

平成 21 年 5 月 7 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18300188

研究課題名（和文） 脳卒中片麻痺患者を対象にした免荷式歩行補助装置を使った歩行訓練効果

研究課題名（英文） Effect of gait training using body weight-supporting assistive device for hemiplegic patients

研究代表者

赤居 正美

国立障害者リハビリテーションセンター病院 院長 （研究所併任）

研究成果の概要：

本研究では脳卒中患者および脊髄損傷を対象として、一定期間の免荷式歩行トレーニングを行わせ、訓練前後に実施する諸検査の結果から、訓練効果とその発現機序を定量的に検討することを目的とする。本研究の対象者は脳卒中片麻痺患者であるが、先行して研究を始めた脊髄損傷者に対しても同様の研究を行うことで、両者の訓練効果、その神経機序の相違を検討する。これらの研究成果は、脳卒中患者の移動能力の維持・向上を図るより効果的な新たな神経リハビリテーション（neurorehabilitation）方法を立案する上で、極めて有用な情報と提供し得るものと考えられる。

免荷式歩行トレーニングの効果についてより信頼性の高い根拠が得られ、神経リハビリ訓練の効果的な手法として、臨床に広く普及させるための足がかりとなる。（200 字程度）

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
18 年度	8,500,000	2,550,000	11,050,000
19 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
20 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：総合領域

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：リハビリテーション・脳卒中・動力型歩行補助装置・装具歩行トレーニング

1. 研究開始当初の背景

歩行障害を中心とする移動能力低下に対するリハビリテーションは、これまで運動療法、装具療法が主流であり、セラピストによる指導と訓練が行われてきた。特に運動療法では廃用予防、筋力維持、バランス訓練とともに歩行訓練に重点が置かれ、残存機能を最大限に活用し、ADLの獲得を目指すアプローチがとられてきた。

一方で、体重を部分的に免荷した状況下で下

肢の動作を補助し、正常な歩容を再現する免荷式歩行トレーニングが、最近の歩行リハビリテーションの主流となりつつある。この動向には、近年の神経科学領域の研究によって脊髄機能を含む中枢神経系が可塑的性質を持つことが明らかにされ、繰り返しの歩行訓練によってかなりの歩行機能再獲得が実現できる可能性が示されたことが大きく影響している。

経験的見地からみても、脳卒中や脊髄損傷後

にはかなりの歩行機能回復が生じることが認識されてきたものと考えられるが、どのようなストラテジーを採ればより効果的な歩行機能再獲得が実現できるのか、あるいは障害や麻痺状態などによってどの程度までの機能回復を見込めるのか、などについては整理して検討されていないのが現状である。また、免荷式歩行トレーニングの効果を検証した幾つかの研究では、歩行速度や動作の改善、運動中の筋活動の改善などの効果を報告しているが、歩行機能改善の具体的な神経機序については未だ明らかにされていない部分が多く、その効果は理論的根拠の上に立脚しているといわざるを得ない。

わが国では現在140万人を越える脳卒中患者が存在しており、医療・リハビリテーションの充実が急務の課題となっている。医療技術の進歩によって脳卒中による死亡数自体は近年低下する傾向にあるが、身体機能がどの程度まで回復するのか、あるいは社会生活に復帰できるのかは、受傷後のリハビリテーションの成果に大きく委ねられている。免荷式歩行トレーニングに関しては、脊髄不全損傷者を対象とした取り組みが先行して行われてきた感があるが、脳卒中患者に対する訓練効果も非常に高いものと考えられる。歩行機能の回復機序は、脳卒中と脊髄損傷では異なることが予測され、それゆえ、本来歩行訓練のストラテジーは、疾患の種類や麻痺の程度、受傷後のステージ等によって変化させるべきところである。しかしながら現段階では経験則による部分が大きく、脳卒中患者の免荷式歩行トレーニングの適用と限界に関しては整理されていない。この点を整理できれば、歩行リハビリテーションに対するガイドライン立案にも有用な情報を与えるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では脳卒中患者および脊髄損傷を対象として、一定期間の免荷式歩行トレーニングを行わせ、訓練前後に実施する諸検査の結果から、訓練効果とその発現機序を定量的に検討することを目的とする。

