

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650315

研究課題名(和文)ニューロサイエンスに立脚した対麻痺歩行支援ロボットの開発

研究課題名(英文)Development of walking assisted robot based on Neuroscience

研究代表者

弓削 類 (YUGE, Rui)

広島大学・医歯薬保健学研究院・教授

研究者番号：20263676

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：中枢神経系障害の回復を促進させる開発中のモビルスーツ型歩行支援ロボットの効果を検証した。本ロボットの軽量化と正常歩行パターンに沿った歩行プログラムを行った。本ロボットを用いることにより異常歩行が改善し、左右の脳活動のバランスも改善した。

一方、万人に通用する正常歩行パターンが無い事が分かり、プリセットした正常歩行パターンをもとにリハスタッフが患者ごとに調整が出来るシステムの開発を行った。対麻痺患者を歩行させるには、歩行できない人を歩かせるという事から、まずは歩行が可能な片麻痺の歩行パターンの要素を取得した。今後、これを両側型に発展されることで対麻痺患者へ適用する。

研究成果の概要(英文)：We examined the effect of the “mobile suit type walking supporting robot” under development to promote the recovery of central nervous system disorders. The robot weight was reduced. And walking program was developed by normal walking pattern of human. As the result, abnormal gait was improved by using this robot. And also, Laterality index, an indicator of the balance of brain activity of the left and right of the supplementary motor area and the premotor cortex, was improved. However, there is no universally-accepted normal walking pattern. Then, we developed a novel system for rehabilitation staff to customize walking pattern easily for each patients by using pre-set some normal walking patterns by tablet. Walking of paraplegia patients is difficult because they cannot move by themselves. At first, we tried to make hemiplegia patients walk using this system, and to obtain the components of their walking pattern. These results of hemiplegia apply to paraplegia to improve our robot.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ニューロリハビリテーション 歩行支援ロボット 歩行 ニューロサイエンス 歩行プログラム

1. 研究開始当初の背景

中枢神経疾患では、発症後、可能な限り早い時期から関節運動を行い、抗重力位の坐位や立位を開始することで二次的な障害の予防と麻痺した四肢や体幹の回復を促すリハビリを行うことが重要である。これにより主に基本的動作（寝返る、座る、立つ、歩く等）の改善が期待できるが、それには大きな限界があった。また、リハビリの入院日数制限のために十分なリハビリが行われていない現状に加え、2006年4月からの診療報酬の改定により、回復期リハビリでは制限期間内で自宅復帰した患者の割合などで診療報酬に差が出るという成果主義が導入され、患者、医療機関ともに厳しいリハビリ医療の現実がある。

最近「ニューロリハビリテーション（以下、ニューロリハ）」が、損傷後の神経機能回復の促進を目的に行われるようになってきた。ニューロリハでは、早期に十分なリハビリテーション（以下、リハ）を行い、触覚、圧覚等の表在感覚、関節位置覚等の深部感覚等の求心性感覚入力を脳に継続して刺激を与えることが、失われた機能の再獲得に重要である。代表的なものとして、「免荷式トレッドミル」を使用して歩行動作の支援をするニューロリハがある。脳血管障害や外傷などで障害を受けた脳や脊髄の回復を促進させるために、「免荷式トレッドミル」を使用して歩行動作の支援を行うニューロリハであるが、免荷の為にトレッドミルの外には出せないことから時間的、空間的な制限があり、受動的な歩行をしている事から効果判定方法も含め検討の余地がある。

一方でロボットの開発も行われている。既存のロボットによる運動支援には、目的とする複数の筋の皮膚上に表面電極を貼り、筋電図（生体反応）を使って筋電位を検出して駆動させるタイプ（パワーアシスト型）があるが、介護者の負担軽減に有効と考えられるものの、脳血管障害、脊髄損傷患者の筋では、麻痺や痙攣性のあるため筋収縮が無いまたは不全なため、正常な駆動は出来ない可能性も考えられる。また、脳波等を使用し、脳活動を感知するタイプのロボットも開発されているが、脳表面に検出プレートを設置する必要があり、このロボットの実用化にはさらに多くの時間がかかると推測される。

2. 研究の目的

本研究では、我々が開発中の「モビルスーツ型歩行支援ロボット」の歩行パターンの最適化を図り、そのリハビリの効果を、ニューロサイエンスの手法を基に検証する。本研究で得られる「歩行」の脳内の神経活動や運動性生理学的数据の研究成果を通じて、ニューロサイエンスに基づいた新規ニューロリハの確立に必要なロボットを検討する。

