

機関番号：12102
 研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700526
 研究課題名 (和文) 片脚への動力型歩行支援による短期適応～脳卒中片麻痺患者の歩行回復に向けて～
 研究課題名 (英文) Short-term adaptation elicited by robotic assistant to unilateral leg during locomotion: toward gait recovery for hemiplegic patients
 研究代表者
 上林 清孝 (KAMIBAYASHI KIYOTAKA)
 筑波大学・大学院システム情報工学研究科・助教
 研究者番号：70415363

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、ロボットスーツ型の歩行支援装置による片脚への歩行支援が、その後の通常歩行時に歩容変化をもたらすのか調べることを目的とした。ベースラインとしてトレッドミル上で通常歩行を測定した後、ロボットを装着して片脚に対する歩行支援を 10 分間行った。支援直後の通常歩行では股関節の可動範囲に変化がみられ、漸増的に増加して 1 分程度で一定値に達した。このように、ロボット歩行支援によってもその直後の歩容には短期変化が生じることが示された。

研究成果の概要 (英文)：

The purpose of this research was to investigate changes of human walking pattern after walking support to unilateral leg by a robotic gait orthosis. After video recording of normal walking pattern on a treadmill for a baseline measurement, the robotic assistant to the unilateral leg was provided for ten minutes. During normal walking immediately following the robot-assisted walking, a change in extension-flexion range of the hip joint through a step cycle was observed. The range of motion in the hip joint was gradually increased and became to a constant value within one minute. Thus, it was shown that short-term adaptation might be seen during normal walking immediately after the robot-assisted walking.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：神経生理学

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，歩容，ロボット，適応，神経科学，リハビリテーション，動作解析，動作支援

1. 研究開始当初の背景

近年、神経科学の研究発展によって脳を含む中枢神経系が可塑性をもつことが明らかとなり、ニューロリハビリテーションと呼ば

れる機能回復を目指した積極的な介入療法が行われるようになった。中でも脊髄損傷や脳卒中などによる歩行機能障害に対する免荷式歩行訓練はその代表例であり、旧来のリ

ハビリテーションでは自立歩行が不可能とされた患者が歩行を再獲得できる可能性が示されている(Wernig et al. 1995, Dobkin et al. 2006)。この歩行訓練ではセラピストが患者の下肢動作を徒手アシストしながら行うため、質的・量的に介入に限界があったが、ロボット技術を応用した歩行支援装置が開発されたことでセラピストの身体的負担を軽減し、安定した長時間の訓練を行えるようになってきている(Colombo et al. 2000, Hornby et al. 2005, Wirz et al. 2005)。代表的な歩行支援装置 Lokomat®は全世界で現在200台以上稼働しており、日本でも2005年に国立障害者リハビリテーションセンターに導入され、脊髄損傷患者を対象とした歩行訓練が実施されている。また、リハビリ目的だけでなく、日常生活における高齢者の歩行支援に向けたロボットスーツ型支援装置も開発されている。

このようなロボット支援機器が開発されているものの、ロボットによるアシストを受けることでヒト側にどのような変化が生じるのかは明らかにされていない。歩行支援を受けた直後の自立歩行においても歩容に変化が観察されるのであろうか。1回の歩行訓練によっても短期的な適応変化が生じるならば、定着していない可逆的な適応変化を訓練による歩行機能の向上と見誤る可能性もあるだろう。これまでに脊髄不全損傷者に対する Lokomat®での歩行訓練を通じて、40分間の訓練直後には痙性の減弱など生じ、ストライド長の増加といった歩行パフォーマンスの向上を観察していた。しかしながら、系統的な実験を行っておらず、短期適応が生じるならばどの程度持続する効果であるのか、どの程度の訓練時間で生じるのかといった点は調べられていない。水中歩行や体重免荷歩行の直後に通常歩行を行った際には、錯覚のように感覚と運動にミスマッチが生じることからも、ロボットアシスト条件下においても短期的な適応変化が推察される。

2. 研究の目的

昨今のロボット技術の進歩によって、ヒトの身体動作を支援するロボットが多数開発されているが、二足歩行時にロボットアシストされることでヒト側に生じる適応変化は明らかとなっていない。ロボットによる歩行リハビリテーションでその訓練効果を検証するうえでも、ヒトの適応変化について調べる必要があるものと思われる。そこで本研究では、歩行支援ロボットの歩行アシストによってその後の通常歩行時に適応変化が引き起こされるのか、3次元動作解析を用いて調べることを目的とした。脳卒中片麻痺患者に対する歩行リハビリテーションでは主に患側への歩行アシストが行われることから、本