本研究の対象者は脳卒中片麻痺患者であるが、脊髄損傷者に対しても同様の研究を行うことで、両者の訓練効果、その神経機序の相違を検討する。これらの研究成果は、脳卒中患者の移動能力の維持・向上を図るより効果的な新たな神経リハビリテーション(neurorehabilitation)方法を立案する上で、極めて有用な情報と提供し得るものと考えられる。

3. 研究の方法

(1)研究の特色・予想される結果と意義：

平行棒や杖を用いて行う歩行訓練は理学療法士らの指導下で、対象者によってその内容を様々に変化させて行われているため、その質的・量的介入の効果を定量的に検討するには限界がある。また、免荷式トレッドミル歩行トレーニングの効果に関しては、これまで比較的多くの研究が行われているが、歩行運動中の下肢動作はセラピストの徒手的な補助によって行われるため、動作の再現性の確保が難しい(Harkema et al. 1997, Ferris et al. 2004)。また、歩行速度や下肢動作は被験者の残存運動機能に大きく依存するため、介入手段にばらつきが生じる。この点は、訓練効果を正確に把握する上での限界点となる(Dietz and Harkema 2004)。

本研究では、下肢に動力装置を装着することによって、歩行運動中の下肢の周期運動をアクチュエーターが他動的に実現する、動力型歩行補助装置 Lokomat を使用し、歩行運動のモダリティを高度に統制する。

具体的には、Lokomat は歩行速度やケイデンス、ストライド長などの基本的な歩行のパラメータを任意の値に設定できることに加え、左右の脚の動作様式やテンポを自由に設定することができる(Lokomat の詳細はColombo et al. 1999を参照)。これらの機能を用いて、本研究では患者が通常のトレッドミル歩行時に行う歩行動作を先ず定量し、その時点での歩行速度、および左右の不均衡性を持った歩容を改善するような動作設定下での運動を行う予定である。このような実験環境は、患者に対する介入手段を厳密に規定することを可能とするため、研究結果の信頼性を高める非常に有用な点となる。また、下肢動作の補助をセラピストの労力に頼らずに済むため、長時間にわたって安定した歩行運動を実現させることが可能である。

脳卒中患者では、運動麻痺に半側優位性を持つことから、自らの残存運動機能による歩行運動では、本来左右対称であるべきはずの歩行運動が、著しく損なわれている。このような異常な歩容は、適切な歩行運動出力を発現させることをも阻害している可能性があり、従来型の免荷式トレッドミル歩行においても左右対称な動作を実現することは難しい。本研究で使用する Lokomat は、重篤な疾患を持つ患者でさえも、正常な歩容に近い動作を再現することが可能であるため、歩行中に生じる適切な神経情報を入力する、という視座に立てば、十分な効果を発揮するものと予想される。

本研究を通して、歩行トレーニングによって中枢神経系にいかなる適応変化が生じるのかを明らかにすることができれば、脳卒中患者における免荷式歩行トレーニングの効果についてより信頼性の高い根拠が得られ、神経リハビリテーション(neurorehabilitation)

の効果的な手法として臨床に広く普及させるための足がかりが得られる。

(2)研究の位置づけ：

本研究は、神経生理学的な視点からみれば訓練効果の発現メカニズムを検討しようとする極めて基礎的な研究の立場を取るが、とりわけ脳卒中患者に関して言えば、一定期間の歩行トレーニングによってどの程度の歩行機能の改善が認められるのかを定量的に検討した研究は未だに少ないので、臨床的価値も極めて高いものと考えられる。

近年の神経科学領域の研究の進展によって、運動機能障害者の歩行機能獲得のための新たなリハビリテーション方法が注目されている。しかし、免荷式歩行トレーニングを含む新たな歩行リハビリテーションは、専門的な知識と高度に習熟した技術が必要である。訓練効果がセラピストの技術に依存することは、広くリハビリテーション方法を普及させる際には大きな弊害となる。本研究で用いる Lokomat は簡便な操作方法のもと、対象を選ばず正常な歩行動作の実現が可能である。

したがって、本研究における諸検査を経て歩行機能再獲得のための神経機序を解明し、この装置を用いた訓練パラダイムを確立することが可能になれば、近い将来、多くの運動機能障害者が効果的な歩行リハビリテーションを行う環境を整備することが可能となるものと考えられる。

