

歩行リハビリテーション用訓練装置の開発現況

Review of development of training devices for walking rehabilitation

矢野 裕美 太田裕治

Hiromi YANO Yuji OHTA

お茶の水女子大学大学院 ライフサイエンス専攻

1. 背景

脊髄損傷や脳卒中により運動機能が麻痺した患者に対して、移動機能の再建を目的とした歩行トレーニングがリハビリテーションの一つとして広く行われている。具体的な方法としては、安価で導入しやすい平行棒によるものが多い。しかし、平行棒内での訓練では歩行範囲も狭く、また実際の歩行とは異なる歩行練習しかできない点が問題点として挙げられる。また、歩行器を用いた訓練も取り入れられているが、自らの上肢の力のみで身体を支えつつ前進しなければならない点はかなりの負担となる。このため最近では treadmill を用いたリハビリテーションが行われつつある。即ち、身体を免荷装置で吊るした状態で、treadmill 上にて歩行訓練を行うものである。この場合、歩行速度、免荷条件などを任意に設定できるため、患者の状況に合わせた訓練プログラムを実施可能であるが、一方で訓練には複数名の PT (理学療法士) を必要とするなど、経費・人手の問題から導入されている施設が少ないのが現状である。Fig.1 にはこの訓練例を示したが、このように訓練を行うためには、両側の 2 名の PT により麻痺した下肢の動作訓練を行いつつ、3 人目が骨盤と体幹を支持し安定させる必要がある。



Fig.1 Spinal cord injury subject undergoing locomotor training¹

しかし treadmill 上での歩行訓練は通常の平行棒などの訓練と比較し、短期間での治癒など多くの面で効果的であることが示されつつあるため²、現在このトレーニングを支援するためのロボット訓練装置が開発されてきている。このロボット化は、リハビリテーション過程において患者の進歩を客観的に定量化する手段を提供するものとしても有効であると考えられている。本稿では現在開発が進められている 3 つの主な訓練装置を紹介するとともに、障害後の神経運動機能の回復の可能性に関して述べる。

2. 歩行訓練ロボット

(1) LOCO Center

LOCO Center とは、Hocoma 社の Lokomat と Woodway 社の LOCO System (treadmill) で構成された自動歩行治療システムであり、Colombo, Dietz (University of Balgrist, Swiss) らにより開発が進められている。外観を Fig.2 に示すように、患者の下肢運動を自動化したものである。本システムの特徴として、

- 患者が一定に長時間歩行治療を受けることが可能である。
- 下肢運動を自動化したことで必要な PT の人数が減る上、補助が不要なため PT の負担を大幅に減少させた。

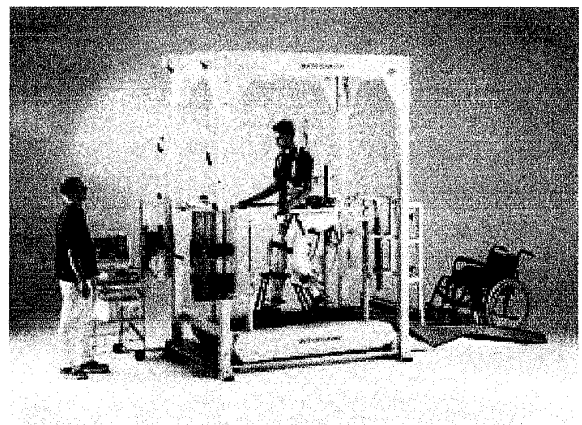


Fig.2 LOCO Center³

- 麻痺した下肢を様々な運動制御することにより生理的歩行パターンの復旧を早めることが可能.
- 各患者のトレーニングの進捗状況により, 1人のPTでも, 同時に複数名の患者の治療を実施可能である. その結果, 歩行療法の実効性は増加し, 時間とコスト削減を実現した.
- 操作が簡単で分かり易く, また車椅子からtreadmillへのすばやい移動が可能である. 患者の体型に合わせて装置のサイズや位置を自由に変えることができる.
- バイオフィードバックシステムにより, 治療中における麻痺筋の回復過程を患者に示すことが可能であり, モチベーションの維持を図ることが可能である.

