



Jストローク。2013年9月; 15 (3) : 174–181。

PMCID : PMC3859002

オンラインで公開2013年9月27日。doi : [10.5853 / jos.2013.15.3.174](https://doi.org/10.5853/jos.2013.15.3.174)

PMID : [24396811](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24396811/)

脳卒中リハビリテーションにおけるロボット支援療法

ウォン・ヒョク・チャン^a、ユン・ヒ・キム^{a, b}✉

^aDepartment of Physical and Rehabilitation Medicine, Stroke and Cerebrovascular Center, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea.

^bSamsung Advanced Institute for Health Science and Technology, Sungkyunkwan University, Seoul, Korea.

✉Corresponding author.

Correspondence: Yun-Hee Kim. Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Division for Neurorehabilitation, Stroke and Cerebrovascular Center, Samsung Medical Center, Samsung Advanced Institute for Health Science and Technology, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-710, Korea. Tel: +82-2-3410-2824, 2818, Fax: +82-2-3410-0388, yunkim@skku.edu

2013年6月18日に受け取りました。2013年7月30日に改訂。2013年8月1日に承認されました。

Copyright ©2013 Korean Stroke Society

これは、Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) の条件の下で配布されるオープンアクセスの記事であり、オリジナルの作品が適切に引用されている限り、あらゆる媒体。

概要

リハビリテーションロボット工学の研究は急速に成長し、治療リハビリテーションロボットの数は過去20年間で劇的に拡大しました。ロボットリハビリテーション療法は、高用量および高強度のトレーニングを提供できるため、脳卒中または脊髄疾患に起因する運動障害のある患者に役立ちます。運動リハビリテーションに使用されるロボット装置には、エンドエフェクタと外骨格タイプが含まれます。ここでは、両方のタイプの臨床使用をレビューします。ロボット支援療法の1つの用途は、脳卒中患者の歩行機能の改善です。エンドエフェクタと外骨格デバイスの両方が、亜急性脳卒中患者の従来の理学療法を効果的に補完することが証明されています。しかし、慢性的な脳卒中の患者または単独で送達された場合、ロボット歩行トレーニングが従来の理学療法よりも優れているという明確な証拠はありません。別のアプリケーションでは、脳卒中から回復した患者の上肢運動機能トレーニング、ロボット支援療法は、亜急性脳卒中患者の従来療法に匹敵するか、優れていました。エンドエフェクタデバイスでは、治療の強度が上肢運動回復の最も重要な決定要因でした。ただし、脳卒中患者の外肢運動機能に外骨格デバイスを使用する証拠は不十分です。手の運動機能のリハビリテーションのために、エンドエフェクタおよび外骨格装置のいずれかが、慢性脳卒中患者の従来の治療法と同様のまたは相加的な効果を示しました。現在の証拠は、従来のリハビリテーション療法と組み合わせた追加の治療的介入として、脳卒中患者の運動機能を改善するためのロボット支援療法の使用を支持しています。それでも、近い将来、技術開発の大きな機会があります。

キーワード：脳卒中、ロボット支援療法、運動障害、リハビリテーション

前書き

脳卒中は、世界中で一般的で深刻な、身体障害のある医療問題です。¹特に、「高齢化社会」に急速に変化している韓国では、過去数十年間で脳卒中の発生率が徐々にではあるが増加しています。²一方、脳卒中による死亡率は時間の経過とともに低下し、²韓国では脳卒中の有病率が増加しています。残念ながら、脳卒中の生存者の3分の1は、脳卒中の発症から5年後に機

能的転帰が不良になります。³したがって、脳卒中関連の問題は、患者とその家族の両方にとって深刻な負担です。⁴急性脳卒中中の管理において大きな進歩があったが、患者の依存を減らすための脳卒中後ケアの大部分はリハビリテーション治療に依存している。

神経可塑性は、脳卒中後の機能的転帰の改善の基礎となる基本的なメカニズムです。⁵したがって、脳卒中患者のリハビリテーションの1つの重要な目標は、機能回復のための神経可塑性の効果的な使用です。脳卒中リハビリテーションの他の原則は、目標設定、高強度の練習、学際的なチームケア、およびタスク固有のトレーニングです。¹したがって、脳卒中後の回復には、高用量の集中トレーニング⁶および特定の機能的タスクの反復練習⁷が重要です。これらの要件により、脳卒中リハビリテーションは労働集約的なプロセスになります。

近年、ロボット技術は著しく高速になり、より高速で強力なコンピューターと新しい計算手法、電気機械コンポーネントの高度化が進んでいます。⁸この技術の進歩により、ロボット工学がリハビリテーション介入に利用できるようになりました。ロボットは、プログラム可能なさまざまな動作を通じて材料、部品、または特殊なデバイスを動かしてタスクを実行するように設計された、再プログラム可能な多機能マニピュレーターとして定義されています。⁹リハビリテーション介入でロボット技術を使用する最も重要な利点は、高用量および高強度のトレーニングを提供できることです。¹⁰この特性により、ロボット療法は、脳卒中または脊髄疾患によって引き起こされる運動障害のある患者のリハビリテーションのための有望な新規技術となります。リハビリテーションロボット工学の研究は急速に成長しており、治療リハビリテーションロボットの数は過去20年間で劇的に増加しました。¹¹

