ウェアリング（装着型） 歩行支援ロボットについての浸透度調査

Awareness Survey on Wearable Walking Assistance Robots

笠井史人*

Fumihito Kasai

Abstract

Objective : In Japan, there are three types of wearable walking assistance robots available in the market (some for rent). While the appearances thereof are similar, each has distinctive characteristics targeting different patients. For these to be used widely, an understanding of their characteristics is essential. We examined the method by which these robots became popular by surveying the awareness about them among members of the Japanese Association of Rehabilitation Medicine.

Method : We conducted an online survey among members of the Japanese Association of Rehabilitation Medicine from February 13 to March 31, 2017. The robots included HAL by CYBERDYNE INC., WPAL by ASKA Corporation and Tomei Brace Co., Ltd., and ReWalk by ReWalk Robotics, Inc. and Yaskawa Electric Corporation. The questions on the survey were set to inquire if the respondents were aware of the contents of each device advocated by the manufacturer.

Results : We received valid responses from 266 respondents. Of them, 82.7% indicated an interest in robotic rehabilitation. The awareness about each device was 96.6%, 51.5%, and 46.2%, while the percentage of individuals understanding the purpose of each was 87.2%, 67.2%, and 73.2% for HAL, WPAL, and ReWalk, respectively. The actual implementation in rehabilitation remained at 23.7%, with 31.6% wishing to participate in a robotic hands-on plan if one existed.

Conclusion : The notification of correct information and experience are necessary for the spread of awareness about walking assistance robots, and a hands-on plan is one of the effective methods.

要 旨

目的：本邦では、下肢全体をカバーする3種類のウェアリング（装着型）歩行支援ロボットが発売されている。日本リハビリテーション医学会会員の本ロボットに対する浸透度をアンケートで調査し、普及に向けた方策を検討する。

方法：日本リハビリテーション医学会会員を調査対象に Web アンケートを実施した。調査期間は2017年2月13日～3月31日。ロボットはHAL® 下肢タイプ、WPAL、ReWalk、アンケート質問項目は機器ごとに設定し、製造販売元の提唱する内容を知っているか否かを問う形式とした。

結果：有効回答数266人、82.7%がロボットリハビリテーションに興味を示した。それぞれの認知度はHAL® 下肢タイプ96.6%、WPAL 51.5%、ReWalk 46.2%、機器の目的を理解していたのは

2018年4月4日受付、2018年7月12日受理、2018年12月14日J-STAGE 早期公開

* 昭和大学医学部リハビリテーション医学講座（〒142-8666 東京都品川区旗の台1-5-8）

Department of Rehabilitation Medicine, Showa University School of Medicine

E-mail : fumihito@med.showa-u.ac.jp

DOI : 10.2490/jjrmc.18007

（同じ順で）87.2%，67.2%，73.2%であった。実際に導入しているのは23.7%，ロボットのハンズオン企画があれば参加希望する者は31.6%だった。

結論：ロボットの普及には正確な情報の喧伝，体験が必要であり，ハンズオン企画も有力な方策の1つである。

Key Words

ロボット技術（robotic technologies）／パワーアシスト歩行支援機（power assisted walking device）／対麻痺（paraplegia）／リハビリテーション（rehabilitation）

はじめに

日本政府は，わが国がこれまでに培ったロボット技術力と，世界でも類をみないスピードで進展する少子高齢化課題の双方を有する優位性を活用し，ロボットを核とした新たな産業革命「ロボット革命実現会議」を2014年より6回開催した。そのプロダクトとして「ロボット新戦略 Japan's Robot Strategy」¹⁾が2015年2月10日に発表された。その中で，ロボットの活用・普及を三本柱の1つとし，新医療機器の審査を迅速化するとともに，ロボット技術を活用した医療関連機器の実用化を支援していくと明言した。まさにロボット技術の推進・普及は国策であり，リハビリテーション科医や関連職種が主体的にかかわっていくことが期待される。