研究では片脚のみに歩行アシストを与えて、その後の通常歩行における歩容変化を評価することとした。片脚への歩行支援が対側の歩容にも適応変化をもたらす可能性があるため、両脚ともに解析対象とした。

3. 研究の方法

本実験には10名の健常成人男性(身長 173 ± 4 cm, 体重 63 ± 7 kg, 年齢 24 ± 4 歳)が参加した。歩行時の下肢動作支援に用いた両脚型ロボットスーツ(Hybrid Assistive Limb: HAL®, Cyberdyne社製)は外骨格の股・膝関節部に駆動モータを装備し、表面電極で導出した下肢筋群の電位振幅を基に関節部のモータでトルクを与えて歩行支援するものである(図1)。



図1 ロボットスーツ型歩行支援機器

アシストによる歩容変化は、ビデオ映像による3次元動作解析から評価した。片脚あたり2台、計4台のデジタルビデオカメラ(HDR-CX550V, Sony社製)で撮影を行い、動作解析システム(Frame-DIAS IV, DKH社製)を用いて映像をデジタル化した。映像は60 Hzのサンプリングで分析した。臨床歩行分析研究会で推奨されている第5中足骨骨頭、足関節外果、大腿骨外側上顆、大転子中央と上前腸骨棘を結んだ直線上で大転子から1/3の位置、肩峰の左右計10点に直径20 mmの反射マーカを貼付した(図2)。進行方向に対して、左右方向をX軸、前後方向をY軸、鉛直方向をZ軸とし、DLT(Direct Linear Transformation)法にて3次元座標値を割り出した。矢状面での下肢3関節(股、膝、足関節)の角度は反射マーカを基に図2のよう

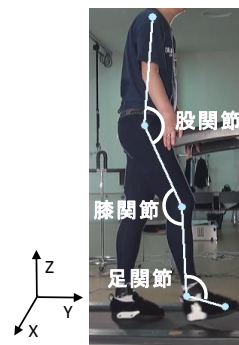


図2 反射マーカ位置と下肢関節角度定義

に定義した。

歩行はトレッドミル (T630, SportsArt Fitness 社製) 上で実施し, 速度は 3.5 km/h とした。ロボットスーツの大腿および下腿の長さは, 被験者の脚長に合わせてあらかじめ調節した。歩行時の視線は前方の壁に定めた注視点に向けさせ, 腕振りせずにトレッドミルのサイドバーを指で軽く握らせた。被験者には歩容を強く意識することなく, いつもと同じように歩くよう指示を与えた。

はじめにベースラインとして通常歩行 (Pre 条件) を 3 分間行った後に, ロボットスーツを装着し, 片脚アシスト歩行 (Assist 条件) を実施した。アシストは全被験者ともに右脚に与えた。10 分間のアシスト歩行終了後, ロボットスーツをはずし, 再度 5 分間の通常歩行 (Post 条件) を行い, 歩容変化を残存効果として観察した。Pre, Assist, Post の各歩行条件で, 歩行開始 30 秒後からを初期, Pre 条件で 1.5 分, Assist 条件で 5 分, Post 条件で 2.5 分間を中期, 条件終了の 30 秒前からを後期とし, 10 歩行周期を動作解析した。加えて, Post 条件の開始 1 分間における経時的な歩容変化についても歩行分析した。各条件ともにトレッドミルが 3.5 km/h の定常速度に達してから計測を開始した。

歩行の評価項目として, 1 歩行周期における股・膝関節での最大伸展角度と最大屈曲角度から屈伸角度範囲, 足関節の最大底屈・背屈角度から底背屈角度範囲を算出した。歩行周期時間は, 右脚の地面接地の瞬間を基準として割り出した。また, 左右脚のイニシャルコンタクト時に, 第 5 中足骨頭マーカでの前後位置 (2 点間距離) から左右脚でのステップ長を計算した。歩行周期とステップ長は, Pre・Assist・Post 条件で計測したが, ロボットスーツの外骨格部で反射マーカが隠れてしまうことがあることから, 関節角度は Pre および Post の通常歩行でのみ解析した。各データ値は, 平均値±標準偏差で示した。

