

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^{AB}

^A韓国・ソウル市成均館大学医学部サムスン医療センター物理・脳血管センター

^Bサムスン高等保健科学技術研究所、成均館大学、ソウル、韓国。

[✉]対応する著者。

対応: ユンヒ・キム。東京医療センター、神経リハビリテーション・脳卒中・脳血管センター、サムスン医療センター、サムスン高等保健科学技術研究所、成均館医科大学、81イルウォン口、江南区、ソウル135-710、韓国。電話番号: +82-2-3410-2824, 2818, ファックス: +82-2-3410-0388, yunkim@skku.edu

受領済み 2013 6月 18;改訂 2013年7月30日;2013年8月1日を受け入れました。

2013年韓国脳卒中学会著作権©

これは、クリエイティブ・コモンズ・アトリビュション非商用ライセンス

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>)の条項に基づいて配布されたオープンアクセスの記事で、元の作品が適切に引用されていれば、あらゆる媒体で無制限の非商業的使用、配布、複製を許可します。

抽象

リハビリテーションロボティクスの研究は急速に成長し、治療用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することができ、脳卒中や脊髄疾患によって引き起こされる運動障害の患者に有用です。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、エンドエフェクタおよび外骨格タイプが含まれます。本明細書では、両方のタイプの臨床使用を検討する。ロボット支援療法の応用の一つは、脳卒中患者における歩行機能の改善である。エンドエフェクター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に対して有効な補体であることが証明されているが、ロボット歩行トレーニングが患者の従来の理学療法よりも優れているという明確な証拠はない慢性脳卒中で、または単独で配信されたとき。別のアプリケーションでは、脳卒中から回復した患者における上肢運動機能トレーニングは、ロボット支援療法は亜急性脳卒中患者における従来の治療に匹敵または優れていた。エンドエフェクタデバイスでは、治療の強度は、上肢運動回復の最も重要な決定要因でした。しかしながら、脳卒中患者における上肢運動機能に対する外骨格装置の使用には不十分な証拠がある。手運動機能のリハビリテーションのために、エンドエフェクターおよび外骨格デバイスのいずれかが慢性脳卒中患者における従来の治療に対して類似または追加効果を示した。本エビデンスは、脳卒中患者における運動機能を改善するためのロボット支援療法の使用を、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介入として支持する。それにもかかわらず、近い将来、技術開発の機会が大きいです。

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

導入

脳卒中は、世界中で一般的で深刻な、そして医療問題を無効にします。¹特に、急速に「高齢化社会」へと変化する韓国では、脳卒中の発生率は、ここ数十年の間に徐々に増加しています。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ており、²その結果、韓国では脳卒中の罹患率が増加する。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年後に機能不良の結果しか達成しません。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急性脳卒中管理は大きな進歩を遂げましたが、患者の依存性を減らすための脳卒中後のケアの大半はリハビリテーション治療に依存しています。

神経可塑性は、脳卒中後の機能的結果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重要な目標の一つは、機能回復のための神経可塑性の有効利用である。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、高用量集中トレーニング⁶特定の機能タスクの繰り返しの練習⁷脳卒中後の回復に重要です。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。