リハビリテーションロボットは、治療用ロボットと支援用ロボットに分けることができます。補助ロボットの目的は補償ですが、治療ロボットはタスク固有のトレーニングを提供します。¹²この原稿では、著者は脳卒中患者の治療用ロボットの有用性に焦点を当てます。運動訓練に使用されるロボット装置のタイプは、エンドエフェクタ型デバイスと外骨格型デバイスです（図1）。¹³エンドエフェクタデバイスは、四肢の遠位セグメントに機械的な力を加えることで機能します。エンドエフェクタタイプのロボットは、セットアップが簡単という利点がありますが、手足の近位関節の制御が制限されるため、異常な動作パターンが発生する可能性があります。対照的に、外骨格型ロボット装置は、着用者の解剖学的軸に合わせたロボット軸を備えています。これらのロボットは、個々の関節を直接制御するため、異常な姿勢や動きを最小限に抑えることができます。それらの構造は、エンドエフェクタタイプの構造よりも複雑で高価です。この原稿では、著者はロボット装置のエンドエフェクタと外骨格型の両方に関する最近の研究を要約します。また、脳卒中リハビリテーションにおけるロボット支援療法の現状についても議論します。

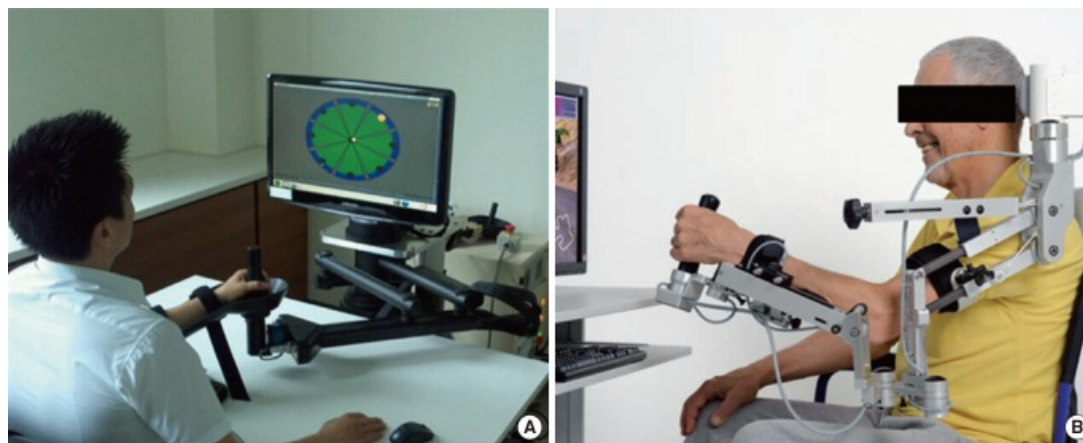


図1

運動訓練用ロボット装置の例 (A) エンドエフェクタタイプ (InMotion 2.0 Interactive Motion Technologies、ウォータータウン、マサチューセッツ州、米国)、(B) 外骨格タイプ (Armeo®、ホコマ、スイス)

歩行機能のためのロボット支援療法

エンドエフェクタタイプのロボット装置

脳卒中後の歩行機能を改善するために、エンドエフェクタ型デバイスを使用するロボット支援療法と従来の治療法を比較した7件のランダム化比較試験がレビューのために選択されました (表1)。¹⁴⁻²⁰

表1

歩行機能のためのロボット支援療法

Authors	Robotic device	Number of participants	Stroke stage	Intensity	Concomitant therapy	Summary of results in comparison with conventional therapies
<i>End-effector-type devices</i>						
Werner et al., 2002	Gait trainer	30	Subacute	20 minutes, 5 times per week for 4 weeks	No	No difference
Peurala et al., 2005	Gait trainer	45	Chronic	20 minutes, 5 times per week for 3 weeks	No	No difference
Tong et al., 2006	Gait trainer	54	Subacute	20 minutes, 5 times per week for 4 weeks	Yes	More effective
Dias et al., 2007	Gait trainer	40	Chronic	40 minutes, 5 times per week for 4 weeks	No	No difference
Pohl et al., 2007	Gait trainer	155	Subacute	20 minutes, 5 times per week for 4 weeks	No	More effective
Peurala et al., 2009	Gait trainer	56	Subacute	20 minutes, 5 times per week for 3 weeks	Yes	More effective
Morone et al., 2011	Gait trainer	48	Subacute	20 minutes, 5 times per week for 4 weeks	No	More effective
<i>Exoskeleton devices</i>						
Mayr et al., 2007	Lokomat	16	Subacute	30 minutes, 5 times per week for 4.5 weeks	No	More effective
Husemann et al., 2007	Lokomat	32	Subacute	30 minutes, 5 times per week for 4 weeks	Yes	More effective
Hornby et al., 2008	Lokomat	62	Chronic	30 minutes, 12 sessions total	No	Less effective
Jung et al., 2008	Lokomat	25	Chronic	30 minutes, 3 times per week for 4 weeks	Yes	More effective
Hidler et al., 2009	Lokomat	72	Subacute	1 hour, 12 sessions total	No	Less effective
Westlake & Patten, 2009	Lokomat	16	Chronic	30 minutes, 3 times per week for 4 weeks	Yes	More effective
Schwartz et al., 2010	Lokomat	67	Subacute	30 minutes, 3 times per week for 6 weeks	Yes	More effective
Chang et al., 2012	Lokomat	37	Subacute	40 minutes, 5 times per week for 2 weeks	Yes	No difference