4. 研究成果

高位中枢と麻痺領域の神経伝達や中枢神経回路の機能改善の定量評価のために健常被験者も入れてデータ収集を行った。電気生理学的手法による皮質脊髄路の興奮性評価（経頭蓋磁気刺激・運動誘発電位による評価）の結果からは、上下肢間の neural circuit や上位中枢における意識集中(alertness)が、得られるデータに大きく影響することが判明した。こうした要素の関連から、従来行なっていた歩行中の麻痺筋活動計測、筋酸素動態、運動強度評価（定常状態酸素摂取量・心拍数、運動後血中乳酸濃度）などは種々の交絡因子の制御がばらつき、経時的評価としては不十分であることが判った。ただし、先行する実験とも照らし合わせると、脊髄損傷者では前脛骨筋の運動誘発電位を一つの手がかりとして訓練効果を見ると、少なくとも不全麻痺患者における歩行能力向上に関連があると考えられた。

【本年度研究】

免荷式歩行補助装置を用いた歩行リハビリテーションプロトコルを立案し、延べ4名の脊髄不全損傷者を対象とした縦断的研究を実施した。リハビリテーション実施に伴う歩

容の変化、歩行中の下肢筋活動を計測し、さらに実施前後に脊髄反射、経頭蓋磁気刺激による運動誘発電位の変化からリハビリテーション効果の定量化を試みた。歩容の改善は顕著であったが、筋活動の振る舞いは個人間で大きくばらついており、同様に脊髄反射、運動誘発電位についてもリハビリテーション実施に伴う一様な変化を得るには至らなかった。また、脳卒中患者の左右非対称な歩行の特長を補正する手段として、歩行補助装置による左右対称な受動歩行運動を行わせた、歩行中の筋活動動態と、受動歩行前後の歩容の変化を観察した。歩行補助装置による歩行では、左右の下肢筋活動の対称性が向上するとともに、補助装置を外した後にも左右対称な歩行が継続される興味深い結果が得られた。

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 15 件)

・赤居正美. 整形外科リハビリテーションのEBM. 日本整形外科学会誌, 80 (2), 2006, p. 217-224.

・赤居正美. 関節拘縮のリハビリテーション; 運動療法による予防と治療. 総合リハビリテーション, 34(7), 2006, p. 663-666.

・Miyoshi T, Hotta K, Yamamoto S-I, Nakazawa K, Akai M. Somatosensory graviception inhibits soleus H-reflex gain in humans during walking. Experimental Brain Research, 169, 2006, p. 135-138.

・Kawashima N, Yano H, Ohta Y, Nakazawa K. Stretch reflex modulation during imposed static and dynamic hip movements in standing humans. Experimental Brain Research, 174, 2006, p. 342-350.

・Akai M, Usuba M, Sekiguchi H, Hong B, Iwashita K, Shirasaki Y. A computer-aid contracture correction device with low-load and continuous torque; An animal experiment and prototype design for clinical use. Prosthetics and Orthotics International, 31, 2007, p. 121-132.

・Nakajima T, Kamibayashi K, Takahashi M, Komiyama T, Akai M, Nakazawa K. Load-related modulation of cutaneous reflexes in tibialis anterior muscle during passive walking in humans. European journal of Neuroscience. 27(6), 2008, p. 1566-1576.

・Takahashi M, Kamibayashi K, Nakajima T, Akai M, Nakazawa K. Changes in corticospinal excitability during

observation of walking in humans. Neuroreport, 19(7), 2008, p.727-731.

• Jigjid E, Kawashima N, Ogata H, Nakazawa K, Akai M, Eto F, Haga N. Effects of passive leg movement on the oxygenation level of lower limb muscle in chronic stroke patients. Neurorehabilitation and Neural Repair, 22, 2008, p.40-49.

• Miyoshi T, Hiramatsu K, Nakazawa K, Akai M. Robotic gait trainer in water: Development of an underwater gait-training orthosis. Disability and Rehabilitation, 30, 2008, p.81-87.

• Nakajima T, Kamibayashi K, Takahashi M, Komiyama T, Akai M, Nakazawa K. Load-related modulation of cutaneous reflexes in tibialis anterior muscle during passive walking in humans”. European Journal of Neuroscience. 27(6), 2008, p.1566-1576.

• Kawashima N, Nakazawa K, Akai M. Characteristics of the locomotor-like muscle activity during orthotic gait in paraplegic persons. Neurological Research. 30(1), 2008, p.36-45.