ロボット技術は近年、より高速で強力なコンピュータと新しい計算アプローチ、電気機械部品の高度化など、飛躍的に発展しています。⁸この技術の進歩により、ロボット工学はリハビリテーションの介入に利用できるようになった。ロボットは、タスクを実行するために可変的なプログラムされた動きを通じて材料、部品、または特殊なデバイスを移動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として定義されます。²リハビリテーション介入に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する能力です。¹⁰この特性は、脳卒中や脊髄疾患によって引き起こされる運動障害患者のリハビリテーションのための有望な新しい技術をロボット療法にします。リハビリテーションロボティクスの研究は急速に進み、この20年間で治療用リハビリテーションロボットの数は劇的に増加しています。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、脳卒中患者における治療ロボットの有用性に焦点を当てる。モータトレーニングに使用されるロボットデバイスの種類は、エンドエフェクタ型デバイスと外骨格型デバイス(図1)。¹³エンドエフェクタデバイスは、手足の遠位セグメントに機械的な力を加えることによって動作します。エンドエフェクタタイプのロボットは、簡単なセットアップの利点を提供しますが、異常な動きパターンをもたらす可能性があり、四肢の近位関節の制御が制限されています。対照的に、外骨格型ロボットデバイスは、着用者の解剖学的軸に合わせたロボット軸を有する。これらのロボットは異常な姿勢または動きを最小にできる個々の関節の直接制御を提供する。彼らの構造は、エンドエフェクタタイプのものよりも複雑で高価です。本稿では、ロボット装置のエンドエフェクタと外骨格の両方に関する最近の研究をまとめたものです。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する。



[別のウィンドウで開く](#)

[図 1](#)

モータトレーニング用ロボットデバイスの例(A)エンドエフェクタタイプ(InMotion 2.0インタラクティブモーションテクノロジー、ウォータータウン、MA、アメリカ)、(B)外骨格タイプ(アルメオ®、スイス)。

歩行機能に対するロボット支援療法

エンドエフェクタ型ロボットデバイス

脳卒中後の歩行機能を改善するための従来の治療法とエンドエフェクタ型デバイスを用いたロボット支援療法を比較した7つの無作為化比較試験を検討(表1).¹⁴⁻²⁰

表 1

歩行機能に対するロボット支援療法

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
Homby 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

[別のウィンドウで開く](#)

慢性脳卒中患者で行われた2つの研究は、ロボット支援療法と従来の歩行トレーニングとの間の歩行機能に対する同等の効果を報告した。^{14,17}これらの結果は、エンドエフェクタ型デバイスを用いたロボット支援療法が、慢性脳卒中患者の従来の治療に取って代わることができないことを示している。しかし、亜急性脳卒中の患者を登録した他の5つの試験は、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トレーニング単独よりも歩行機能の改善を生み出したことを実証した。^{15,16,18-20}これは、従来の理学療法にエンドエフェクタ型デバイスを用いたロボット支援療法の追加を、亜急性脳卒中患者での使用に推奨できることを意味する。

外骨格型ロボット装置

脳卒中患者の歩行機能改善のための外骨格装置によるロボット支援療法の使用を調査した8つの無作為化比較試験がレビューのために選択された(表1).²¹⁻²⁸2007年の2つの研究は、従来の理学療法と比較して外骨格デバイスによるロボット支援療法の優れた結果を報告しました。^{24,26}両方の試験は比較的少数の患者を募集した。1つ目は亜急性脳卒中患者のパイロット研究であった。²⁴その後、2008年、ホーンビーら。²³慢性脳卒中患者の歩行機能に必要なパラダイムを用いた外骨格装置と手動ファシリテーションを用いたロボット支援歩行訓練の効果を比較する無作為化制御試験を実施した。その結果、セラピスト支援トレーニングは、ロボット支援トレーニングの同様の投与量よりも歩行性脳卒中生存者の歩行能力の向上をもたらすことを実証した。ヒドラーら²²また、多施設無作為化試験における亜急性脳卒中患者におけるロボット支援療法の有用性を調査した。彼らは、従来の歩行訓練介入の多様性は、歩行能力を向上させるためのロボット支援歩行訓練よりも効果的であるように見えると結論付けた。したがって、これら2つの報告は、同様のトレーニング強度において、従来の治療は、脳卒中後の歩行機能の回復のための外骨格装置によるロボット支援療法よりも効果的であると合意した。しかし、他の報告は、特に亜急性脳卒中の患者において、従来の理学療法と従来の治療単独で歩行回復に対するロボット支援療法の類似または優れた効果を文書化した。

