

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K19902

研究課題名(和文) 脊髄障害患者に対する歩行時上下肢運動の対称性に基づいた随意的歩行訓練法の確立

研究課題名(英文) Development of gait training methods for patients with spinal disorders based on symmetric movement of upper and lower limbs during gait

研究代表者

清水 如代(Shimizu, Yukiyo)

筑波大学・医学医療系・准教授

研究者番号：40620993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、脊髄損傷完全対麻痺者に対し、ロボットスーツHALを使用した訓練法に関するものである。脊髄損傷完全四肢・対麻痺者の下肢を随意的に動かすために、HALを装着し、下肢駆動用電極を反対側上肢に貼付して、上肢の運動をトリガーとしてHALを駆動する『上肢駆動HAL』による歩行訓練を行った。下肢に随意的な筋活動がない症例であっても、HAL歩行時には、立脚期に周期的な下肢筋活動がみられた。また、痙縮のコントロールが困難な症例においては、訓練後に痙縮の緩和が見られた。上肢と下肢の連動した運動の有効性が示唆され、HALによる歩行訓練が、新たなリハビリテーションとなりうる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脊髄損傷に伴う完全四肢・対麻痺者にとって、歩行訓練を随意的に行うことは困難である。歩行支援ロボットが注目されているが、完全麻痺者にロボットを使用する場合は、随意的な運動というよりは受動的なものとなる。本研究では、装着者の残存する部位の筋活動により随意的な麻痺肢を動かすことで、随意的な運動が可能であり、痙縮が緩和するという結果が見られ、脊髄損傷の新たなリハビリテーション法としての可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：This study is performed as a feasibility study to rehabilitate patients with complete quadri/paraplegia due to spinal cord injuries using robot suit HAL. Patients wore the HAL and were attached electrodes to their upper limbs as a trigger for the paralyzed lower limbs. HAL detects upper limb muscle activity and assists their lower limb motion, and consequently, periodical lower limb muscle activity was seen during stance phases. Gait training for patients with completely paralyzed lower limbs with coordination between upper and lower limbs can be a new option for patients with spinal cord injuries.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：脊髄損傷 ロボットスーツHAL 上下肢強調 上肢駆動HAL

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷完全麻痺患者にとって麻痺肢の回復は困難なことが多く、リハビリテーションは残存能力を生かし日常生活動作を獲得することが目的となる。しかし麻痺肢の改善は患者の希望するところであり、QOL に大きく関わる。四肢麻痺・対麻痺患者に対して行う立位訓練は関節拘縮予防、循環・消化器系の賦活に有効といわれているが、歩行訓練となると頸髄損傷や上位胸髄損傷では実施困難であり、下位胸髄以下の脊髄損傷例でも上肢への負荷が大きく、下肢は装具を膝伸展位で固定して行うため、通常歩行とは異なる歩行パターンとなる。

Lokomat や Rewalk といった歩行支援ロボットは完全対麻痺患者を対象とするが、規定されたプログラムに基づく歩行のため、随意的というより受動的な歩行となる。ロボットスーツ HAL®(Hybrid Assistive Limb®)は、装着者の微小な筋活動を感知することのできる生体電位センサを持ち、関節運動を補助する装着型ロボットである。完全麻痺で随意的筋活動が得られない麻痺肢への装着は適応外となるが、我々は随意的筋活動が認められない症例であっても、本来の主動筋ではない残存筋をトリガーとして麻痺肢を駆動する方法を開発し、heterotopic(異所性の)Triggered HAL:T-HAL 法と名付けた。C4 完全四肢麻痺患者に僧帽筋をトリガーとした肘屈曲訓練 (Shimizu et al. J spinal cord med. 2017)、完全四肢・対麻痺患者に対する上肢駆動による HAL 歩行訓練を実施 (Shimizu et al. Front Neurosci. 2017)、介入前に認められなかった随意的筋活動を介入後に認めた例を経験してきた。本先行研究により、HAL を用いることで完全麻痺者の運動機能が改善する可能性を考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脊髄損傷による下肢麻痺を呈する患者を対象とし、リアルタイムに装着者の運動意図を反映して装着肢の関節運動をアシストするロボットスーツ HAL を用いた麻痺肢運動・歩行訓練を行い、その実施可能性を評価することである。