等を有する.

(2) Orthosis with artificial pneumatic muscles

動力(空気圧)付きのAnkle-foot orthosisを2組用いた LOCO Center と同様の訓練装具である. 外観及び被験者が treadmill 上で装具を装着して歩いている様子を Fig.3 に示す. 過去には麻痺患者の為に動力付き下肢装具をつくる試みが多く見られたが, それらの多くは金属製フレームと電気モーターを採用しており, 重く非実用的であった. これに対しここで開発された装具は空気圧を利用し, 重さ 1.4kg と軽量であり, 高いパワー出力を出すことができる. 基礎研究から

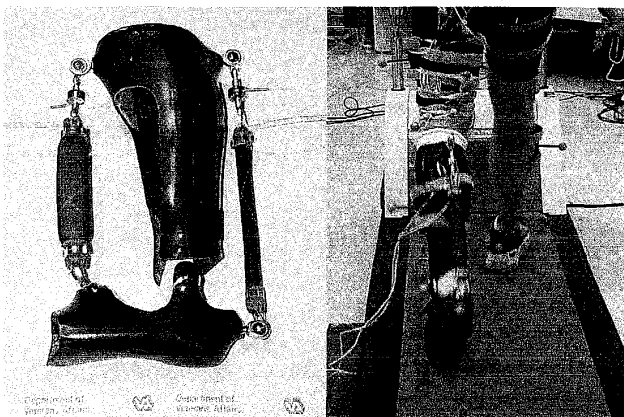


Fig.3 Ankle-foot orthosis with artificial pneumatic muscles¹

も, 起動時に若干の時間遅れを伴うものの, このアクチュエータの機械的性質は人間の筋肉の特性とほぼ同程度であることがわかった. この基礎検討を踏まえて, 歩行リハビリテーションの援助に使用可能な短下肢装具を開発し, その結果, 必要労働量を減少させることができたとされている. また, 十分な EMG 信号が脳卒中や脊髄損傷のために存在していないときでも, 装具を制御するために kinematic もしくは kinetic データ(例えば, 足の接触や股関節の角度)を使用するなどの工夫も有する.

Fig.4 には, この Ankle-foot orthosis システムをベースに, 他の関節もアシストする骨盤帯長下肢装具(Hip-knee-ankle-foot orthosis)のアイデアを示した. 即ち, この装具は, Fig.4 に示すような既存の装具を基礎とし, それに空気圧を用いた人工の筋肉を股関節, 膝, 足首に付随したものである. 現段階では, 先に示した Ankle-foot orthosis も Hip-knee-ankle-foot orthosis も研究途中であり, 実際に患者を対象とした装具として利用されてはならず, 今後, 麻痺患者を対象に具体的な評価実験が進められるものと考えられる.

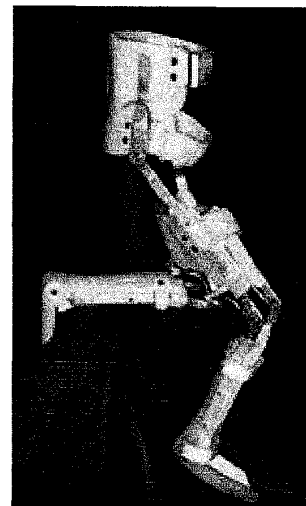


Fig. 4 Hip-knee-ankle-foot orthosis¹

(3) Power-assisted ARGO

脊髄損傷者は移動手段として一般的に車椅子を使用する. しかし, 歩行動作の獲得は移動動作

の確保という観点だけでなく、心理的・生理的効果からも必要とされる。なぜなら、立位歩行は体力・健康維持の面から欠くことができないからである。例えば、歩行による呼吸循環機能の維持、筋量の維持、骨密度の低下防止、免疫の活性化、消化機能の改善などが挙げられる。また、他者との視線の違いからくる精神的影響の指摘もあり、車椅子に頼り、歩行を放棄すると心身ともに様々な弊害が起こる。よって我々は今までに脊髄損傷者用歩行補助装具の開発を行ってきた。この研究ではイギリスの RSLSTEEPER 社製の歩行補助装具である ARGO(Advanced Reciprocating Gait Orthosis)を用いており、その外観を Fig.5 に示す。