21,27 2009年、シュワルツらの研究。⁴⁹より多くの参加者が、通常の理学療法と組み合わせてロボットデバイスを使用して、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生み出したと結論付けました。²⁷したがって、外骨格装置による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の従来の理学療法に取って代わることができず、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る場合があります。脳卒中の亜急性期に。しかしながら、脳卒中の慢性段階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ある。

上肢・手運動機能に対するロボット支援療法

エンドエフェクタ型ロボットデバイス

脳卒中後の上肢運動機能の改善のための従来の治療法とエンドエフェクター型デバイスを用いたロボット支援療法を比較する14の無作為化比較試験を検討する(Table 2)。²⁹⁻⁴¹2012コクランレビューのメタ分析は、ロボット支援アームトレーニングが上肢機能(標準化平均差0.45;95%信頼区間(CI)、0.20~0.69を改善したことを実証しました。 $P=0.0004$)。⁴²しかし、個々の脳卒中リハビリテーションのためのガイドラインを開発するには、より詳細な分析が必要です。ファソリらの研究³²亜急性脳卒中を有する56人の患者を含む患者は、従来の治療を単独で受けた患者はほとんど改善を示さなかったのに対し、ロボットトレーニングと従来の治療を受けた患者は、後期に改善を続けたと報告した。入院リハビリテーション期間。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を改善するために有効であることを意味する。Loらによる研究³⁶127人の慢性脳卒中患者を募集した人は、ロボット支援療法と従来の治療が12週間の治療後に同様の量の改善を生み出したと報告した。しかし、36週間の治療の後、ロボット支援療法は従来の治療よりも大きな運動改善を達成した。Hsiehらによる慢性脳卒中患者に関する研究³⁴また、対照治療群よりも高強度ロボット支援トレーニング群における上肢運動機能の有意な改善が見られた。これに対し、上肢運動回復は、下強度トレーニング群と対照群との間で有意に異なっていなかった。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であることを示唆している。

Table 2

上肢運動機能に対するロボット支援療法

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](#)

エンドエフェクター型デバイスによるロボット支援療法を調べた14の無作為化比較試験のうち9回は、脳卒中患者における日常生活(ADL)の活動に対するロボット支援トレーニングの影響を評価した。[29,30,32-35,38-41](#)これらの9つのレポートは、ロボット支援トレーニングが従来の治療と比較してADLに対して同様またはより良い効果をもたらすことを実証しました。2012コクランレビューメタ分析は、ロボット支援アームトレーニングがADLのパフォーマンスを向上させた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は、追加のロボット療法を受けた患者がADLでより大きな改善を示したことを示唆した。[32,40](#)しかしながら、慢性脳卒中患者における試験は、従来の治療に対するADLの追加改善を示さなかった。[34](#)要約すると、上肢運動機能に対するロボット支援療法は、亜急性脳卒中患者に限りADL機能に追加の効果を提供する。慢性脳卒中患者における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導くために、さらなる研究が必要な場合がある。

脳卒中患者の手運動機能に関する3つの無作為化比較試験がレビュー対象として選択された(表3)。[43-45](#)3つの研究はすべて、脳卒中患者における手運動機能に関する従来の治療と比較して、ロボット支援トレーニングの類似または優れた効果を示した。黄ら⁴⁵ロボット支援療法が手の機能の用量依存的な改善を提供することを実証した。しかし、3つの試験はすべて比較的少数の参加者を有する単一センター試験であり、脳卒中の慢性段階では、さらに参加者として亜急性脳卒中患者を含む無作為化比較試験はなかったが、それ以上に、何も、ない手運動機能に対するロボット支援療法後のADL機能の評価したがって、これらの結果は、エンドエフェクターデバイスによるロボット支援療法が、慢性脳卒中患者における手運動機能の類似またはより大きな改善をもたらす可能性があることを示唆しているが、亜急性脳卒中。し

たがって、脳卒中の亜急性および慢性の両方の段階で患者の手運動機能の改善にエンドエフェクター型デバイスを使用するロボット支援療法の効果に関する明確な結論を導き出すために、適切に設計された研究が必要である。

