実用技術紹介

片麻痺患者向け歩行練習支援ロボット「ウェルウォーク WW-1000」

山内　実[*1]　今井田昌幸[*1]　藤掛　祥則[*1]　嶋田　宏史[*1]
中島　一誠[*1]　才藤　栄一[*2]　平野　哲[*2]　田辺　茂雄[*2]
谷川　広樹[*2]　山田　純也[*2]

([*1]トヨタ自動車（株）　[*2]藤田医科大学)

1. はじめに

トヨタ自動車（株）は,「すべての人に移動の自由を，そして自らできる喜びを」というパートナーロボットビジョンのもと，特に日本において重要な課題である少子高齢化問題に対応するため，高齢者がより自立した生活を送り，介護する側の負担も軽減できるよう,「シニアライフの支援」,「医療の支援」,「自立した生活の支援」,「介護の支援」を主な4領域として開発に取り組んでいる.「医療の支援」においては，2007年末から藤田医科大学と共同で脳卒中などによる片麻痺患者向けのリハビリテーション支援ロボットの開発を進めてきた[1].

脳卒中は要介護となる原因の主要因であり，脳卒中による障害を克服し生活していくためには，リハビリテーションにおける機能回復とADL能力の拡大が不可欠である．中でも，移動に直結する歩行は片麻痺者のADLに大きな影響を与えるためその回復は不可欠である．脳卒中により歩行障害を生じた患者が再び歩行するためには，発症前とは異なる新しい歩行を獲得する必要があり，この過程で運動学習が起こる．運動学習を臨床で用いる際には，転移性，動機付け，行動変化，フィードバック，難易度，量，保持応用に沿って考えることが役に立つと考えられている（運動学習理論）[2].

従来の下肢装具を利用した歩行訓練には，難易度が調整しにくい，フィードバックが得にくいなどの運動学習を促す上で多くの課題があった.

そこで我々は，運動学習理論に基づいた様々なリハビリテーション機能を一つのロボットとしてシステム化し，2016年には“ウェルウォークWW-1000”（**図1**）の名称で医療機器承認を取得し，2017年9月からレンタルを開始した.

図1　ウェルウォーク WW-1000

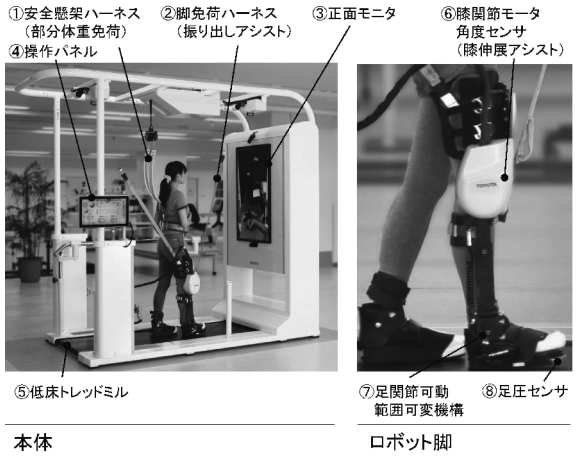

図2　システム構成

表1　主な仕様

重量	本体 約800kg, ロボット脚 約6kg
サイズ	1200(W)×2710(D)×2380(H)mm
適用患者	身長140～190cm, 体重40～95kg
速度範囲	0.2～3.0km/h
体重免荷	～50kg

2. システム構成と主な機能

2.1　システム構成

本システムは**図2**に示すように本体とロボット脚で構成され，本体は①安全懸架ハーネス，②脚免荷ハーネス，③正面モニタ，④操作パネル，⑤低床トレッドミル，ロボット脚は⑥膝関節モータ角度センサ，⑦足関節可動範囲可変機構，⑧足圧センサ，が主な構成要素である．主な仕様を**表1**に示す.

2.2　運動学習理論に基づく機能

運動学習とは，経験によって生じる比較的永続的な行動の変化と定義されており，リハビリテーションとは運動学習そのものであると言われている．しかしながら，従来のリハビリテーションロボットは，運動学習を促すという本来のリハビリテーションで必要とする十分な機能を持ち合わせたものが存在しなかった．そこでウェルウォークは，運動学習の主要因子である転移性，動機付け，フィードバック，難易度，量を考慮した様々な機能を統合することで運動学習を促すシステムを実現した．運動学習からみたシステムの利点をまとめると以下のようになる[3].