慢性脳卒中患者を対象に実施された2つの研究では、ロボット支援療法と従来の歩行訓練の間で、歩行機能に対する同等の効果が報告されました。^{14, 17}これらの結果は、エンドエフェクタ型デバイスとロボット支援療法は、慢性脳卒中患者において、従来の治療法に取って代わることができないことを示しています。ただし、亜急性脳卒中の患者を登録した他の5つの試

験では、従来の理学療法と組み合わせたロボット支援療法が、従来の歩行訓練単独よりも歩行機能の大幅な改善をもたらすことが実証されました。[15](#)、[16](#)、[18-20](#) これは、エンドエフェクタタイプのデバイスを使用したロボット支援療法を従来の理学療法に追加することを、亜急性脳卒中の患者での使用に推奨できることを意味します。

外骨格型ロボット装置

脳卒中患者の歩行機能を改善するための外骨格デバイスを備えたロボット支援療法の使用を調査した8つのランダム化比較試験がレビューのために選択されました ([表1](#))。 [21-28](#) 2007年からの2つの研究では、従来の理学療法と比較して外骨格デバイスとロボット介入療法から優れた結果を報告しました。[24](#)、[26](#)の両方の試験は、患者の比較的小さな数を募集しました。最初は、亜急性脳卒中患者のパイロット研究でした。[24](#)その後、2008年にHornby et al. [23](#)外骨格デバイスを使用するロボット支援歩行トレーニングと、慢性脳卒中患者の歩行機能に必要な補助パラダイムを使用する手動促進の効果を比較するランダム化比較試験を実施しました。彼らの結果は、セラピスト支援トレーニングが、ロボット支援トレーニングの同様の投与量よりも、外来性脳卒中生存者の歩行能力の大幅な改善をもたらすことを実証しました。Hidler et al. [22](#)また、多施設無作為化試験で、亜急性脳卒中患者のロボット支援療法の有用性を調査しました。彼らは、従来の歩行訓練介入の多様性は、歩行能力を改善するためのロボット支援歩行訓練よりも効果的であると結論付けました。したがって、これらの2つのレポートは、同様のトレーニング強度で、脳卒中後の歩行機能の回復のための外骨格デバイスを使用したロボット支援治療よりも従来の治療がより効果的であることに同意しました。しかし、他の報告では、特に亜急性脳卒中の患者において、歩行回復に関して、従来の理学療法と従来の療法のみを組み合わせたロボット支援療法の類似または優れた効果が実証されました。[21](#)、[27](#) 2009年には、シュワルツらの研究。参加者数が多い[49人](#)は、通常の理学療法と組み合わせてロボット装置を使用する運動療法は、通常の理学療法単独と比較して、亜急性脳卒中患者の歩行機能に有望な効果をもたらすと結論付けました。[27](#)したがって、外骨格デバイスを使用したロボット支援療法は、脳卒中患者の歩行機能を改善するために従来の理学療法を置き換えることができない場合がありますが、むしろ脳卒中の亜急性段階での従来の理学療法と組み合わせて使用することが推奨されます。しかし、脳卒中の慢性期における歩行機能に対するロボット支援療法の追加効果に関する研究は不十分です。