3. 研究の方法

足指、つま先が上がって転倒しないよう、足を固定せずに足裏から持ち上げるように足底板が追従して歩行補助する手法を提案する。足裏の圧力変動にて歩行位相を検知し、地面の傾斜を傾斜センサにて検知し、歩行軌道を補正し、弾性リンクの変形量から方向転換を検知し、超音波式非接触距離センサを用いて段差との衝突を回避する等の方法を確立する。脊髄損傷等の両側の歩行支援を行う両麻痺患者用のロボットの開発を進めた。対麻痺患者を歩行させるには、歩行できない人を歩かせるという事から、まずは歩行が可能な片麻痺の歩行パターンの要素を取得し、両側型に発展されることで対麻痺患者への応用可能性が高い事が判明した。よって片側のロボットだけで構築が可能な片麻痺患者用のロボットで、健常成人を被験者としたデータ収集を行い、ロボット装着による筋活動の変化および歩行プログラムの検討を行った。

4. 研究成果

「モビルスーツ型歩行支援ロボット」の軽量化と正常歩行パターンに沿った歩行プログラムを行った。健常人と患者での歩行パターンの測定とプログラム化を行うと、万人に通用する正常歩行パターンが無い事が分かり、正常歩行パターンをもとに患者ごとに調整が出来るタブレット方式の開発を行った。片麻痺患者用のロボットで、健常成人を被験者としたデータ収集を取得した。

試験的に行った5名の片麻痺患者（ブルンストロームステージ4以上）では、骨盤引き上げや外転歩行等の異常歩行が改善した。

脳科学的評価では、トレッドミル上で普通に歩いた時の脳活動を測定した。モビルスーツ型歩行支援ロボットを装着して手足を補助した時、足だけ補助した時について、ロボット歩行を練習し慣れている被験者と初めてロボットに乗る事に慣れていない被験者で比較した。その結果、慣れていない3名の結果は、前頭前野はじめ全ての領域で普通に歩いた時よりも賦活していたが、慣れている被験者の結果は、前頭前野は賦活しても、それ以外領域はほとんど変化がなく、特に足だけ補助した場合は感覚運動野が低下しており、トレッドミル上での歩行補助訓練は慣れてくるとニューロリハ効果が低下する可能性があることを示唆した。また、脚部のみ補助した時に、ロボットのハンドルを握っている時と腕を組んでいる時の実験も追加した。その結果、ハンドルを握っていると、慣れてくると前頭前野も脳活動が低下するため、乗り物としてロボットを使用するのは良いが、ニューロリハには不適であることが分かった。さらに慣れている被験者で廊下を歩きながら同じ実験をしたところ、脳活動が賦活し、トレッドミルではなく実際に移動しながら歩行することによりモチベーション、興

味を高めることの重要性が示唆された。以上、ロボット装着歩行は、歩行の学習過程で大脳皮質が賦活することが示された。特に、補足運動野及び前運動野の左右の脳活動のバランスの指標である Laterality Index が増して平均化することも分かった。

今後、片麻痺患者用のロボットで取得したデータを両側型に発展されることで、対麻痺患者用ロボットの改良を図りたい。

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7件)

1. Tanaka E., Saegusa S., Yuge L.: Development of a whole body motion support type mobile suit and evaluation of cerebral activity corresponding to the cortical motor areas. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 7, No. 1, 2013, 82-94, 査読有.
2. 梶原陽介, 田中英一郎, 丹羽涼介, 池原忠明, 弓削 類: インクループデザインによる密着型歩行補助機のシステム設計と実用化に向けた開発. 第18回ロボティクス・シンポジウム, 4C2, 2013, 399-406, 査読有.
3. 池原忠明, 田中英一郎, 永村和照, 池条清隆, 小島 翔, 梶原陽介, 今出亘彦, 弓削 類: 密着型歩行補助機の小型・軽量化と支援効果の検証. 日本設計工学会誌, Vol. 48, No.3, 2013, 144-150, 査読有.
4. 鈴木雄大, 田中英一郎, 桜井智広, 三枝省三, 弓削 類: 段差昇降および装着者の歩容に応じた補助力が発揮可能なトルク制御の開発と効果検証. 第23回バイオメカニズムシンポジウム, 2013, 1-10, 査読無
5. Eiichirou Tanaka, Tadaaki Ikehara, Hirokazu Yusa, Yusuke Sato, Tomohiro Sakurai, Shozo Saegusa, Kazuhisa Ito, Louis Yuge, "Walking-Assistance Apparatus as a Next-Generation Vehicle and Movable Neuro-Rehabilitation Training Appliance", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.24 No.5, 2012, 851-865, 査読有.
6. 田中英一郎, 瀬戸口隼, 森 崇, 三枝省三, 弓削 類: モビルスーツ型全身動作補助機の開発と装置装着歩行時の脳活動評価. バイオメカニズム21 - バイオメカニズム研究の再考 -, 2012, 145-156, 査読有.
7. 瀬戸口隼, 田中英一郎, 池原忠明, 森 崇, 三枝省三, 弓削 類: モビルスーツ型全

身動作補助機の開発と大脳皮質運動関連領域分布に対応した脳血流評価. 第17回ロボティクスシンポジウム, 3A2, 2012, 211-216, 査読有.

