数 14
3. 書名 理学療法における歩行	

〔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
研究協力者	水戸部 一孝 (Mitobe Kazutaka)	秋田大学 (11401)	

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
---------	---------