上肢および手の運動機能のためのロボット支援療法

エンドエフェクタタイプのロボット装置

脳卒中後の上肢運動機能の改善のためにエンドエフェクタ型デバイスを使用するロボット支援療法と従来の治療法を比較する14件のランダム化比較試験がレビューのために選択された ([表2](#))。 [29-41](#) ロボット支援アームトレーニングは上肢機能改善することを実証2012コクランレビューでメタ分析 (標準化平均差0.45; 95%信頼区間 (CI)、0.20 0.69に; $P=0.0004$)。 [42](#)ただし、個々の脳卒中リハビリテーションのガイドラインを作成するには、より詳細な分析が必要です。Fasoliらによる研究。 [32](#) 亜急性脳卒中患者56人で構成され、従来の治療のみを受けた患者はほとんど改善しなかったが、ロボットトレーニングと従来の治療を受けた患者は入院リハビリテーション期間の後半で改善し続けた。これは、ロボット支援療法が亜急性脳卒中患者の上肢運動機能の改善に有効であることを意味します。Loらによる研究。慢性脳卒中患者127 [人](#)を募集した[36人](#)は、ロボット支援治療と従来の治療が12週間の治療後に同程度の改善をもたらしたと報告しました。しかし、36週間の治療後、ロボット支援療法は従来の治療よりも運動機能の改善を達成しました。Hsiehらによる慢性脳卒中患者の研究。 [34](#) また、高強度のロボット支援トレーニンググループでは、対照治療グループよりも上肢の運動機能が大幅に改善されていることがわかりました。対照的に、上肢運動の回復は、低強度トレーニンググループとコントロールグループ間で有意差はありませんでした。これらの知見は、強度が慢性脳卒中患者における上肢運動回復のためのロボット支援療法の最も重要なパラメーターであることを示唆しています。

表2

上肢運動機能のためのロボット支援療法

Authors	Robotic device	Number of participants	Stroke stage	Intensity	Concomitant therapy	Summary of results in comparison with conventional therapies	
						Upper limb function	Activities of daily living
End-effector-type devices							
Lum et al., 2002	MIME	27	Chronic	55 minutes, 24 sessions total over 8 weeks	No	No difference	Not assessed
Fasoli et al., 2004	MIT-MANUS	56	Subacute	1 hour, 5 times per week for 5 weeks	No	More effective	More effective
Hesse et al., 2005	Bi-Manu-Track	44	Subacute	30 minutes, 5 times per week for 6 weeks	Yes	More effective	No difference
Daly et al., 2005	InMotion	12	Chronic	5 hours per day, 5 days per week for 12 weeks	Yes	No difference	Not assessed
Lum et al., 2006	MIME	30	Subacute	1 hour, 15 sessions over 4 weeks	No	No difference	No difference
Masiero et al., 2007	NeReBot	35	Subacute	4 hours per week for 5 weeks	Yes	No difference	More effective
Volpe et al., 2008	InMotion2	21	Chronic	1 hour, 3 times per week for 6 weeks	No	No difference	No difference
Lo et al., 2010	MIT-MANUS	127	Chronic	a maximum of 36 sessions over 12 weeks	No	More effective	Not assessed
Burgar et al., 2011	MIME	54	Subacute	1 hour, 5 times per week for 3 weeks	No	No difference	No difference
Conroy et al., 2011	InMotion 2.0 Shoulder/Arm Robot	57	Chronic	1 hour, 3 sessions per week for 6 weeks	No	No difference	More effective
Liao et al., 2011	Bi-Manu-Track	20	Chronic	90 to 105 minutes, 5 days per week for 4 weeks	Yes	No difference	More effective
Masiero et al., 2011	NeReBot	21	Chronic	Twice a day for 20 minutes, 5 days per week for 5 weeks	Yes	No difference	No difference
Hsieh et al., 2012	Bi-Manu-Track	54	Chronic	High intensity: 20 sessions for 90 to 105 minutes, 5 days per week for 4 weeks Low intensity: same amount assessed, but only half of the number of repetitions	Yes	High: More effective Low: No difference	No difference
Wu et al., 2013	Bi-Manu-Track	42	Chronic	90 to 105 minutes, 5 days per week for 4 weeks	Yes	More effective	Not assessed
Exoskeleton devices							
Kahn et al., 2006	ARM-Guide	19	Chronic	45 minutes, 24 sessions over 8 weeks	No	No difference	Not assessed
Fazekas et al., 2007	REHA ROB	15	Chronic	30 minutes, 20 consecutive work days (5 weeks)	Yes	More effective	Less effective
Mayr et al., 2008	ARMOR	8	Chronic	5 times per week for 6 weeks	No	No difference	Not assessed
Houseman et al., 2009	T-WREX	28	Chronic	30 minutes, 5 times per week for 8-9 weeks	No	No difference	No difference

[別のウィンドウで開く](#)

エンドエフェクタ型デバイスを使用したロボット支援療法を検討した14のランダム化比較試験のうち9つは、脳卒中患者の日常生活活動（ADL）に対するロボット支援トレーニングの影響を評価しました。[29](#)、[30](#)、[32](#) - [35](#)、[38](#) - [41](#) これら9つのレポートは、ロボット支援訓練は従来の治療と比較してADLに類似またはより良好な効果をもたらしたことを実証しました。2012年のCochraneレビューのメタ分析は、ロボット支援のアームトレーニングがADLパフォーマンスを改善することを実証しました（SMD, 0.43; 95%CI, 0.11から0.75; $P = 0.009$ ）。[42](#) さらに、亜急性脳卒中患者の研究では、追加のロボット療法を受けた患者がADLの大幅な改善を示したことが示唆されました。[32](#)、[40は](#)、しかしながら、慢性脳卒中患者における試験は、従来の治療上ADLにおける追加の改善を示しませんでした。[34](#) 要約すると、上肢の運動機能に対するロボット支援療法は、亜急性脳卒中の患者でのみADL機能に追加の効果をもたらします。慢性脳卒中患者のADLに対するロボット支援トレーニングの効果について明確な結論を引き出すには、さらなる研究が必要な場合があります。