Table 3

手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

[別のウィンドウで開く](#)

外骨格型ロボット装置

脳卒中後の上肢運動機能改善のための外骨格装置を用いたロボット支援療法の4つの無作為化比較試験がレビュー対象として選択された([Table 2](#)).⁴⁶⁻⁴⁹全4回の試験は、脳卒中の慢性段階の患者で行った。その中で、ある研究は、従来の治療群よりもロボット支援療法群の痙攣に有意に良い影響を報告した。⁴⁶対照的に、ADL機能は、同じ量の治療を受けた従来の治療群においてより顕著に改善された。他の3つの報告は、外骨格装置によるロボット支援療法と従来の治療法との間に有意差を示さなかった。⁴⁷⁻⁴⁹さらに、亜急性脳卒中患者における外骨格装置によるロボット支援療法を調査した無作為化対照試験はなかった。従って、現時点では脳卒中患者の上肢機能に外骨格装置を用いるロボット支援療法の効果に関する明確な結論を導き出す証拠が不十分である。

脳卒中患者の手運動機能を改善するための外骨格装置によるロボット支援療法を検討した2つの無作為化比較試験が選択された([Table 3](#)).⁵⁰⁻⁵¹両方の研究は、従来の治療と比較して手の運動機能に類似またはより良い結果を示した。しかし、いずれ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なかった。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、慢性脳卒中患者における従来の治療と比較して、手の運動機能に対して同様または追加の利点を提供するかもしれないが、その効果に関する十分な証拠がない脳卒中の亜急性期における患者の手運動機能上の外骨格装置を用いたロボット支援療法の。

結論

数多くの最近の研究は、脳卒中リハビリテーションの分野にロボットデバイスの導入を伝えています。脳卒中患者の運動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については、多くの報告があります。しかしながら、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比較研究の設計を妨げる。さらに、ロボット支援療法の包括的なレビューは少ししかありません。^{13,42,52,53}ロボット支援療法のメタアナリシスは、ロボットデバイスの異質性と参加者の特性、および文献における研究デザインの多様性のために非常に困難である。したがって、最良の結論を導くためには、専門家の意見や研究データを考慮することが重要です。本レビューでは、上肢と手の運動機能に対する異なるタイプのロボットデバイスの影響と歩行機能の解析に努めた。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の代替ではなく、補助的である。運動回復に対する優れた有効性を示す多数の参加者を対象とした適切に設計された研究は、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ために必要とされるであろう。経済的影響の分析とロボット支援療

法の機能的利点も必要である。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、開発の動的な段階にあり、顕著な進歩を達成しています。ロボット技術の改良は、有効性を高め、そのようなデバイスのコストを削減する可能性があります。このような進歩は、脳卒中リハビリテーションにおける標準的な治療モダリティにロボット支援療法を高める。