3. 研究の方法

[研究場所] 筑波大学未来医工融合研究センター

[方法] プッシュアップ動作、移乗動作、随意的股関節屈曲、膝伸展動作、下肢装具や介助 下歩行(可能者のみ)のビデオ撮影及び動作解析を行い、麻痺患者が随意的にコントロールできる筋を同定した。筑波大学に設置してある三次元動作解析装置 VICON MX T20s カメラ 16 台、Trigno Lab wireless EMG system(米 Delsys)を同期計測し、腹直筋、大腿筋膜張筋、大腿直筋、半膜様筋、大殿筋(両側計 10)筋活動を評価した。

[T-HAL 法]

上肢駆動 HAL: 下肢用電極を、反対側上肢に貼付して上肢駆動 HAL を行った。下肢運動のトリガーとして、反対側上肢を用いた。股関節屈曲のトリガーとして、反対側三角

筋前方線維、伸展のトリガーとして三角筋後方線維、膝関節屈曲・伸展のトリガーとして、反対側上腕二頭筋・上腕三頭筋を用いた。

[評価]

3次元動作計測装置により、歩行中および、介入後の股関節屈曲、膝関節伸展、股関節屈曲・膝関節伸展複合運動の動作計測、筋活動評価を実施した。痙縮の評価として、Modified Ashworth Scale を使用した。

4. 研究成果

以下にサマリを示す（症例 9、11、12 が本研究期間に実施）。全例で歩行訓練の実施が可能であった。痙性麻痺の症例においては、痙縮が緩和した。全症例で歩行時、立脚期に膝関節伸筋の筋活動を認めた。T7 以下の症例では、股関節屈曲筋の筋活動も見られた。

症例	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
性別	男性	男性	女性	男性	男性	女性	男性	男性	男性	女性	男性	男性
年齢	20	67	32	30	39	30	26	53	26	20	18	47
受傷後期間	3y 2m	2y 3m	6y 3m	1y 9m	7y	3y3m	7y2m	10y4m	7y2m	5y6m	10M	20y
神経学的 損傷高位	C6 B	T6 A	T10 A	T11 A	T7A	T6A	C6A	T9A	C6A	T4A	C5A	T5A
MMT			0/0	1月2日								
股関節屈筋	0/0	0/0	-1/1	-2/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
MMT			0/0	0/0								
膝関節伸筋	0/0	0/0	-1/1	-1/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
痙性緩和	緩和	緩和	緩和傾向	著変なし	著変なし	緩和傾向	緩和傾向	緩和傾向	緩和傾向	緩和傾向	緩和傾向	緩和傾向
立脚期 膝伸筋筋活動	++	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++
遊脚期 股屈曲筋筋活動			++	++	++			++				++

従来脊髄損傷者の歩行訓練は、対象は T6 損傷以下と限られ、長下肢装具を使用し、上肢に過負荷がかかる、通常の歩行パターンとは異なるものであった。また、他のロボットを使用する場合には、あらかじめ規定された動きによる歩行となり、随意性が乏しいものであった。

