

令和 2 年 4 月 30 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01534

研究課題名（和文）体幹ベルト付下肢装具歩行における立脚支持と遊脚制御機構の解明

研究課題名（英文）Analysis of support function in stance phase and control mechanism in swing phase during gait with lower limb orthosis with trunk belt

研究代表者

相馬 俊雄（Soma, Toshio）

新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授

研究者番号：40339974

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）：一般的に脳卒中片麻痺（CVA）者の歩行能力向上には、プラスチック製短下肢装具（AFO）が広く利用されてきている。しかし、プラスチック製AFOは、歩行時の立脚相において、麻痺側下肢の膝折れ防止に役立っているが、遊脚相の振り出しには、つま先が地面に接触してしまい、転倒のリスクが高くなってしまふ。そこで、2006年にオランダで体幹ベルト付下肢装具（CVAid）は、歩行時の立脚相だけでなく、遊脚相にも機能を発揮する装具として製作された。そこで、健康成人を対象として、CVAidを装着した歩行における立脚支持と遊脚制御機構について、力学的側面からCVAidの機能特性について明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳卒中診療ガイドラインの装具療法において、CVAidは高い治療効果が期待できると紹介されている。しかし、その科学的根拠の背景となっている研究は希少である。そこで我々は、これまでに取り組んできた三次元動作解析のバイオメカニクス的手法を用いて、CVAidの機能特性について明らかにした。今回の結果から、健康成人を対象としてCVAidを装着した歩行において、立脚相に装具装着側へ身体重心が変位することが明らかになった。つまり、CVAidを装着した歩行では、CVA者の麻痺側下肢への荷重の促しに効果的であり、CVA者への装具療法として社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In general, the plastic ankle foot orthosis (AFO) have been widely used to improve the walking ability of stroke hemiplegic (CVA) persons. However, while the plastic AFO helps prevent knee bend of the paralyzed lower limbs during the stance phase in walking, the toes contact the ground during swinging leg of the swing phase, increasing the risk of falls. Therefore, in 2006, a lower limb orthosis (CVAid) with a trunk belt was manufactured in the Netherlands as an orthosis that exerts a function not only in the stance phase during walking, but also in the swing phase. Therefore, the functional characteristics of CVAid were clarified from a mechanical analysis of view in terms of the stance support and swing leg control mechanism during walking with CVAid in healthy adults.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：下肢装具 体幹 歩行 加速度 身体動揺 脳卒中 片麻痺 動作解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本邦では、脳卒中片麻痺 (CVA) 者の歩行能力を向上させる下肢装具 (AFO) は、従来からプラスチック製 AFO (図 1) が利用されている。このプラスチック製 AFO は、CVA 者の歩行中に変化する麻痺側下肢の筋緊張に対して、立脚相の体重を支持する膝折れ防止に役立っている。しかし、CVA 者の歩行の特徴は、立脚相だけでなく、麻痺側下肢の振り出しを行う遊脚相も深刻な問題でととなっている。この下肢の振り出しが原因で、足趾が床面に引っかかり転倒が引き起こされている¹⁾。そのため、多種多様な AFO が立脚相に重点を置いて製作されているが²⁾、遊脚相にも視点を向けて改良される必要がある。



図1. プラスチック製AFO

本研究で使用する体幹ベルト付下肢装具 (CVAid: 図 2) は、2006 年にオランダで製作された新型の装具である。この装具の特徴は、両肩から弾性ベルトで下肢を吊り上げており、ベルトの弾性張力を利用して、麻痺側下肢の振り出しを補助している。主に CVA 者の歩行の遊脚相に重点を置いて開発された下肢装具である。そこで、CVAid の機能特性をバイオメカニクスの手法で明らかにすることができれば、装具療法のエビデンス構築に繋がり、今後、CVAid の原理を応用した様々な装具が開発され、CVA 者の歩行能力向上に寄与できると考えた。



図2. 体幹ベルト付下肢装具(CVAid)

(社)日本理学療法士協会が報告した脳卒中診療ガイドライン (2011 年) では、装具療法についてエビデンスの高い研究が多数紹介されている。その中で、CVAid は、高い治療効果 (推奨グレード A, エビデンスレベル 2) があると紹介されている。Thijssen DH ら (2007)³⁾ は、CVA 者を対象に CVAid を装着した歩行時における歩行速度や歩幅などの運動学的データを示しているが、装具自体の機能特性については明らかにしていない。このように CVAid に関する先行研究が希少な中で、ガイドラインでは、エビデンスが高く紹介されているのが実情である。CVAid は、ヨーロッパ諸国で広がりつつあるが、現状では発展途上の段階である。その理由として、CVAid の機能や効果、そして有効性について客観的なエビデンスが確立されていないためであると考えられる。国内外において CVA 者の装具療法の研究は数多く行われているが、麻痺の程度と装具の適応についての研究は希少である。また、CVA 者は多種多様な下肢装具がある中で、どの装具が自身に最も適しているのか、取捨選択が難しいのが実情である。