現在，本邦では下肢全体をカバーする4種類（本研究調査時は3種類）のウェアリング（装着型）歩行支援ロボットが発売されており利用できる（一部はレンタル）。外観は似ているが，それぞれが大きな特徴をもっており，ターゲットにしている患者にも差がある。これらの普及には，それらの特徴の理解が不可欠である。高額な精密機械であるがゆえユーザーは十分な説明を求めるが，自動車のように手軽にディーラーに赴けばセールスマンが商品説明してくれるわけではない。障害のある身体に装着し生活を豊かにすることを目的にしている以上，利用するためには医師の適応判断のもと正しい使用法を計画して処方されるべきである。

実際にこれらのロボットを患者に処方する機会が最も多く想定される日本リハビリテーション医学会会員を対象に，本ロボットに対する浸透度をアンケートで調査し，その普及に向けた対策を考察したので報告する。

対象と方法

公益社団法人日本リハビリテーション医学会会員を調査対象に Web アンケートを実施した。全会員に学会メールマガジンを利用してアンケートのお願いを配信し，メールにリンクしたダイナコム社のアンケート回答システムで回収した。なお，今回のアンケート集計結果については，個人が特定できない形での資料として利用した。また，本研究は日本医療研究開発機構（AMED）より資金援助を受けて行われ，製造・販売者との間に利益相反は一切ないことを開示したうえで行った。本研究は日本リハビリテーション医学会研究倫理審査会で承認された。

調査期間は2017年2月13日～3月31日。ロボットはCYBERDYNE社 HAL[®]（下肢タイプ），アスカ社制作/東名ブレース社販売 WPAL，ReWalk Robotics 社製/安川電機社輸入 ReWalk の3種である。HAL[®]下肢タイプには医療用と福祉用があり，医療用は薬機法許可を受け保険収載されており²⁾，対象疾患は脊髄性筋萎縮症，筋萎縮性側索硬化症など希少神経変性8疾患に限られている。そのため，価格に対する質問は比較的導

図1 背景質問と回答者全体への質問の結果

上2段は回答者の属性、下3段は回答者全体の意見を示す。

入しやすい福祉用を対象にした。

今回の3種のロボットはそれぞれに特徴を有し、ターゲットにする患者にも相違があるため、1つの設問内で同時に比較し優劣を問うことはできない。そのため、アンケートの設問は3種の機器ごとに設定し、製造販売元の提唱する基本的機器情報を知っているか否かを問う形式とした。背景質問4問、3種のロボットそれぞれの質問は各4問ずつ、合わせて16問、質問文97とした。有効回答は266件であった。

結果

背景質問と回答者全体への質問の結果を図1に示した。回答者266人は、40～50代で7割以上を占めた。所属している病院は、大学病院・回復期リハビリテーション病院・急性期病院がそれぞれ25%ほどを占めた。全体の82.7%がウェアリングロボットを使用したリハビリテーション手法に興味をもっていた。すでにロボットリハビリテーションを行っている施設は23.7%であった。ウェアリングロボットのハンズオン講習を開催した場合、参加

を希望するかの問いには31.6%が「参加したい」に返答した。

図2はHAL[®]下肢タイプについてのアンケート結果である。HAL[®]自体は96.6%が知っており、そのうち87.2%が目的「身体動作を支援することにより歩行機能改善を目的とした訓練用ツールである」を理解していた。構造としては外骨格型であり、その中でも外側系であることを41.7%が意識しており、メーカーの謳うサイバニック随意制御（随意信号である生体電位を表面電極から検出し解析した結果で制御）については36.1%が理解していた。デモンストレーションを含めて48.8%に使用経験があった。HAL[®]医療用の保険収載は75.2%に伝わっており、そのうち56%が対象疾患まで知っていた。価格については福祉用に限定して質問した。レンタル料168,000円/月（3年契約）は58.3%が高いと考えており、今後導入を検討しているのは3%にすぎないが、医療用が対象疾患を拡大すれば44.7%が導入を希望すると答えた。