[学会発表](計12件)

1. 籾 拓郎, 木矢克造, 溝上達也, 迫口哲彦, 近藤 浩, 井上博幸, 中西 徹, 弓削 類, 大鶴直史, 田中英一郎: 歩行補助ロボットを用いた脳卒中後歩行障害へのアプローチ. 第40回日本脳卒中学会総会, 広島, 2015年3月26日
2. Eiichirou Tanaka, Takahiro Suzuki, Shozo Saegusa, Louis Yuge: Walking Assistance Apparatus Able to Select the Control Method According to the Purpose of the User. The 14th International Symposium on Robotics and Applications (ISORA 2014), the World Automation Congress 2014 (WAC2014), IEEE SMC Society, 2014.08.06, University of Miami, USA
3. 田中英一郎, 桜井智広, 鈴木雄大, 三枝省三, 弓削 類: 脚部非拘束式歩行補助機のZMPを用いた歩行促進および転倒抑制制御. 日本機械学会2013年度年次大会, 岡山, 2013年9月8日~11日
4. 田中英一郎, 三枝省三, 岩崎泰雄, 弓削 類: 上肢作業・リハビリテーション補助機の開発. 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会(LIFE2013), 山梨, 甲府, 2013年9月2~4日
5. Tanaka E., Sakurai T., Suzuki T., Saegusa S., Yuge L.: Development of the control method for prevention of stumbling while using a walking assistance apparatus. Proceedings of The 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, May 22-25, 2013 at BEXCO, Busan, Republic of Korea (2013), p. 139.
6. 丹羽涼介, 田中英一郎, 梶原陽介, 三枝省三, 弓削 類: 歩行教示および評価可能な歩行補助機の開発. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会(ROBOMECH2013), 筑波, 2013年5月22~25日
7. 西谷直樹, 大倉優之介, 竹森千紘, 福田翔馬, 古川拓馬, 吉田和未, 中田恭輔, 上床裕之, 渋谷佳樹, 青景遵之, 中川 慧, 田中英一郎, 大鶴直史, 弓削 類: 自走式歩行支援ロボット使用時の歩行活動の変化. 第48回日本理学療法学会大会, 名古屋, 2013年5月25日
8. Eiichirou TANAKA, Shozo SAEGUSA, Louis YUGE: Development of a Whole Body Motion Support Type Mobile Suit and Evaluation of Cerebral Activity with NIRS", The 2nd IFToMM

Asian Conference on Mechanism and Machine Science, November 7-10, 2012, Tokyo, Japan, (2012), USB-memory.

9. 桜井智広, 田中英一郎, 鈴木雄大, 弓削類: 装置および装着者の ZMP を考慮した脚部非拘束式歩行補助機の開発. 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE2012), CD-ROM, (2012). 名古屋大学 2012 年 11 月 2~4 日
10. Eiichirou Tanaka, Shozo Saegusa, Yasuo Iwasaki, Louis Yuge: Gait and ADL Rehabilitation using a Whole Body Motion Support Type Mobile Suit Evaluated by Cerebral Activity. 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, October 14-17, 2012, COEX, Seoul, Korea, (2012), CD-ROM.
11. Eiichirou Tanaka, Tadaaki Ikehara, Jun Setoguchi, Takashi Mori, Shozo Saegusa, Louis Yuge: Development of a whole body motion support type mobile suit and application study of gait rehabilitation evaluated by cerebral activity", Program and Extended Abstracts of 2012 ASME-ISPS /JSME-IIP Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment MIPE2012, June 18-20, 2012, Santa Clara, California, USA, (2012), pp. 35-37.
12. 田中英一郎, 森 崇, 瀬戸口隼, 岩崎泰雄, 弓削類: モビルスーツ型全身動作補助機を用いた歩行・作業リハビリテーションの検討. 平成 24 年度春期大会研究発表講演会講演論文集, 日本設計工学会, (2012), pp. 11-14. 慶應義塾大学 日吉キャンパス 2012 年 5 月 19 日, 20 日

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称: 歩行訓練支援装置, 歩行訓練支援システム, 歩行訓練支援方法およびプログラム
発明者: 田中英一郎, 鈴木雄大, 弓削類, 河原裕美

権利者: 株式会社スペース・バイオ・ラボラトリーズ, 芝浦工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-137464

出願年月日: 2013 年 6 月 28 日

国内外の別: 国内

名称: 歩行補助装置

発明者: 田中英一郎, 丹羽涼介, 梶原陽介, 鈴木雄大, 弓削類, 河原裕美

権利者: 株式会社スペース・バイオ・ラボラトリーズ, 芝浦工業大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-105342

出願年月日: 2013 年 5 月 17 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

田中英一郎: モビルスーツ型全身動作補助機の開発と脳活動評価による歩行リハビリテーションへの適用検討. 日本機械学会第 12 回機素潤滑設計部門講演会優秀講演, 2013 年 5 月 23 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

弓削 類 (YUGE, Rui)

広島大学・大学院医歯薬保健学研究院・教授

研究者番号: 20263676

(2) 研究分担者

田中 英一郎 (TANAKA, Eiichirou)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 10369952

池原 忠明 (IKEHARA, Tadaaki)

東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授

研究者番号: 60369949