2. 研究の目的

脳卒中診療ガイドラインの装具療法において、CVAid は高い治療効果があると紹介されているが、その科学的背景の根拠となっている研究は希少である。そこで我々は、現在までに取り組んできた三次元動作解析および筋電図学的解析のバイオメカニクスの手法を用いて、CVAid の機能特性について明らかにすることを目的とした。そこで、まず健康成人を対象にして、CVAid を装着した歩行における機能特性を明らかにすることを目的とした。

本研究の具体的な目的は、以下の 2 つである。

- (1) CVAid の体幹ベルトの張力を一定にするため、張力を計測するためのテンションメーターの開発と製作を行う。
- (2) 健康成人を対象に三次元動作解析装置および加速度計を用いて、CVAid 歩行における身体特性を力学的側面から明らかにする。

3. 研究の方法

(1) テンションメーターの開発と製作

本研究で使用する CVAid は、伸縮性ある弾性の体幹ベルトと下肢のストラップで構成されている。CVAid を装着する際、この弾性ベルトの張力の大きさが、歩行時における立脚相の支持機能と遊脚相の振り出しに重要な役割を果たしている。そこで、実験に先立ち、弾性ベルトの張力を計測するためのテンションメーター (図 3) の開発と製作を行った。このテンションメーターは、既存の製品がなく、市販されていないため、(株)レプトリノ (長野県) との共同開発で実現した。製作したテンションメーターを使用して CVAid 装着時の体幹ベルトの弾性張力の大きさを明らかにできれば、CVA 者の麻痺の程度に合わせてベルトの弾性を調節および設定することが可能となると考えられる。

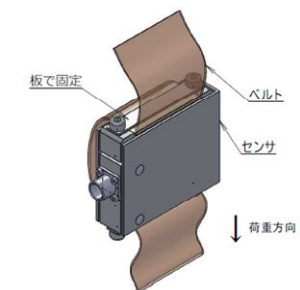


図3. テンションメーター (テンション計測用1軸センサ)

- (2) 健康成人を対象とした CVAid 装着歩行における身体特性の力学的解析対象

対象は、健常成人男性 10 名とした。年齢は 21.2 ± 0.4 歳(平均値 \pm 標準偏差)、身長は 170.9 ± 4.0 cm、体重は 60.3 ± 5.1 kg であった。対象者には、事前に本研究の目的、方法、内容研究上の不利益、危険性および個人情報保護について十分な説明を行い、同意を得た。本研究は、ヘルシンキ宣言の精神に基づき、対象者への身体的・精神的苦痛および情報漏洩の防止に配慮して実施した。本研究を実施するにあたり、新潟医療福祉大学の倫理委員会において承認を得た(承認番号: 17622)。

課題動作

課題動作は、15m の歩行路の平地歩行とした。課題条件は、CVAid を装着しない歩行(通常歩行)と CVAid を右下肢に装着した歩行(CVAid 歩行)とした。被験者は、CVAid 歩行に慣れるため、課題動作の計測を行う 1 時間以上前に CVAid を装着した。そして、十分な歩行練習を行った後計測を行った。ケイデンスは、メトロノームに合わせて、100step/min に規定した。CVAid の体幹ベルトとストラップの張力を被験者間で統一するため、テンションメーター(SFS0018F201A, Leptrino, 長野)を用いて、静止立位時に 3.0kgf に統一した。

身体動揺および身体重心の計測

身体動揺の計測には、加速度センサーを内蔵した体幹 2 点歩行動揺計(MVP-WS2-S, Microstone, 長野)を使用した。サンプリング周波数は、200Hz とした。体幹 2 点歩行動揺計の取り付け位置は、胸部(両肩甲骨下角を結ぶ中央部: 第 7 胸椎)および腰部(第 5 腰椎)とした。身体動揺は、胸部と腰部の 2 箇所から計測した。

身体重心(COG)の計測には、三次元動作解析装置(VICONNexus1.8.5, Oxford Metrics, UK)を使用した。サンプリング周波数は、200Hz とした。被験者には、赤外線反射マーカを臨床歩行分析研究会が推奨する左右の肩峰、肘頭、橈骨茎状突起と尺骨茎状突起の中央、股関節中心、大腿骨外側上顆、外果、第 5 中足骨頭と右側の上後腸骨棘の合計 15 箇所に貼付した。また、歩行時の立脚相は、外果の赤外線反射マーカが下方に静止した時点から、第 5 中足骨頭の赤外線反射マーカが上方に移動するまでの期間とした。