• Nakajima T, Kamibayashi K, Takahashi M, Komiyama T, Nakazawa K. Phase-dependent modulation of cutaneous reflexes in tibialis anterior muscle during passive stepping. Neurological Research. 2008, 30(1), p.46-51.

• Kawashima N, Nozaki D, Abe MO, Nakazawa K. Shaping appropriate locomotive motor output through interlimb neural pathway within spinal cord in humans. Journal of neurophysiology, 99, 2008, p.2946-2955.

• Ogawa T, Kim G H, Sekiguchi H, Akai M, Suzuki S, Nakazawa K. Enhanced stretch reflex excitability of the soleus muscle in experienced swimmers. European Journal Applied Physiology, 2008. (E-publication)

• Nakazawa K, Kawashima N, Akai M. Effect of different preparatory states on the reflex responses of ankle flexor and extensor muscles to a sudden drop of support surface during standing in humans. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2008. (E-publication)

[学会発表] (計6件)

• Naito K, Akita K, Kuramochi R, Torii S, Nakazawa K, Akai M, Fukubayashi T. The effects of exercise therapy on muscle functional and structural properties in knee osteoarthritis patients. 7th World congress on aging and physical activity. Tsukuba, 2008-07. Journal of Aging and

Physical activity, 16, 2008, S138.

• Kim GH, Ogawa T, Sekiguchi H, Akai M, Nakazawa K. Activity-related changes of stretch reflex in the elderly ballet dancers. 7th World Congress on Aging and Physical Activity, Tsukuba, Japan, 2008-07. Journal of aging and physical activity, 16, 2008, S109.

• Obata H, Sekiguchi H, Yamamoto SI, Ohtsuki T, Nakazawa K. Enhanced corticospinal tract of the ankle extensor and flexor muscles during standing in humans. 3rd International Conference on TMS and tDCS, Gottingen, Germany, 2008-10. Brain Stimulation (proceeding from the 3rd International Conference on TMS and tDCS), 1(3), 2008, p.281.

• Obata H, Takahashi M, Nozaki D, Nakazawa K. Spike-timing dependent plasticity in the human spinal motoneuronal pool. 38th Annual meeting of Society for Neuroscience, Washington DC, USA, 2008-11. Proceeding, 2008, 73.15.

• Kawashima N, Abe MO, Nakazawa K, Haga N, Iijima M, Shirakawa K, Iwaya T. Deficit of the grip force control in patients with congenital insensitivity to pain. 38th Annual meeting of Society for Neuroscience, Washington DC, USA, 2008-11. Proceeding, 2008, CD-ROM.

• Nakajima T, Kamibayashi K, Takahashi M, Komiyama T, Nakazawa K. Differences in phase-dependent modulation of cutaneous reflexes between the ankle flexors and extensors during passive walking. 38th Annual meeting of Society for Neuroscience, Washington DC, USA, 2008-11. Proceeding, 2008, CD-ROM.

[図書] (計3件)

• 赤居正美, 内藤健二.” 整形外科疾患に対する運動療法”. 運動療法と運動処方 (第2版). 佐藤祐造編, 文光堂. 2008, p.28-32.

• 赤居正美. “4. リハビリテーション 頸椎疾患「頸椎疾患」”. 最新整形外科学大系, 里宇明元編, 中山書店, 2008, p.361-363.

• 赤居正美. “可動域制限” “筋力低下” “運動障害の測定・評価” “薬物療法・物理療法” “assistive technology” “脊髄損傷”. 運動器リハビリテーションクルズス, 岩谷力ほか編, 南江堂, 2008, p.116-120, 157-158, 167-168, 178-179, 212-215, 232-233, 329-332.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕
特に無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤居 正美

国立障害者リハビリテーションセンター
病院 院長（研究所併任）

80143452

(2) 研究分担者

江藤 文夫

国立障害者リハビリテーションセンター
更生訓練所 所長

00101121

中澤 公孝

国立障害者リハビリテーションセンター
研究所 運動機能系障害研究部 部長

90360677

(3) 連携研究者

深津 玲子

国立障害者リハビリテーションセンター
病院 医療相談開発部 部長（研究所併任）

00450429

(4) 研究協力者

河島 則天

国立障害者リハビリテーションセンター
研究所 運動機能系障害研究部

30392195