レビューのために、脳卒中患者の手の運動機能に関する3つのランダム化比較試験が選択されました（[表3](#)）。[43](#) - [45](#) すべての3つの研究は、脳卒中患者における手の運動機能に対する従来の治療に比べて、ロボット支援トレーニングの同様のまたはより優れた効果を示しました。黄ら。[45](#) ロボット支援療法が用量依存的に手の機能を改善することを実証した。ただし、3つの試験はすべて、脳卒中の慢性期にある比較的少数の参加者による単一施設研究であり、参加者として亜急性脳卒中患者を含むランダム化比較試験はありませんでした。さらに、ロボット後のADL機能の評価はありませんでした。手の運動機能のための補助療法。したがって、

これらの結果は、エンドエフェクタデバイスを使用したロボット支援治療により、慢性脳卒中患者の手の運動機能が同等以上に改善される可能性があることを示唆していますが、亜急性脳卒中患者の効果を裏付ける研究は不十分です。したがって、

表3

手の運動機能のためのロボット支援療法

Authors	Robotic device	Number of participants	Stroke stage	Intensity	Concomitant therapy	Summary of results in comparison with conventional therapies
<i>End-effector-type devices</i>						
Fischer et al., 2007	Cable orthosis/ Pneumatic orthosis	15	Chronic	1 hour, 3 times per week for 6 weeks	No	No difference
Connelly et al., 2010	PneuGlove	14	Not described	1 hour, 3 times per week for 6 weeks	No	No difference
Hwang et al., 2012	Amadeo	17	Chronic	20 minutes, 20 sessions total over 4 weeks	No	More effective
<i>Exoskeleton devices</i>						
Takahashi et al., 2008	HAWARD	13	Chronic	1.5 hours, 5 times per week for 3 weeks	No	More effective
Kutner et al., 2010	Hand Mentor	17	Chronic	60 hours over 3 weeks	Yes	No difference

外骨格型ロボット装置

脳卒中後の上肢運動機能の改善のための外骨格デバイスを用いたロボット支援療法の4つのランダム化比較試験がレビューのために選択されました(表2)。⁴⁶⁻⁴⁹全4試験は、脳卒中の慢性期の患者で行いました。その中で、ある研究では、従来の治療群よりもロボット補助治療群のほうが痙縮に対して有意に優れた効果を報告しました。⁴⁶対照的に、ADL機能は、同量の治療を受けた従来の治療群でより顕著に改善されました。他の3つのレポートでは、外骨格デバイスを使用したロボット支援療法と従来の療法との間に有意差は示されませんでした。⁴⁷⁻⁴⁹さらに、亜急性脳卒中患者の外骨格デバイスを用いたロボット支援療法を調査したランダム化比較試験はありませんでした。したがって、現時点では、脳卒中患者の外肢機能に外骨格デバイスを使用するロボット支援療法の効果に関して明確な結論を引き出すには不十分な証拠があります。

脳卒中患者の手の運動機能を改善するための外骨格デバイスを用いたロボット支援療法を検討した2つのランダム化比較試験が選択されました(表3)。^{50、51}両方の研究は、従来の治療法と比較して、手の運動機能に関して同様またはより良い結果を示しました。ただし、どちらの試験も脳卒中の亜急性期の患者を募集したり、ADL機能に対するロボット支援療法の効果を評価したりしませんでした。要約すると、外骨格デバイスを使用するロボット支援療法は、慢性脳卒中患者の従来の治療と比較して、手運動機能に類似または追加の利点を提供する可能性があります。外骨格デバイスによるロボット支援療法の効果に関する不十分な証拠があります。脳卒中の亜急性期の患者の手の運動機能。

結論

多数の最近の研究により、脳卒中リハビリテーションの分野へのロボット装置の導入が予告されています。多くの報告が、脳卒中患者の運動機能と歩行機能を改善するためのロボット支援療法の有効性を説明しています。しかし、倫理的および方法論的制約の両方が、脳卒中患者におけるロボット支援療法の二重盲検無作為化対照研究の設計を妨げています。さらに、ロボット支援療法のよく組織化された包括的なレビューはわずかしかありません。^{13、42、52、53}ロボット支援療法のメタ分析は、ロボット装置の不均一性および参加者の特性、ならびに文献の研究デザインの多様性のために非常に困難です。したがって、最良の結論を引き出すには、専門家の意見と研究データを考慮することが重要です。このレビューでは、歩行機能と同様に上肢および手の運動機能に対するさまざまなタイプのロボット装置の影響を分析する努力をしました。要約すると、脳卒中リハビリテーションにおけるロボット支援療法の役割は、現在、従来のリハビリテーション療法に代わるものではなく、補助的なものです。脳卒中リハビリテーションの不可欠な部分としてロボット支援療法を確立するには、運動回復