身体動揺および身体重心の算出と解析

身体動揺の算出は、胸部および腰部の 6 軸加速度センサーから得られる加速度と角速度をもとに、カルマンフィルタを用いてセンサーの座標を推定した。座標処理の手順は、センサー座標系加速度を実験室に固定された基準座標系の加速度に座標変換した上で、バイアスを除くフィルタ処理および積分処理を行い、基準座標系速度を算出した。次に基準座標系速度からバイアスを除くフィルタ処理および積分処理を行い、基準座標系変位を算出した。このとき、積分処理前に基準座標系速度は、バイアスを除くことで平均速度が 0 になるため、基準座標系変位の移動成分はキャンセルされる。その結果、胸部および腰部の前後(Y)、上下(Z)、左右(X)方向の変位(mm)は、0 を中心に変動することになる。この基準座標系変位を 1 歩行周期毎に分割し、3 歩行周期分を加算平均した。身体動揺は、右脚(CVAid の装着側)および左脚(非装着側)の歩行立脚相における胸部および腰部の前後(Y)、上下(Z)、左右(X)方向の最大変位(mm)を絶対値で算出した。また、三次元動作解析装置から得られる COG は、臨床歩行分析研究会が推奨する Diff-gait を用いて、6Hz のローパスフィルタ処理を行い算出した。COG の変位は、静止立位時の身体位置座標(0)を初期値として、右脚および左脚の立脚相における変位(mm)を算出した。COG の変位の解析は、静止立位時における身体位置から立脚相における右脚および左脚を 1 歩行周期毎に切り取り、3 歩行周期分を加算平均した。COG の上下(Z)、左右(X)方向の変位(mm)は、最大変位を絶対値で算出した。身体動揺および COG の変位は、通常歩行と CVAid 歩行における右脚および左脚の各 3 試行を平均した。

4. 研究成果

(1) テンションメーターの開発と製作

* 上記: 方法の箇所に記載

(2) 健常成人を対象とした CVAid 装着歩行における身体特性の力学的解析

結果

身体動揺における胸部の左右(X)方向の変位は、CVAid 歩行において CVAid 装着側の右脚(32.2 ± 10.5 mm)の方が左脚(25.0 ± 8.4 mm)に比べ、有意に大きな値を示した(図 4)。その他では、有意差はみられなかった。また、腰部の左右(X)方向の変位は、CVAid 歩行において CVAid 装着側の右脚(26.3 ± 5.7 mm)の方が左脚(20.2 ± 5.1 mm)に比べ、有意に大きな値を示した(図 5)。その他では、有意差はみられなかった。COG の左右(X)方向の変位は、CVAid 歩行において CVAid 装着側の右脚(28.9 ± 6.7 mm)の方が左脚(23.2 ± 6.1 mm)に比べ、有意に大きな値を示した(図 6)。その他では、有意差はみられなかった。

考察

身体動揺および COG の前後 (Y) と上下 (Z) 方向の変位において, CVAid 歩行と通常歩行では, 左右脚に有意差がみられなかった. 立脚後期では, 足関節底屈筋の活動により床面を蹴り出して, 下肢を前方に蹴り出し, その後, 床面から足趾が離地した時から股関節屈筋の活動により, 下肢を前方へ振り出す. CVAid 歩行は, 体幹ベルトやストラップのゴムの弾性が, 股関節屈曲力の役割を担って下肢の振り出しを補助している. そして, 振り出し時に足関節の背屈運動が可能となり, 通常歩行に則した下肢の関節運動となる. このことから, 前後 (Y) および上下 (Z) 方向の身体動揺に有意差がみられなかったと考えられる. また, CVAid 歩行では, 身体動揺および COG の左右 (X) 方向の変位が通常歩行に比べて, 有意に大きな値を示した. つまり, 立脚相において装具装着側に COG が変位することがわかった. 今後は, CVA 者に装具を装着した歩行解析を行い, 麻痺側への COG 移動がみられるか検討が必要である.

本研究により CVAid を装着した歩行の身体特性を力学的側面から解明することは, CVAid の機能の特徴付ける研究知見の一つになると考えられる. 本研究は, 健常成人を対象に CVAid 歩行における身体動揺と COG の変位を検討した. その結果, CVAid 歩行では, 立脚相の CVAid 装着側への変位が, 通常歩行に比べ有意に大きな値を示した. このことから, CVAid 装着した歩行は, CVA 者の麻痺側下肢への荷重を促す効果が期待できると考えられる.