- 練習初期から最終歩容に類似した，膝屈曲を伴う自然な歩容を練習できる（転移性）
- 必要十分な補助を提供することにより，練習早期から監視レベルの歩行を達成でき，動機付けにつながる（動機付け）
- 多数のフィードバックから適切な項目を選択することに

図 3　使いやすさを実現する機能

より，その時点で患者に必要な課題の成否が明示可能である（フィードバック）

・精緻な調整性により，ロボットの補助を調整し，適切な練習難易度を設定できる（難易度）

・膝屈曲により振り出しが容易となり，歩行率が向上するため，多数歩の練習が可能となる（練習量）

これらのウェルウォークの様々な機能は，臨床現場からのニーズに基づいて改良を重ね，洗練されたシンプルな機構や制御で実現した．具体的には，膝の屈曲伸展動作を制御するための歩行状態の推定（立脚／遊脚）は足圧センサのみで実現している．また，ロボット脚膝モータは摩擦補償制御により高精度な膝伸展アシストを実現し，前後の脚免荷ハーネスモータは多軸協調制御によりロボットの重量をキャンセルしつつ高精度な振り出しアシストを実現している．シンプルであるが故にユーザに受け入れられ，操作しやすいシステムであるとも言える．

2.3　使いやすさを実現する機能

臨床の現場での使いやすさにこだわり，**図 3** に示すとおり以下の機能を搭載している．

①低床トレッドミル（約 6 [cm]）･･･車イスのままで患者を移動させることができる．

②簡単装着（3 分程度）･･･ロボット脚を前方から療法士 1 人で装着させることができる．

③タッチパネルによる一括操作 ･･･訓練中に療法士 1 人でロボットの操作ができる．

④練習ガイド機能 ･･･患者の異常歩行のパターンに応じて，どのパラメータを変更したらよいかを療法士が参照できる．

また，ロボットで得られたデータや療法士が入力した情報をグラフ化する以下の機能も搭載している（**図 4**）．

⑤練習情報解析ツール ･･･患者の歩行練習の結果を療法士が活用しやすいようにグラフ化し，さらに患者に結果をフィードバックするためのグラフ化機能も備える．

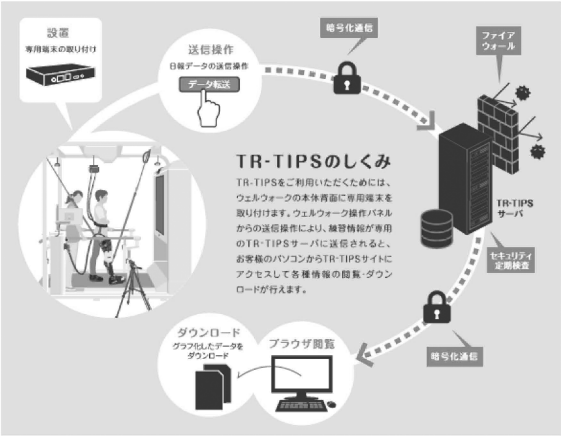

図 4　練習情報解析ツール

3.　臨床現場への導入と効果確認

2014～17 年の臨床的研究モデルにおいては，国内 24 施設 400 名以上で実証実験を実施し，回復効果および臨床現場での使いやすさを検証した．回復効果においては，介助なしで歩けるようになるまでの回復速度が，従来装具訓練比で約 1.8 倍との報告がある [4]．使いやすさにおいても，療法士 1 人が 3 分で装着可能であることなどが確認できた．

4.　まとめと今後の展望

本稿では，運動学習理論と臨床での使いやすさにこだわって開発したウェルウォーク WW-1000 の特徴について紹介した．ウェルウォークは，臨床の現場において重症例から使っていただける歩行練習支援ロボットとしては世界で初めての製品であると言える．ウェルウォークの様々な技術は，退院後の歩行を支援するロボット等にも応用可能であり，脳卒中患者の社会復帰の促進にも繋がると考えている．

参　考　文　献

[1] 中島一誠，ほか：“自立歩行支援ロボットの開発”，トヨタテクニカルレビュー，vol.59, no.229, pp.135–139, 2013.

[2] 才藤栄一，ほか：“運動学習と歩行練習ロボット —片麻痺の歩行再建—”, The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, vol.53, no.1, pp.27–34, 2016.

[3] 平野哲，ほか：“歩行練習アシスト（GEAR）と運動学習”，The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, vol. 54, no.1, pp.9–13, 2017.

[4] S. Hirano, et al.: “Effectiveness of Gait Exercise Assist Robot (GEAR) for stroke patients with hemiplegia,” Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science, vol.8, pp.71–76, 2017.