に対する優れた有効性を実証する多数の参加者による適切に設計された研究が必要です。ロボット支援療法の経済的影響と機能的利点の分析も必要です。脳卒中リハビリテーションのためのロボット支援療法は、開発の動的段階にあり、著しい進歩を遂げています。ロボット技術の継続的な改善は、そのようなデバイスの有効性を高め、コストを削減する可能性があります。そのような進歩は、ロボット支援療法を脳卒中リハビリテーションの標準的な治療法に高めるでしょう。脳卒中リハビリテーションのためのロボット支援療法は、開発の動的段階にあり、著しい進歩を遂げています。ロボット技術の継続的な改善は、そのようなデバイスの有効性を高め、コストを削減する可能性があります。そのような進歩は、ロボット支援療法を脳卒中リハビリテーションの標準的な治療法に高めるでしょう。脳卒中リハビリテーションのためのロボット支援療法は、開発の動的段階にあり、著しい進歩を遂げています。ロボット技術の継続的な改善は、そのようなデバイスの有効性を高め、コストを削減する可能性があります。そのような進歩は、ロボット支援療法を脳卒中リハビリテーションの標準的な治療法に高めるでしょう。

脚注

この記事は、韓国政府が資金提供したKOSEF助成金（M10644000022-06N4400-02210）によってサポートされました。

著者には金銭的な利益相反はありません。

参照資料

1. ラングホーンP、ベルンハルトJ、クワッケルG.脳卒中リハビリテーション。ランセット。2011; 377 : 1693–1702。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
2. Hong KS、Bang OY、Kang DW、Yu KH、Bae HJ、Lee JSなど 韓国の脳卒中統計：パートI. 疫学および危険因子：韓国脳卒中学会および脳卒中臨床研究センターからの報告。Jストローク。2013; 15 : 2–20。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
3. Barker-Collo S、Feigin VL、Parag V、Lawes CM、シニアH.オーストラリア脳卒中研究。パート2：脳卒中5年後の認知と機能的結果。神経学。2010; 75 : 1608–1616。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
4. リグビーH、グビッツG、フィリップスS. 脳卒中後の介護者の負担の系統的レビュー。Int J ストローク。2009; 4 : 285–292。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
5. Pekna M、Pekny M、Nilsson M.、脳卒中リハビリテーションの基礎としての神経可塑性の調節。ストローク。2012; 43 : 2819–2828。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
6. 欧州脳卒中機関（ESO）実行委員会。ESOライティング委員会。虚血性脳卒中および一過性脳虚血発作の管理のためのガイドライン2008。CerebrovascDis。2008; 25 : 457–507。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
7. Kwakkel G、Wagenaar RC、Twisk JW、Lankhorst GJ、Koetsier JC. 一次中脳動脈脳卒中後の脚と腕のトレーニングの強度：ランダム化試験。ランセット。1999; 354 : 191–196。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
8. Esquenazi A、PackelA. ロボット支援の歩行訓練および回復。Am J Phys Med Rehabil。2012; 91 : S217–S227。クイズS228–231。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
9. Pignolo L.神経リハビリテーションのロボティクス。J Rehabil Med。2009; 41 : 955–960。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
10. Sivan M、O'Connor RJ、Makower S、Levesley M、Bhakta B.脳卒中のロボット支援上肢運動の評価に使用される結果測定の体系的レビュー。J Rehabil Med。2011; 43 : 181–189。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
11. スタインJ.リハビリテーションのロボット工学：運命としての技術。Am J Phys Med Rehabil。2012; 91 : S199–S203。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