図3はWPALについてである。WPALを知っているのは51.5%、そのうち目的（完全対麻痺者が

HAL® の目的

HAL® は身体動作を支援することにより歩行機能改善を目的とした訓練用ツールである。

a HAL® 福祉用を知っている

b 目的を理解している

図2 HAL® 下肢タイプについてのアンケート結果

上段囲み内にメーカーが提唱する HAL® 下肢タイプの目的を示す。

円グラフ a は HAL® 下肢タイプ自体を知っているか、b は本機を知っている人を 100%としたときの目的理解の比率を示す。

WPAL の目的

完全対麻痺者が、車椅子と併存使用する、装着型歩行ロボット、拘縮・骨粗鬆症・肥満予防、下肢血流・便通改善などを得ること。

a WPAL を知っている

b 目的を理解している

c 内側系構造と知っている

図3 WPAL についてのアンケート結果

上段囲み内にメーカーが提唱する WPAL の目的を示す。

円グラフ a は WPAL 自体を知っているか、b、c は本機を知っている人を 100%としたときの目的 (b) と特徴的構造理解 (c) の比率を示す。

車椅子と併存させながら歩くことで、関節拘縮予防・骨粗鬆症予防・下肢血流改善・肥満予防・便通改善などを得る)を 67.2%が理解しており、構造として外骨格型の内側系であると 39.4%が理解していた。WPAL の売りである簡単装着は 50.4%、立位が安定しやすいことは 29.2%が知っていた。

購入価格約 500 万円は全体の 61.7%が高いと思っているが、価格が下がれば 35% (WPAL 既知者を分母にすれば 67.9%) が対象者に勧めたいと答えている。デモンストレーションを含めての使用経験者は全体の 6.7%にとどまった。

図4 は ReWalk についてである。ReWalk を

ReWalk の目的
上肢機能が十分で、体幹コントロールが良好な脊髄損傷対麻痺者に歩行を実現すること。

図4 ReWalk についてのアンケート結果

上段囲み内にメーカーが提唱する ReWalk の目的を示す。

円グラフ a は ReWalk 自体を知っているか、b, c は本機を知っている人を 100% としたときの目的 (b) と特徴的歩行方法理解 (c) の比率を示す。

知っているのは 46.2%，そのうち目的（上肢機能が十分で体幹コントロールが良好な対麻痺者を対象に、車椅子生活者の歩行を実現する）を 73.2% が理解しており、構造として外骨格型の外側系であることを 40.7% が意識していた。コンピュータとバッテリーはバックパックで背負い、歩行器を使うことなくクラッチで歩行を実現することは 46.3% に知られていた。本ロボットユーザーがロンドンオリンピックで聖火ランナーを務めたエピソードは全体の 7.1% に伝わっており、本機の使用には専門トレーナーによるトレーニングが課せられていることは 55.3% が知っていた。購入価格約 570 万円は全体の 59% が高いと感じているが、価格が下がれば 28.2%（既知者分母だと 61%）が対象者に勧めたいと答えた。デモンストレーションを含めた使用経験者は全体の 8.3% であった。

考察

リハビリテーション医療に利用されているロボットは、練習支援型、自立支援型、介護支援型の 3 分野に分類される³⁾。練習支援型は、効果の高い

練習を提供することによって、患者の機能障害を軽減することをねらったロボットである。下肢用の練習支援型ロボットとしては Hocoma 社によって開発された Lokomat⁴⁾ が草分けの代表格であるが、トヨタ自動車社が藤田保健衛生大学（現・藤田医科大学）と共同開発した GEAR（市販名：ウェルウォーク WW-1000）が国内販売を開始している。今回の調査では HAL[®] 下肢タイプが該当する。自立支援型は、機能障害の改善を直接の目的とはせず、ロボットの活用によって活動が促進されるもので、今回の調査では WPAL と ReWalk が該当する。介護支援型は、介護者の身体的負担を軽減するロボットとされる。構造による分類では、3 機種とも外骨格型構造のウェアリングタイプであるが、HAL[®] 下肢タイプと ReWalk は各関節を駆動するモーターが使用者下肢の外側に位置する“外側系構造”をとっている。それに対し WPAL⁵⁾ は、フレームやモーターを両下肢の内側に配置する“内側系構造”を採用している。後者は両下肢のフレームをスライド式内側股継手で連結しているため、側方へのたわみが小さく、骨盤帯が不要であり