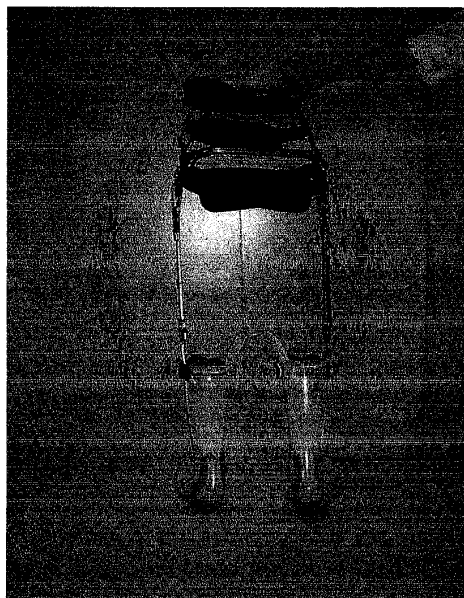


Fig. 5 Advanced Reciprocating Gait Orthosis

ARGO の特徴として、

- 股関節駆動ケーブルで立脚側の股関節伸展方向への動きを遊脚側の股関節屈曲方向への動きに変換させ、安定した交互下肢振出を可能にする。即ち、ヒップドライビングケーブルは左右股継手と連結され、右股関節が屈曲すれば左は伸展する。
- 他の交互歩行装具と異なり、内側の支柱をなくし左右の外側片側支柱のみをバックチェーンで連結した。

- 骨盤部と胸部には前後にベルトがあり、静的、動的アライメントの調整の補助を行うのに役立つ。

等が挙げられる。本研究ではこの ARGO (以下 normal ARGO) をベースに、股関節のレシプロ機構部を動力化することにより脚の前方繰り出しを補助した動力化ARGO(以下 power-assisted ARGO) を既に開発し、被験者を対象に歩行解析を進めてきた。股関節動力化部分の外観を Fig.6-A に示す。レシプロ機構部の動力化には、レシプロケーブル内のワイヤの動きを補助するためケーブル両端にリニア(直動型)アクチュエータ (Minimotor3042 並びに減速機 30/1 66:1, Faulhaber 社製。および電動プッシャーEP40, 旭精工株, 全 1.3kg) を取り付けた。電源は軽量