4. 研究成果

図 3 は, 各歩行条件の初期にて, 1 名の被験者における矢状面での中足骨マーカ位置をリサージュ図形として示したものである。3 つの歩行条件ともに 10 歩行周期を重ね書きしている。アシスト歩行時には右脚にロボットによるトルク支援が与えられた結果, 右脚の遊脚後半に中足骨の位置が Pre 条件での両脚やアシスト条件での左脚に比べて高く推移していた。また, 通常歩行時に比べて, アシスト歩行時にはステップ長が両脚ともに延長していた。このように, トルクのアシストや外骨格システムによる拘束などの影響で, アシスト条件での歩行パターンは通常歩行時とは異なっていたものと考えられる。こ

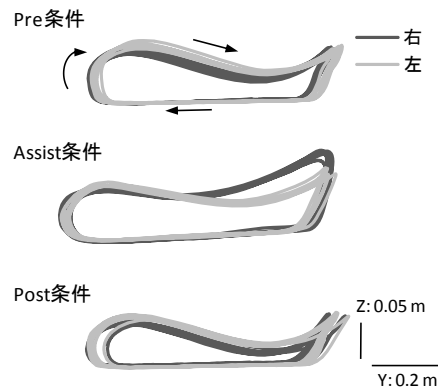


図 3 各歩行条件の初期段階における左右脚の第 5 中足骨リサージュ図形

の被験者ではアシスト歩行直後の Post 条件で, 遊脚期後半の右脚における中足骨位置が Pre 条件に比べて低く変化した。Assist 条件での 1 ステップ長の延長は全被験者による平均値にもみられ, 被験者の多くは左脚よりも支援のあった右脚で歩容の変化が大きかった。また, Pre や Post の条件と比較して, Assist 条件での 1 歩行周期時間に有意な増加がみられた。

図 4 は, Post 条件の開始 1 分間での股関節・膝関節の屈伸角度およびステップ長の経時変化を左右脚で示した 2 名の被験者例である。左側に示した被験者では, 1 歩行周期における股関節の屈伸角度範囲が左右脚ともに徐々に増加していき, 40 秒経過した付近で一定値に達した。一方, 右側に示した被験者例では, 左脚の股関節屈伸角度に経時変化が観察されなかったのに対し, 右脚では漸増的に増加する傾向がみられた。股関節の経時的な適応変化に対して, 膝関節では両被

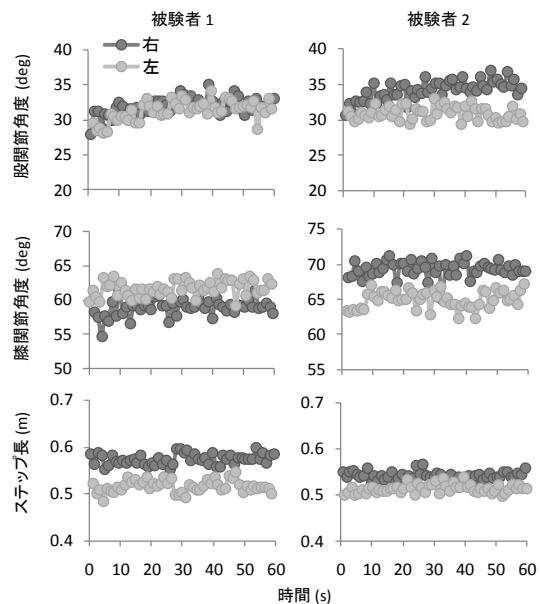


図 4 Post 条件開始 1 分間での股関節・膝関節の屈伸角度およびステップ長の経時変化

験者とも明確な変化がみられなかった。また、ステップ長に関しても、顕著な残存効果はみられなかった。

Post 条件の開始直後1分間での関節角度やステップ長における経時的な変化を全被験者データで検討するため、10秒ごとに区分して平均値を算出した(図5)。各項目ともに開始10秒での値を100%とし、相対化した。股関節では左右脚ともに漸増的に屈伸角度範囲が増加していき、50秒あたりで一定値に達した。このように、全被験者の平均においてもロボットアシスト直後には股関節の可動範囲に残存効果があらわれた。計測は3.5 km/hの一定速度に達してから開始しているため、この角度変化は歩行速度による影響ではなく、アシスト歩行による適応変化が生じたものと考えられる。しかしながら、その適応変化は1分以内に消失する短期的なものようである。膝関節でもPost条件の初期にわずかな増加傾向がみられたが、その相対的な変化率は股関節に比べて小さかった。一方、