脚注

この記事は、韓国政府が出資するKOSEF助成金(M10644000022-06N4400-02210)によって支援されました。

著者は利害の財政的な対立を持っていない。

参照

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](#)][[グーグルスカラー](#)]
2. ホン KS, バン OY, カン DW, Yu KH, ペ HJ, Lee JS, 他の韓国における脳卒中統計: 第I. 疫学と危険因子: 韓国脳卒中学会と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](#)] [[グーグルスカラー](#)]
3. バーカー・コロ S, フェイギン VL, パラグ V, ローズ CM, シニア H. オークランド 脳卒中の結果研究. 第2部: 認知と機能的成果5年後神経学. 2010;75:1608-1616. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
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](#)][[グーグルスカラー](#)]
5. ペクナ M, ペクニー M, ニルソン 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変調. ストローク. 2012;43:2819-2828. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
6. 欧州脳卒中機関(ESO)執行委員会 ESO 執筆委員会. 虚血性脳卒中および一過性虚血発作の管理のためのガイドライン 2008. セレブロヴァス・ディス 2008;25:457-507. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
7. クワッケル G, ワゲナール RC, ツイスク JW, ランクホルスト GJ, コエツィエ JC. 原発性中大脳動脈脳卒中後の脚と腕のトレーニングの強度: 無作為化試験. ランセット 1999;354:191-196. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
8. エスケナジ A, パッケル A. ロボット支援歩行訓練と修復. アム J フィスメドリハブル. 2012;91:S217-S227. クイズ S228-231. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
9. 神経リハビリテーションにおけるピニョロ L. ロボティクス J リハブメッド. 2009;41:955-960. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
10. シヴァン M, オコナー RJ, マコワー S, リーブズリー M, バクタ B. 脳卒中におけるロボット支援上肢運動の評価に使用される結果測定の系統的レビュー. J リハブメッド. 2011;43:181-189. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
11. リハビリテーションにおけるスタイン・J・ロボティクス: 運命としての技術 アム J フィスメドリハブル. 2012;91:S199-S203. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
12. ラム PS, ゴドフリー SB, ブロカウ 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. アム J フィスメドリハブル. 2012;91:S242-S254. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
13. Mehrholz J, Pohl M. 脳卒中後の電気機械支援歩行トレーニング: エンドエフェクターと外骨格デバイスを比較した系統的レビュー. J リハブメッド. 2012;44:193-199. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
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, 他慢性片麻痺の歩行能力を向上させることはできますか? 歩行トレーナーとの無作為化対照試験. ユーラ・メディコフィス 2007;43:499-504. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]

- 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. ロボット支援歩行訓練の恩恵を受けることができるのは誰ですか? 亜急性脳卒中患者における無作為化臨床試験. 神経リハビリテーション神経修復. 2011;25:636-644. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
- 16.ペウララ SH, アイラクシネン O, フスコネン P, ジャカラ P, ジュハコスキ M, サンデル K, 他. 脳卒中後の早い段階で歩行トレーナーまたは床歩行演習を使用した集中療法の効果. Jリハブメッド. 2009;41:166-173. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
- 17.ペウララ SH, タルッカ IM, ピトカネン K, シヴェニウス J. 慢性脳卒中患者における体重支援歩行訓練と床歩行の有効性. アーチ・フィス・メッド・リハブ. 2005;86:1557-1564. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
18. Pohl M, Werner C, ホルツグレイフ M, クロチェク G, メアホルツ J, ウィングエンドルフ I, 他. 繰り返し運動トレーニングと理学療法は、脳卒中後の日常生活の歩行と基本的な活動を改善します: 単一盲、無作為化多角試験 (DEutsche GAngtrainerStudie, DEGAS) クリリンリハブ. 2007;21:17-27. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
19. トンRK, Ng MF, Li LS. 機能的な電気刺激の有無にかかわらず、亜急性脳卒中における電気機械歩行トレーナーを用いた歩行トレーニングの有効性: 無作為化比較試験. アーチ・フィス・メッド・リハブ. 2006;87:1298-1304. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
20. Werner C, フォン・フランケンベルク S, トレイグ T, コンラート M, ヘッセン S. トレッドミルトレーニング部分的な体重サポートと亜急性脳卒中患者の歩行の回復のための電気機械歩行トレーナー: ランダム化クロスオーバー研究. ストローク. 2002;33:2895-2901. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
21. チャン WH, キム MS, フー JP, リー PK, キム YH. 亜急性脳卒中患者における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: 無作為化対照研究. 神経リハビリテーション神経修復. 2012;26:318-324. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
22. ヒドラー J, ニコルズ D, ペリッチョ M, ブレイディ K, キャンベル DD, カーン JH, 他. 亜急性脳卒中におけるロコモットの有効性を評価するマルチセンターランダム化臨床試験. 神経リハビリテーション神経修復. 2009;23:5-13. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
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, Roth HR. セラピスト対慢性脳卒中の被験者におけるロボット支援ロコモータートレーニング後の歩行関連の改善を強化: 無作為化比較研究. ストローク. 2008;39:1786-1792. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
24. ヒューズマン B, ミュラー F, クレワー C, ヘラー S, ケーニッヒ E. 脳卒中後の半量体患者におけるロボット駆動歩行装の助けを借りて移動訓練の効果: 無作為化制御パイロット研究. ストローク. 2007;38:349-354. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
25. チョン KH, Ha HG, シン HJ, オーン SH, ソン DH, リー PKW, 他. 脳卒中患者の運動障害回復に対するロボット支援歩行療法の効果. J 韓国のアカデ・リハブ・メッド. 2008;32:258-266. [[グーグルスカラー](#)]
26. Mayr A, Kofler M, キルバッハ E, マザック H, フロリッヒ K, サルトウアリ L. 見込み, 盲目, ロコモット歩行矯正を使用した脳卒中患者における歩行リハビリテーションのランダム化クロスオーバー研究. 神経リハビリテーション神経修復. 2007;21:307-314. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
27. ウェストレイク KP, パッテン C. パイロット研究. ロコモット対ロコモーター回復. ポストストロークのための手動支援トレッドミルトレーニング. J ニューロエンリハブ. 2009;6:18. [[PMC 無料記事](#)][[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]
28. シュワルツ I, サジン A, フィッシャー I, ニーブ 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トレーニングを用いたロコモーター療法の有効性: 無作為化対照試験. PM R. 2009;1:516-523. [[PubMed](#)][[グーグルスカラー](#)]