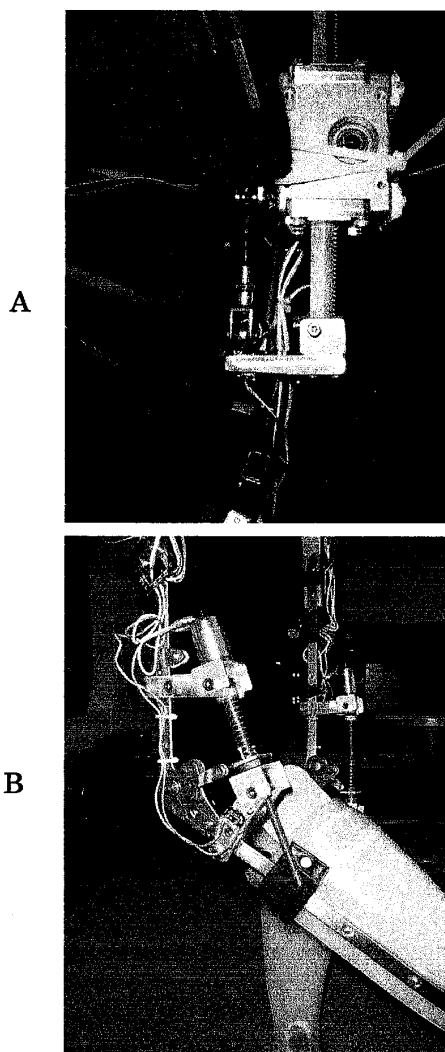


Fig.6 Photographs of the actuator mounted on ARGO

かつ大容量のニッケル・水素蓄電池（三洋電機製 HR-3US 定格容量 1600mAh, 14V）を用いた。現在までの実験で、この動力化した power-assisted ARGO を用いることで、脊髄損傷患者の歩行運動において normal ARGO に比べ歩行速度の上昇や生理的効果が見られた。今後は膝関節も動力化し、歩行運動の回復をさらに円滑にする予定である。

本装具はユーザが任意に歩行訓練の行えるように小型かつ軽量に設計したものであるが、現在、この装具を treadmill に設置し、先の2例の歩行訓練器のように歩行訓練のための制御を行う試みを行っている。即ち、Fig.7 に示すように、予め PC から動作タイミングを設定したシーケンサ回路を用いることで膝関節と股関節の回転運動を連携させ、treadmill 上で歩行訓練を行うものである。これにより、麻痺した神経筋機能の訓練を通じた可塑性に関して研究を進める予定である。

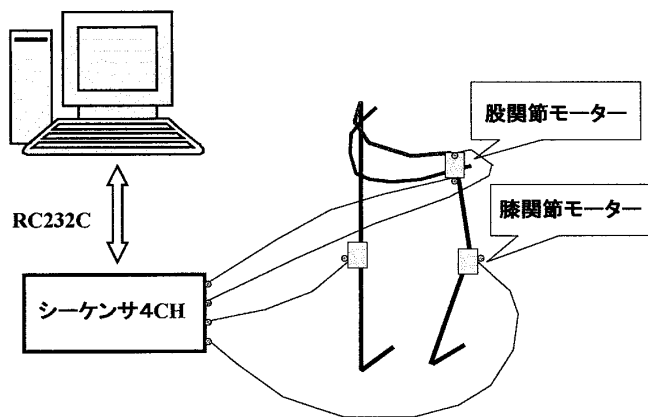


Fig.7 Block chart of the system

3. 神経生理学的効果—神経筋機能の可塑性

歩行リハビリテーションを行うことで、外部強制的に股関節、膝関節動作が実現され、その活動によって脊髄損傷で麻痺した筋肉、およびそれを支配する脊髄運動ニューロンの活動による神経生理学的な効果が得られる可能性が生じると考えられている。実際に、患者を通じた歩行訓練によって、麻痺状態にある下肢の筋群に歩行周期に同調した筋活動が生じることが分かりつつある

ためである。この筋活動は、立位歩行によって生じる関節や筋、腱の固有受容器、あるいは足底の圧受容器等からの様々な求心性神経情報が脊髄運動ニューロンの活動を起こすことによって反射的に発現するものと考えられている。このことから、歩行トレーニングは脊髄を損傷した患者の身体機能低下の抑制に貢献する可能性が高く、本稿で述べたロボット型訓練機により麻痺した神経筋系の可塑性に関して研究が進めば、今後はリハビリテーションとして生かされると考えられる。

参考文献

- 1) Ferris, Daniel P., Joseph. M. Czerniecki, and Blake Hannaford, AN ANKLE-FOOT ORTHOSIS POWERED BY ARTIFICIAL MUSCLES
Papers Presented at the 25th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, 2001
- 2) Dan Ferris, Ph.D., Dept. of Movement Science and Dept. of Biomedical Engineering, A Robotic Exoskeleton for Gait Rehabilitation
<http://www-personal.engin.umich.edu/~oyu/sum.doc>
- 3) Hocoma Ltd. Locomat
<http://www.hocoma.ch/>
- 4) Kojima N, et al. Effects of limb loading on the lower-limb electromyographic activity during orthotic locomotion in a paraplegic patient, *Neurosci. Lett.*, 274:211-213, 1999.