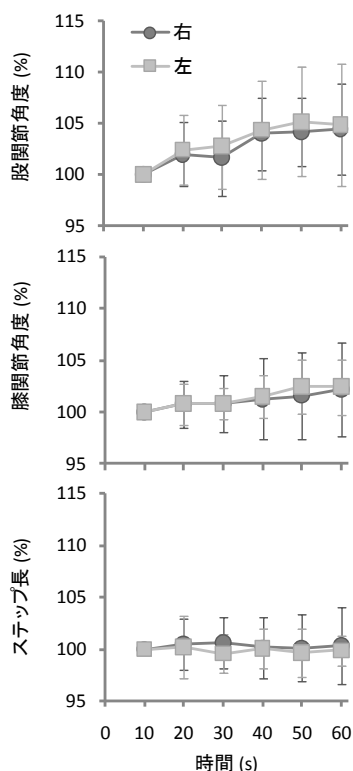


図5 Post 歩行開始1分間での股・膝関節角度範囲とステップ長の相対的变化

ステップ長は左右脚ともに明らかに変化は生じなかった。

本研究では片麻痺患者に対する歩行訓練を想定し、健常者の片脚のみにアシストを与えた。アシスト直後の通常歩行では主に股関節の可動域に漸増的な増加が生じ、適応変化がみられた。一方、全被験者の平均値では左右脚に差は生じなかったが、被験者のなかに

は図4で示したようにアシスト脚のみに適応が観察されたケースもあるため、個人差をもたらした要因については今後更なる検証が必要と思われる。また、ステップ長には適応変化があらわれなくても、第5中足骨のリサーチ図形にみられたようにつま先位置が通常よりも低い場合もあることから、アシスト歩行直後には転倒に対する十分な注意を払うべきと考えられる。本研究の Assist 条件ではロボットスーツによって反射マークが隠れてしまうため、片脚に対して2台のカメラ撮影では関節角度を算出することができなかった。撮影方法もしくは解析装置を変更し、アシスト歩行時の関節角度変化についても調べる予定である。

別の実験プロトコルで両脚に対して10分間のアシストを行った歩行によっても、本研究と同様に股関節可動範囲に変化がみられた。今後はさらに訓練時間の増加やアシスト強度の増加によって適応がさらに強く引き起こされるか等の実験を健常者や歩行機能障害者で動作解析や筋活動記録によって進める計画である。ロボットによる歩行支援装置はリハビリ機器としてだけでなく、筋力低下をきたした高齢者への歩行支援でも利用が見込まれる。歩行不自由者に対する歩行アシストは運動量減少による二次的な疾病の予防につながるであろう。安全性の高い歩行支援の実現や歩行訓練方法の効率化に向けて、ヒト側での適応変化をより明らかにすることが求められる。

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)

- ① Kamibayashi K, Nakajima T, Fujita M, Takahashi M, Ogawa T, Akai M, Nakazawa K. Effect of sensory inputs on the soleus H-reflex amplitude during robotic passive stepping in humans. *Experimental Brain Research*. 2010, 202 (2), 385-395, 査読有

[学会発表] (計5件)

- ① 上林清孝, ロボット型歩行支援装置の使用経験について, 第1回マスタースレーブ方式リハビリテーションシステム研究会, 2010.12.22, 盛岡
- ② 上林清孝, 中島 剛, 小川哲也, 中澤公孝, 受動歩行時の速度増加による皮質脊髄路の促通とH反射経路の抑制, 第65回日本体力医学会, 2010.9.17, 市川
- ③ Kamibayashi K, Nakajima T, Ogawa T, Kitamura T, Akai M, Sankai Y, Nakazawa K. Effects of the stepping speed on the

excitability of the corticospinal tract and H-reflex pathway during robot-assisted passive stepping in humans, Society for Neuroscience, 80.12, 2009.10.17, Chicago, USA

- ④ 上林清孝, ヒトの二足歩行の神経生理学的研究～ロボットを用いて～, 第33回UTARCセミナー, 2009.8.6, つくば
- ⑤ Nakajima T, Kamibayashi K, Kitamura T, Komiyama T, Nakazawa K, Walking-related afferent feedback from the leg induces short-term plasticity of upper limb spinal monosynaptic reflex pathways in humans, 36th Congress of the International Union of Physiological Sciences, 2009.7.31, Kyoto, Japan

[図書] (計1件)

- ① Nakazawa K, Kamibayashi K, Nakajima T. Contribution of somatosensory input to modulation of corticospinal and spinal reflex excitability during human walking. Advances in neuromuscular physiology of motor skills and muscle fatigue. Ed. M. Shinohara, Kerala, India, Research Signpost, 2009, pp215-232

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上林 清孝 (KAMIBAYASHI KIYOTAKA)

筑波大学・大学院システム情報工学研究科・助教

研究者番号：70415363