- 29.ブルガーCG, Lum PS, スクレミンAM, ガーバーSL, ファンデルロースHF, ケニーD, ら. 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: 退役軍人省多面臨床試験. Jリハブレス開発.2011;48:445-458. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
- 30.コンロイSS, ホイットルJ, ディピエトロL, ジョーンズブラッシュLM, ザンM, フィンリーMA, ら. 慢性脳卒中後のロボット支援運動トレーニングに重力の影響: 無作為化試験.アーチ・フィス・メッド・リハブ2011;92:1754-1761. [[PMC 無料記事](#)][[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
31. Daly JJ, ホーガン N, ペレペスコ EM, クレブス HI, ロジャース JM, ゴヤル KS, 他. 脳卒中後の上肢ロボティクスおよび機能性神経筋刺激に対する応答. Jリハブレス開発.2005;42:723-736. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
- 32.ファソリ SE, クレブス HI, フェラーロ M, ホーガン N, ヴォルペ BT. 短いリハビリテーションは潜在的な回復ポストストロークを制限しますか?神経リハビリテーション神経修復.2004;18:88-94. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
- 33.ヘッセン S, ヴェルナー C, ポール M, ルクレム S, メアホルツ J, リンナウ ML. コンピュータアームトレーニングは、脳卒中後に重度に影響を受けた腕の運動制御を改善します: 2つのセンターで単一盲検ランダム化試験.ストローク. 2005;36:1960-1966. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
34. Hsieh YW, 呉 CY, リン KC, ヤオ G, ウー KY, チャン YJ. ロボット支援脳卒中運動リハビリテーションの線量応答関係: 初期モータ状態の影響.ストローク. 2012;43:2729-2734. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
35. リャオWW, 呉 CY, シーエ YW, リン KC, チャン WY. 慢性脳卒中患者におけるロボット支援上肢リハビリテーションが日常的な機能と実世界の腕活動に及ぼす影響: 無作為化比較試験. クリン・リハブ2012;26:111-120. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
36. Lo AC, グアリノPD, リチャーズ LG, ハゼルコーン JK, ヴィッテンベルク GF, フェダーマン DG, 他. 脳卒中後の長期上肢障害に対するロボット支援療法. N エンゲル J メッド 2010;362:1772-1783. [[PMC 無料記事](#)][[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
37. ラムPS, ブルガーCG, ショアPC, マジムンダルM, ファンデル. 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てロボット支援運動トレーニング. アーチ・フィス・メッド・リハブ2002;83:952-959. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
38. Lum PS, ブルガーCG, ファンデルルースM, ショアPC, マジムンダルM, ヤップR. マイムチロボットデバイス亜急性脳卒中被験者における上肢神経リハビリテーションのための: フォローアップ研究. Jリハブレス開発.2006;43:631-642. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
39. Masiero S, アルマーニ M, ロザティ 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無作為化比較試験の結果. Jリハブレス開発.2011;48:355-366. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
40. マシエロS, セリアA, ロザティ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. アーチ・フィス・メッド・リハブ2007;88:142-149. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
41. 呉 CY, ヤン CL, チュアン LL, リン KC, 陳 HC, 陳 MD, 他. セラピストベースの対ロボット支援二国間腕トレーニングが運動制御、機能性能、慢性脳卒中後の生活の質に及ぼす影響: 臨床試験. フィス・サー2012;92:1006-1016. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]
42. Mehrholz J, ハドリッチA, プラッツT, クグラールJ, Pohl M. 電気機械およびロボット支援アームトレーニングは、脳卒中後の日常生活、腕機能、腕筋力の一般的な活動を改善するためのトレーニングを行います。コクランデータベースシステムト改訂2012;6:CD006876. [[パブメッド](#)][[グーグルスカラー](#)]