体幹拘束性が低い。また、骨盤外側に構造物がないので、車椅子の上で装着が可能である⁶⁾。

現状の外骨格型構造ロボットについて報告されているエビデンスについて示す。下肢の練習支援型ロボットとして先行した Lokomat であるが、その効果は2つのランダム化比較試験^{7,8)}で割れている。脊髄損傷例に対する HAL[®]医療用の研究報告はまだ少なく、Wall らのシステマティックレビュー⁹⁾によると、歩行能力改善に寄与する可能性に言及しつつもエビデンスを確立するには至らないとされている。有意な改善を得た報告^{10,11)}もあるが、量的質的条件を満たした研究デザインでの報告を積み重ねる必要がある。一方で、自立支援型ロボットの報告は、その効率性のよさを考証したもの¹²⁻¹⁴⁾や機器の使用により歩行の確立を証明したものが多く、WPAL を用いると、1~5 時間程度の練習で平地歩行が可能となり、最大で 57 分、983 m の歩行を達成したという¹⁵⁾。ReWalk では、WPAL より多くの練習を必要とはするが、胸髄損傷レベルの対麻痺者でもロフトランド杖を使用し、多くの患者が屋外活動関連歩行レベルの 1.4 km/h を達成できると報告されている¹⁶⁻¹⁸⁾。

今回の調査は学会からのアンケート回答依頼メールへの自主的な協力で成り立っているため、回答者はロボットを使用したリハビリテーション手法に興味を抱いておりロボットに対する知識も比較的高いことが予想された。しかしながら、それぞれの機器の特徴まで十分には浸透していなかった。HAL[®]下肢タイプはメディアへの登場頻度が高く認知度が抜きん出ていたが、デモンストレーションを含めた使用経験が回答者のおよそ半数を占めていたことは特筆に値する。実際に手に取って動かしてみることでロボットへの理解が深まるのは必定である。しかし、患者の生体電位を抽出してモーターを制御することは 1/3 強しか理解していなかった。WPAL についてはスライド式内側股継手

によって実現した内側系構造、およびそれに起因する易装着性の認知度は半数程度に留まっており、この点をもう少しアピールする必要があるかもしれない。ロボットの立位安定性とスマートさはトレードオフの関係にあるが、ReWalk は歩行器を必要とせずクラッチによる歩行獲得をめざす点の認知度を上げることが望まれる。

調査結果を踏まえて、ウェアリング（装着型）歩行支援ロボットの普及のために何が必要かを考察する。HAL[®]については、これから福祉用の導入を検討している医師は少ないが、対象疾患拡大次第では医療用への期待が高いこともうかがえた。やはり練習支援型ロボットは保険収載され診療報酬がつくことが普及の足がかりとなるだろう。そのためにも、エビデンスの蓄積が喫緊の課題である。自立支援型ロボットについては、先行して普及を模索してきた上肢ロボットである電動義手が手本となるのではないだろうか。まだ電動義手が労災保険にも旧自立支援法にも認められていなかった 2001 年、高橋ら¹⁹⁾はその普及が進まない原因として、①障害者と医療関係者に正確な情報が行き届いていないこと、②給付制度の扱いが基準外であること、③装着・体験できる機会が少ないこと、を挙げている。その後の電動義手の広がりを考えれば、参考にすべき情報である。ロボットの性能向上や価格引き下げもさることながら、正確な情報の普及・啓発、体験の機会が重要である。アンケートの結果では、特徴的構造や使い勝手まで含めた知識の浸透は、これらウェアリングロボットの普及にはまだ不十分と判断せざるを得ず、処方する医師の知識拡大も必須である。構造に起因する各々の特徴は、並べて比較して学ぶのが最も効率が良い。学術集会などでこれらウェアリングロボットのリハビリテーション科医に対するハンズオン企画をすることは 1 つの対策となるだろう。

まだまだ問題点の多いウェアリングロボットであ

るが、歩けない患者が自らの下肢に体重をかけて踏み出す体験は大変貴重で有意義である。ロボット技術は日進月歩であるから、これからもリハビリテーション科医は乗り遅れないよう情報収集に努める必要がある。