本研究では、随意的に動かすことのできる上肢動作を利用することで、麻痺下肢を随意的に動かすことができ、脊髄損傷者の問題点の一つである痙縮の緩和を図ることが可能であり、脊髄損傷者の新たな治療法としての可能性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志	4. 巻 249
2. 論文標題 脊髄損傷完全四肢・対麻痺患者に対するロボットリハビリテーション医療の可能性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MB Med Reha	6. 最初と最後の頁 55-60
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 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志	4. 巻 56(7)
2. 論文標題 【脊髄損傷に対するリハビリテーション医療-実践と挑戦-】慢性期脊髄損傷に伴う完全四肢・対麻痺患者に対する随意的歩行訓練T-HAL法(Heterotopic Triggered HAL method).	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine	6. 最初と最後の頁 560-564
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 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 羽田康司, 山崎正志	4. 巻 75
2. 論文標題 【整形外科診療における最先端技術】リハビリテーション、義肢、装具 ロボットスーツの新しい使用法 残存筋活動をトリガーとした麻痺肢訓練	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 別冊整形外科	6. 最初と最後の頁 249-252
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16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Koda M, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M
2. 発表標題 Feasibility and efficacy of heterotopic triggered HAL method for patients with complete quadri/paraplegia due to chronic spinal cord injury.
3. 学会等名 The 93rd Annual Meeting of the Japanese Orthopaedic Association
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 松原真由, 山口礼乃, 清水朋枝, 石川公久, 鎌田浩史, 丸島愛樹, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志
2. 発表標題 歩行障害を呈する小児に対するHybrid Assistive Limb(HAL)の使用経験
3. 学会等名 第93回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 三浦紘世, 國府田正雄, 羽田康司, 山崎正志
2. 発表標題 頸髄損傷四肢完全麻痺患者に対する単関節HALによる麻痺上肢訓練の実施可能性の検討
3. 学会等名 第93回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Koda M, Hada Y, Yamazaki M.
2. 発表標題 A novel gait training using heterotopic HAL method for complete quadri-paraplegia due to spinal cord injury.
3. 学会等名 The 59th International spinal cord society annual scientific annual meeting Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Koda M, Hada Y, Yamazaki M
2. 発表標題 Voluntary elbow flexion-extension training using Single Joint Hybrid Assistive Limb (HAL) for Patients with complete quadriplegia due to cervical spinal cord injury.
3. 学会等名 The 59th International spinal cord society annual scientific annual meeting Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、安部哲哉、國府田正雄、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 頸髄損傷四肢麻痺患者に対する単関節HALの臨床応用：麻痺肢機能改善への挑戦
3. 学会等名 第8回日本脳神経HAL研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、安部哲哉、羽田康司、山崎正志 .
2. 発表標題 頸髄損傷に伴う四肢麻痺患者に対する上肢単関節HALを用いた麻痺上肢機能再建法
3. 学会等名 第54回日本脊髄障害医学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、安部哲哉、國府田正雄、上野友之、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 脊髄損傷に伴う四肢・両下肢完全麻痺症例における麻痺肢訓練・随意的歩行訓練 heterotopic Triggered HAL (T-HAL) 法の考案
3. 学会等名 第38回運動器移植・再生医学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、上野友之、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 痙直型両麻痺を呈する脳性麻痺症例に対する上肢単関節HALを用いた肘関節屈曲伸展分離訓練
3. 学会等名 第92回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田茂希、清水如代、門根秀樹、安部哲哉、国府田正雄、上野友之、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 慢性期脊髄損傷に伴う四肢・両下肢完全麻痺症例に対する残存筋活動をトリガーとしたT-HAL法(heterotopic Triggered HAL)の経験
3. 学会等名 第48回日本脊椎脊髄病学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Koda M, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M
2. 発表標題 Upper Limb Triggered HAL method: Novel gait training methods for patients with complete Quadri/Paraplegia due to chronic spinal cord injury.
3. 学会等名 The 1st International Sport Neuroscience Conference (ISNC-IBRO)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M
2. 発表標題 Elbow flexion-extension training using single joint HAL for patients with spastic cerebral palsy.
3. 学会等名 The 1st International Sport Neuroscience Conference (ISNC-IBRO)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M.
2. 発表標題 Heterotopic Triggered HAL: novel gait training methods for patients with complete quadriplegia or paraplegia due to chronic spinal cord injury.
3. 学会等名 International Society for Prosthetics and Orthotics (ISPO) 17th World Congress
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、安部哲哉、國府田正雄、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 脊髄損傷完全四肢・対麻痺患者に対する歩行再建 装着型サイボーグHAL を用いて
3. 学会等名 第94回日本整形外科学会学術総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、安部哲哉、國府田正雄、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 頸髄損傷完全四肢麻痺患者に対する麻痺上肢訓練 上肢単関節HAL の臨床応用
3. 学会等名 第36回日本整形外科学会基礎学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水如代、門根秀樹、久保田茂希、武臣真和、羽田康司、山崎正志
2. 発表標題 Hybrid Assistive Limb単関節タイプを使用した麻痺上肢機能訓練
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------