近年, 加速度の変化からエネルギー効率を検討することが可能であることから, 身体のエネルギー効率について, 加速度計を使用した研究が年々増加してきている. 本研究の成果から国内外のリハビリテーションにおける装具選択の一助となり, 臨床場面への波及効果が期待できる.

< 引用文献 >

- 1) Dean JC, Kautz SA. : Foot placement control and gait instability among people with stroke. *J Rehabil Res Dev* 52(5), 577-590, 2015.
- 2) Boudarham J, Zory R, Genet F, Vigné G, Bensmail D, Roche N, Pradon D. : Effects of a knee-ankle-foot orthosis on gait biomechanical characteristics of paretic and non-paretic limbs in hemiplegic patients with genu recurvatum. *Clin Biomech* 28(1), 73-78, 2013.
- 3) Thijssen DH, Paulus R, van Uden CJ, Kooloos JG, Hopman MT. : Decreased energy cost and improved gait pattern using a new orthosis in persons with long-term stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 88(2), 181-186, 2007

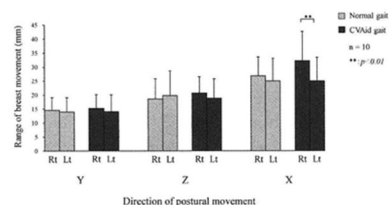


図4 Range of breast movement during CVAid gait
Y : Range of forward and backward
Z : Range of vertical movement
X : Range of right and left

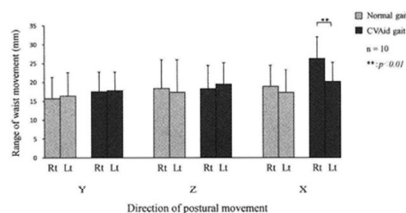


図5 Range of waist movement during CVAid gait
Y : Range of forward and backward
Z : Range of vertical movement
X : Range of right and left

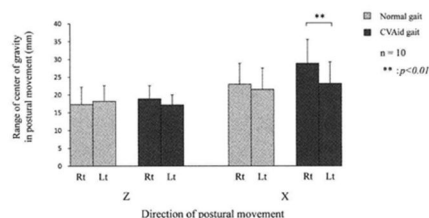


図6 Range of center of gravity in postural movement during CVAid gait
Z : Range of vertical movement
X : Range of right and left

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 相馬俊雄, 丹保信人	4. 巻 38
2. 論文標題 体幹ベルト付下肢装具歩行の身体動揺解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 379-388
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 相馬俊雄	4. 巻 47 (2)
2. 論文標題 リハビリテーション場面における移動動作へのアプローチ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 理療	6. 最初と最後の頁 26-32
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 相馬俊雄	4. 巻 49 (1)
2. 論文標題 運動連鎖と理学療法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理療	6. 最初と最後の頁 22-28
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 相馬俊雄	4. 巻 49 (3)
2. 論文標題 中枢神経疾患における運動連鎖	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 理療	6. 最初と最後の頁 20-30
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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 相馬俊雄, 丹保信人
2. 発表標題 体幹ベルト付下肢装具歩行における立脚支持機構の解析
3. 学会等名 第43回日本運動療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshio Soma, Nobuhito Tampo
2. 発表標題 Analysis of postural movement during gait with lower limb orthosis with trunk belt
3. 学会等名 WCPT (World Confederation for Physical Therapy) Congress 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nobuhito Tampo, Toshio Soma
2. 発表標題 Mechanical analysis of lower extremity joint of a hemiplegic stroke patient gait with lower limb orthosis with trunk belt
3. 学会等名 WCPT (World Confederation for Physical Therapy) Congress 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相馬俊雄, 丹保信人
2. 発表標題 体幹ベルト付下肢装具歩行における弾性ベルトの張力変化が身体動揺に及ぼす影響
3. 学会等名 第54回日本リハビリテーション医学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丹保信人, 相馬俊雄
2. 発表標題 脳卒中片麻痺者に対する体幹ベルト付下肢装具歩行の力学的解析
3. 学会等名 第52回日本理学療法学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Toshio Soma, Nobuhito Tampo
2. 発表標題 Analysis of postural movement during gait with lower limb orthosis with trunk belt in hemiparetic stroke patient .
3. 学会等名 ISPRM2019 (第13回国際リハ医学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔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	大山 峰生 (Oyama Mineo)	新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・教授	
	(10367427)	(33111)	