本研究は、AMED の課題番号 JP17ek0109078 難治性疾患実用化研究事業の支援を受けた。本研究に関し COI 関係にある企業はない。

文 献

- 1) 日本経済再生本部：ロボット新戦略 Japan's Robot Strategy. Available from URL : <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/robot/pdf/senryaku.pdf>
- 2) 中島 孝：HAL 医療用下肢タイプによる歩行運動療法. *Jpn J Rehabil Med* 2017 ; **54** : 14-18
- 3) 平野 哲, 才藤栄一, 園田 茂, 大塚 圭, 伊藤慎英, 加藤正樹, 田辺茂雄, 鴻巣仁司, 宇野秋人, 武満知彦：リハビリテーションロボットの開発現況. *日本義肢装具学会誌* 2013 ; **29** : 90-97
- 4) Colombo G, Wirz M, Dietz V : Driven gait orthosis for improvement of locomotor training in paraplegic patients. *Spinal Cord* 2001 ; **39** : 252-255
- 5) Tanabe S, Hirano S, Saitoh E : Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) for supporting upright walking in persons with paraplegia. *NeuroRehabilitation* 2013 ; **33** : 99-106
- 6) 平野 哲, 才藤栄一, 向野雅彦, 田辺茂雄：移動を支援するロボット. *Jpn J Rehabil Med* 2016 ; **53** : 952-954
- 7) Field-Fote EC, Roach KC : Influence of a locomotor training approach on walking speed and distance in people with chronic spinal cord injury : a randomized clinical trial. *Phys Ther* 2011 ; **91** : 48-60
- 8) Alcobendas-Maestro M, Esclarín-Ruz A, Casado-López RM, Muñoz-González A, Pérez-Mateos G, González-Valdizán E, Martín JL : Lokomat robotic-assisted versus overground training within 3 to 6 months of incomplete spinal cord lesion : randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2012 ; **26** : 1058-1063
- 9) Wall A, Borg J, Palmcrantz S : Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training—a systematic review. *Front Syst Neurosci* 2015 ; **9** : 48
- 10) Aach M, Cruciger O, Sczesny-Kaiser M, Höffken O, Meindl RCh, Tegenthoff M, Schwenkreis P, Sankai Y, Schildhauer TA : Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord Injury : a pilot study. *Spine J* 2014 ; **14** : 2847-2853
- 11) Kubota S, Nakata Y, Eguchi K, Kawamoto H, Kamibayashi K, Sakane M, Sankai Y, Ochiai N : Feasibility of rehabilitation training with a newly developed wearable robot for patients with limited mobility. *Arch Phys Med Rehabil* 2013 ; **94** : 1080-1087
- 12) Yatsuya K, Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, Tanaka H, Eguchi M, Katoh M, Shimizu Y, Uno A, Kagaya H : Comparison of energy efficiency between Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) and two types of knee-ankle-foot orthoses with a medial single hip joint (MSH-KAFO). *J Spinal Cord Med* 2018 ; **41** : 48-54
- 13) Fineberg D, Asselin P, Harel NY, Agranova-Breyter I, Kornfeld S, Bauman W, Spungen A : Vertical ground reaction force-based analysis of powered exoskeleton-assisted walking in persons with motor-complete paraplegia. *J Spinal Cord Med* 2013 ; **36** : 313-321
- 14) Asselin P, Knezevic S, Kornfeld S, Cirnigliaro C, Agranova-Breyter I, Bauman W, Spungen A : Heart rate and oxygen demand of powered exoskeleton-assisted walking in persons with paraplegia. *J Rehabil Res Dev* 2015 ; **52** : 147-158
- 15) Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, Katoh M, Shimizu Y, Yatsuya K, Tanaka H, Kagaya H, Ishihara K, Uno A : Comparison between gait-assisting robot (WPAL) and bilateral knee-ankle-foot orthoses with a medial single hip joint in gait reconstruction for patients with paraplegia. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2015 ; **6** : 21-26
- 16) Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, Dudkiewicz I, Bloch A, Esquenazi A : Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury : a pilot study. *J Spinal Cord Med* 2012 ; **35** : 96-101
- 17) Esquenazi A, Talaty M, Packel A, Saulino M : The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil* 2012 ; **91** : 911-921
- 18) Yang A, Asselin P, Knezevic S, Kornfeld S, Spungen A : Assessment of In-Hospital Walking Velocity and Level of Assistance in a Powered Exoskeleton in Persons with Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2015 ; **21** : 100-109
- 19) 高橋功次, 松原裕幸, 赤居正美, 森田稲子, 井上美紀, 野月由香理：電動義手の適応評価と公的給付制度の現状. 第 18 回国立身体障害者リハビリテーションセンター業績発表会. Available from URL : <http://www.rehab.go.jp/achievements/japanese/18th/paper40.html>