12. ラムPS、ゴッドフリーSB、ブローカーEB、ホリーRJ、ニコルズD.脳卒中後の手の機能のリハビリテーションのためのロボットアプローチ。Am J Phys Med Rehabil. 2012; 91 : S242–S254。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
13. Mehrholz J, Pohl M.脳卒中後の電気機械支援歩行訓練：エンドエフェクタと外骨格デバイスを比較する系統的レビュー。J Rehabil Med. 2012; 44 : 193–199。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
14. ディアスD、レインズJ、ペレイラA、スネスR、カルダスJ、アマラルC、他 慢性片麻痺患者の歩行スキルを改善できますか？歩行トレーナーによるランダム化比較試験。ユーラメデイコフィス。2007; 43 : 499–504。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
15. モローネG、ブラゴニM、イオサM、デアンジェリスD、ベンチュリエロV、コイロP、他 ロボット支援歩行トレーニングの恩恵を受けるのは誰ですか？亜急性脳卒中患者を対象としたランダム化臨床試験。神経リハビリ神経修復。2011; 25 : 636–644。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
16. Peurala SH, Airaksinen O, Huskonen P, Jakala P, Juhakoski M, Sandell Kなど 脳卒中後早期の歩行トレーナーまたはフロアウォーキングエクササイズを使用した集中治療の効果。J Rehabil Med. 2009; 41 : 166–173。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
17. Peurala SH, Tarkka IM, Pitkanen K, Sivenius J.慢性脳卒中患者における体重支持歩行トレーニングと床歩行の有効性。Arch Phys Med Rehabil. 2005; 86 : 1557–1564。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
18. ボールM、ウェルナーC、ホルツグラフェM、クロチェックG、メルホルツJ、ウィンゲンドルフI、他 反復運動トレーニングと理学療法は、脳卒中後の歩行と日常生活の基本活動を改善します：単盲検無作為化多施設試験（DEutsche GAngtrainerStudie、DEGAS）Clin Rehabil. 2007; 21 : 17–27。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
19. Tong RK, Ng MF, Li LS. 亜急性脳卒中における機能的電気刺激の有無にかかわらず、電気機械的歩行トレーナーを使用した歩行訓練の有効性：ランダム化比較試験。Arch Phys Med Rehabil. 2006; 87 : 1298–1304。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
20. ワーナーC、フォンフランケンベルクS、トレイグT、コンラッドM、ヘッセS.トレッドミルトレーニング、部分体重サポート、および亜急性脳卒中患者の歩行回復のための電気機械的歩行トレーナー：無作為化クロスオーバー研究。ストローク。2002; 33 : 2895–2901。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
21. チャンWH、キムMS、フーJP、リーPK、キムYH. 亜急性脳卒中患者の心肺フィットネスに対するロボット支援歩行トレーニングの効果：無作為化対照試験。神経リハビリ神経修復。2012; 26 : 318–324。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
22. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, Brady K, Campbell DD, Kahn JHなど 亜急性脳卒中におけるロコモットの有効性を評価する多施設無作為化臨床試験。神経リハビリ神経修復。2009; 23 : 5–13。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
23. ホーンビーTG、キャンベルDD、カーンJH、デモットT、ムーアJL、ロスHR. 慢性脳卒中患者におけるセラピスト対ロボット支援歩行運動トレーニング後の歩行関連改善の強化：無作為化対照試験。ストローク。2008; 39 : 1786–1792。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
24. Husemann B, Muller F, Krewer C, Heller S, Koenig E.脳卒中後の片麻痺患者におけるロボット駆動歩行装具の支援による歩行訓練の効果：無作為化対照パイロット研究。ストローク。2007; 38 : 349–354。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
25. Jung KH, Ha HG, Shin HJ, Ohn SH, Sung DH, Lee PKWなど 脳卒中患者の歩行回復に対するロボット支援歩行療法の効果。J Korean Acad Rehabil Med. 2008; 32 : 258–266。[[Google Scholar](#)]
26. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frohlich K, Saltuari L. Lokomat歩行装具を使用した脳卒中患者の歩行リハビリテーションの前向き盲検無作為化クロスオーバー研究。神経リハビリ神経修復。2007; 21 : 307–314。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

27. Westlake KP、Patten C.脳卒中後の運動回復のためのLokomat対手動支援トレッドミルトレーニングのパイロット研究。J Neuroeng Rehabil。2009; 6 : 18。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
28. シュワルツI、サジンA、フィッシャーI、ニープM、ショチナM、カッツルーラーM、他 亜急性脳卒中患者におけるロボット支援歩行訓練を使用した運動療法の有効性：ランダム化比較試験。PM R。2009; 1 : 516–523。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
29. Burgar CG、Lum PS、Scremin AM、Garber SL、Van der Loos HF、Kenney Dなど 脳卒中後の急性リハビリテーション設定におけるロボット支援上肢療法：退役軍人局のマルチサイト臨床試験。J Rehabil Res Dev。2011; 48 : 445–458。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
30. Conroy SS、Whitall J、Dipietro L、Jones-Lush LM、Zhan M、Finley MAなど 慢性脳卒中後のロボット支援運動トレーニングに対する重力の影響：無作為化試験。Arch Phys Med Rehabil。2011; 92 : 1754–1761。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
31. Daly JJ、Hogan N、Perepezko EM、Krebs HI、Rogers JM、Goyal KSなど 脳卒中後の上肢ロボットおよび機能的神経筋刺激に対する反応。J Rehabil Res Dev。2005; 42 : 723–736。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
32. Fasoli SE、Krebs HI、Ferraro M、Hogan N、Volpe BT。より短いリハビリテーションは、脳卒中後の潜在的な回復を制限しますか？神経リハビリ神経修復。2004; 18 : 88–94。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
33. ヘッセS、ウェルナーC、ポールM、リュックリムS、メルホルツJ、リンナウML。コンピューター化された腕のトレーニングは、脳卒中後の重度の影響を受けた腕の運動制御を改善します：2つのセンターでの単一盲検無作為化試験。ストローク。2005; 36 : 1960–1966。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
34. Hsieh YW、Wu CY、Lin KC、Yao G、Wu KY、Chang YJ。ロボット支援脳卒中運動リハビリテーションの用量反応関係：初期運動状態の影響。ストローク。2012; 43 : 2729–2734。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
35. リャオWW、ウーCY、シェイYW、リンKC、チャンWY。慢性脳卒中患者の日常機能と現実世界の腕の活動に対するロボット支援上肢リハビリテーションの効果：無作為化対照試験。Clin Rehabil。2012; 26 : 111–120。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
36. Lo AC、Guarino PD、Richards LG、Haselkorn JK、Wittenberg GF、Federman DGなど 脳卒中後の長期の上肢障害に対するロボット支援療法。N Engl J Med。2010; 362 : 1772–1783。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
37. Lum PS、Burgar CG、Shor PC、Majmundar M、Van der。脳卒中後の上肢運動機能のリハビリテーションのための従来の治療技術と比較したロボット支援運動トレーニング。Arch Phys Med Rehabil。2002; 83 : 952–959。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
38. Lum PS、Burgar CG、Van der Loos M、Shor PC、Majmundar M、Yap R。MIME亜急性脳卒中被験者の上肢神経リハビリテーション用ロボット装置：追跡調査。J Rehabil Res Dev。2006; 43 : 631–642。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
39. マシエロS、アルマーニM、ロサティG。急性脳卒中患者のリハビリテーションにおける上肢ロボット支援療法：集中的なレビューと新しいランダム化比較試験の結果。J Rehabil Res Dev。2011; 48 : 355–366。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
40. マシエロS、セリアA、ロサティG、アルマーニM。急性脳卒中後の上肢のロボット支援リハビリテーション。Arch Phys Med Rehabil。2007; 88 : 142–149。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
41. ウーCY、ヤンCL、チュアンLL、リンKC、チェンHC、チェンMD、他 慢性脳卒中後の運動制御、機能的パフォーマンス、および生活の質に対するセラピストベースの対ロボット支援の両側腕トレーニングの効果：臨床試験。Phys Ther。2012; 92 : 1006–1016。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