- 43.コネリー L, ジア Y, トロ ML, ストイコフ ME, ケニオン RV, カンパー DG.脳卒中後の手リハビリテーショントレーニングのための空気手袋および没入型バーチャルリアリティ環境。IEEEトランスニューラルシストリハビリテーションEng.2010;18:551-559。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 44.フィッシャーHC, スタッブルフィールド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延長訓練のパイロット研究。トップストロークリハビリテーション。2007;14:1-12。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 45.ファンCH, ソンJW, ソンDS.慢性脳卒中に亜急性性における個々の指同期ロボット支援手リハビリテーション:有効性の将来的な無作為化臨床試験。クリン・リハブ2012;26:696-704。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 46.ファゼカス G, ホルヴァス M, トロズナイ T, Toth A. ロボット媒介性上肢理学療法 痙性半麻痺患者に対する: 予備的研究. Jリハブメッド。2007;39:580-582。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 47.カーン LE, ジグマン ML, ライマー WZ, ラインケンスマイヤー DJ.ロボット支援到達運動は、慢性半動性脳卒中における腕の動きの回復を促進する:無作為化制御パイロット研究。Jニューロエンリハブ。2006;3:12。 [[PMC 無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 48.メイアA、コフラーM、サルトゥアリL.[ARMOR:脳卒中後の上肢トレーニングのための電気機械ロボット。将来の無作為化制御パイロット研究]ハンドチル・マイクロシル・プラスチック・チル。2008;40:66-73。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 49.ヒューズマンSJ, スコットKM, リンケンスマイヤーDJ.重度の半年症の個人に対する重力支持、コンピュータ強化アームエクササイズは無作為化比較試験。神経リハビリテーション神経修復.2009;23:505-514。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 50.クトナーNG, 張 R, バトラーAJ, ウルフSL, アルバーツJL.亜急性脳卒中患者の手運動機能を改善するためのロボット支援療法に伴う生活の質変化:無作為化臨床試験フィス・サー2010;90:493-504。 [[PMC 無料記事](#)] [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 51.高橋CD, デア・イエギアン L, ルV, モティワラRR, クラマーSC. 脳卒中後のロボットベースの手のモーターセラピー.脳。2008;131:425-437。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 52.メールホルツJ, ヴェルナーC, クグラールJ, ボールM. 脳卒中後の歩行のための電気機械的支援トレーニング.コ克蘭データベースシステムト改訂2007:CD006185.[[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]
- 53.ノロウジ・グハイダリ N, アルシャンボーPS, フォン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リハブレス開発.2012;49:479-496。 [[PubMed](#)] [[グーグルスカラー](#)]