42. Mehrholz J, Hadrich A, Platz T, Kugler J, Pohl M.脳卒中後の日常生活、腕の機能、および腕の筋力の一般的な活動を改善するための電気機械およびロボット支援腕トレーニング。Cochrane Database Syst Rev. 2012; 6 : CD006876。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
43. Connelly L, Jia Y, Toro ML, Stoykov ME, Kenyon RV, Kamper DG. 脳卒中後の手のリハビリ訓練のための空気圧グローブと没入型の仮想現実環境。IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. 2010; 18 : 551–559。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
44. フィッシャーHC、スタブフィールドK、クラインT、ルオX、ケニオンRV、カンパーDG. 脳卒中後の手のリハビリテーション：仮想環境での補助指伸展トレーニングのパイロット研究。トップストロークリハビリ。2007; 14 : 1–12。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
45. ファンCH、ソンJW、ソンDS. 亜急性から慢性の脳卒中における個々の指の同期化ロボット支援手リハビリテーション：有効性の前向き無作為化臨床試験。Clin Rehabil. 2012; 26 : 696–704。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
46. Fazekas G, Horvath M, Troznai T, Toth A.痙性片麻痺患者に対するロボット媒介上肢理学療法：予備研究。J Rehabil Med. 2007; 39 : 580–582。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
47. カーンLE、ザイグマンML、ライマーWZ、ラインケンスマイヤーDJ. ロボット支援リーチ運動は、慢性片麻痺性脳卒中の腕の動きの回復を促進します：無作為化対照パイロット研究。J Neuroeng Rehabil. 2006; 3 : 12。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
48. Mayr A, Kofler M, Saltuari L. [ARMOR：脳卒中後の上肢トレーニング用の電気機械ロボット。前向き無作為化対照パイロット研究] Handchir Mikrochir Plast Chir. 2008; 40 : 66–73。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
49. Housman SJ, Scott KM, Reinkensmeyer DJ. 重度の片麻痺患者を対象とした、重力でサポートされたコンピューターで強化された腕の運動のランダム化比較試験。神経リハビリ神経修復。2009; 23 : 505–514。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
50. Kutner NG, Zhang R, Butler AJ, Wolf SL, Alberts JL. 亜急性脳卒中患者の手の運動機能を改善するためのロボット支援療法に関連する生活の質の変化：無作為化臨床試験。Phys Ther. 2010; 90 : 493–504。[[PMC無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
51. 高橋CD、Der-Yeghiaian L, Le V, Motiwala RR, Cramer SC. 脳卒中後のロボットベースの手運動療法。脳。2008; 131 : 425–437。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
52. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M.脳卒中後の歩行のための電気機械支援トレーニング。Cochrane Database Syst Rev. 2007 : CD006185 [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
53. Norouzi-Gheidari N, Archambault PS, Fung J.上肢の脳卒中リハビリテーションに対するロボット支援療法の効果：文献の系統的レビューとメタ分析。J Rehabil Res Dev. 2012; 49 : 479–496。[[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]

Journal of Strokeの記事は、**韓国脳卒中協会**の好意により提供されています。