

## 最新のトピックス

## 脳卒中による上肢運動麻痺の機能回復のための新しいデバイス

信州大学医学部保健学科作業療法学専攻基礎作業療法学領域

務 台 均

## I はじめに

脳卒中後に生じる運動麻痺は、患者の日常生活活動の能力や生活の質を低下させる。特に上肢の運動麻痺は下肢と比べ日常生活の中で使えるレベルにまで回復することが難しいことが多い。麻痺側上肢の運動機能を回復させる介入方法は、これまで徒手的な手技が中心に実施されてきたが、近年、リハビリテーション領域へのテクノロジーの参入が進み、様々なデバイスが開発され新しい介入方法が導入されるようになってきている。今回は、脳卒中患者の上肢運動麻痺の機能回復に実用化されるようになってきているデバイスのなかで支援ロボットおよび電気刺激装置と今後期待される Brain Computer Interface (BCI) について紹介する。

## II 支援ロボット

20年程前から脳卒中中の運動麻痺の回復にロボットが用いられるようになり、現在、導入されている病院・施設も増えてきている。支援ロボットは大きく分類して、外骨格型と end-effector 型の2つのタイプに分けられる。外骨格型は、手指・上肢を外側から支柱等で支持し、各関節の動きをモーター等で制御する装置である。HAL<sup>®</sup>を代表とする歩行訓練・支援を目的とした装置は数多く実用化されている。end-effector 型は、手または前腕部を機器の作動部に固定し、遠位部をロボットが動かすことで、手関節より近位の関節の動きを支援する装置である。国際的には、Amadeo<sup>®</sup>、ArmeoPower<sup>®</sup>/Armeo<sup>®</sup>Spring、InMotion ARM<sup>®</sup>、Bi-Manu-Track<sup>®</sup>、ReoGo<sup>®</sup>/ReoGo-J<sup>®</sup>が実用化されている<sup>1)</sup>。ReoGo-J<sup>®</sup>は、Motorika 社 (イスラエル) 製の上肢訓練支援ロボット Reo therapy system<sup>®</sup>を帝人ファーマが日本向けに開発したもので、国内において最も普及している (図1)。また、ReoGo-J<sup>®</sup>を用いた上肢機能訓練は2020年4月1日より保険適用と

なっている。ReoGo-J<sup>®</sup>は、麻痺している側の手部または前腕部を本体に固定し、画面上に患者の能力に合わせた運動方向が提示され、それに合わせて患者が麻痺側上肢を動かすことで訓練を行う。ロボットが支援する介助量は全介助、自動介助運動、自動運動と運動麻痺の程度に応じて調整が可能となっている。

支援ロボットを使用するメリットとしては、まず、訓練時間を増やすことができる点が挙げられる。通常、作業療法士が徒手的な訓練を一人の患者に提供できる時間は限られてしまうが、患者の認知機能面に問題がなく、機器の設定さえ作業療法士が行えば、自主トレーニングとして実施することができる。また、ロボットによる運動方向には限りがあるが、作業療法士が実施するよりも、ロボットは再現性の高い動作訓練を反復して長時間実施することができる。その他にも、実施した訓練結果は記録され、グラフや表などで結果が可視化されることにより、パフォーマンスに関するフィードバックを患者がタイムリーに受け取ることができる<sup>2)</sup>。

## III 電気刺激装置

電気刺激は、皮膚上に貼った電極を通して、刺激装置から出力される電流を経皮的に生体に流す方法である。麻痺側上肢の筋活動の回復については、筋を直接刺激する方法と、末梢神経を刺激することで、運動神経を介して筋の活動を促通し、感覚神経を介した上行性入力により体性感覚野および運動野を刺激し、皮質脊髓路を賦活させる方法がある。さまざまな方法が開発され、本邦およびアメリカ (AHA/ASA) の脳卒中治療ガイドラインにおいても、推奨グレードはそれぞれBとAとなっている。特に、運動麻痺の程度が中等度から重度で、発症から数か月の患者への実施が推奨されている。

近年新たな電気刺激療法として Integrated volition-

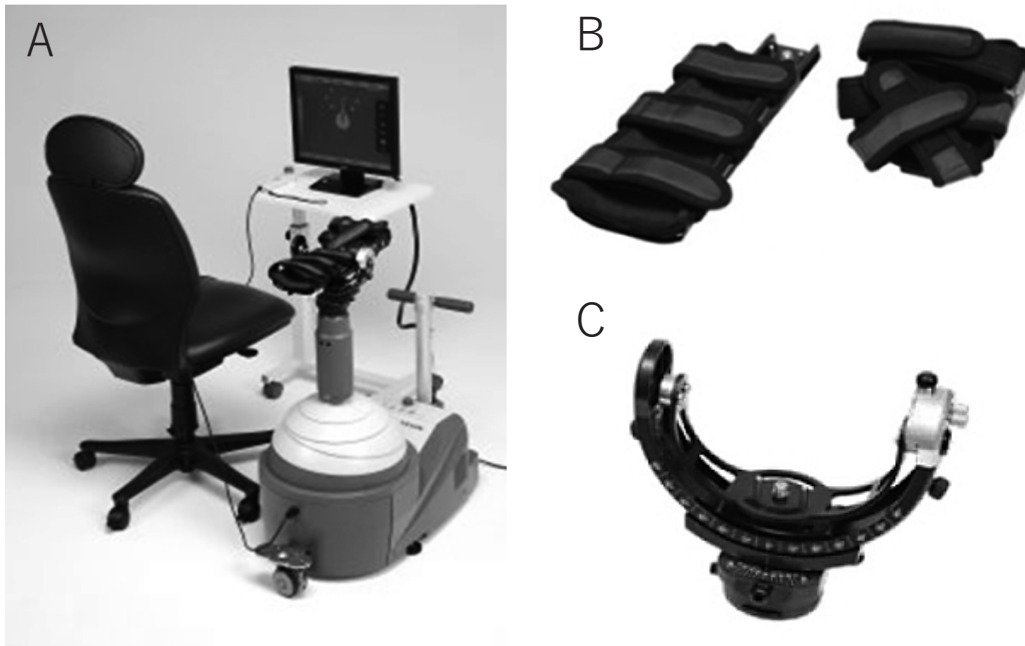


図1 上肢用ロボット型運動訓練装置 ReoGo<sup>®</sup>-J  
 A：全体図， B：ハンドルセット， C：ジャイロアダプタ  
 (TEIJIN Medical Web より引用)

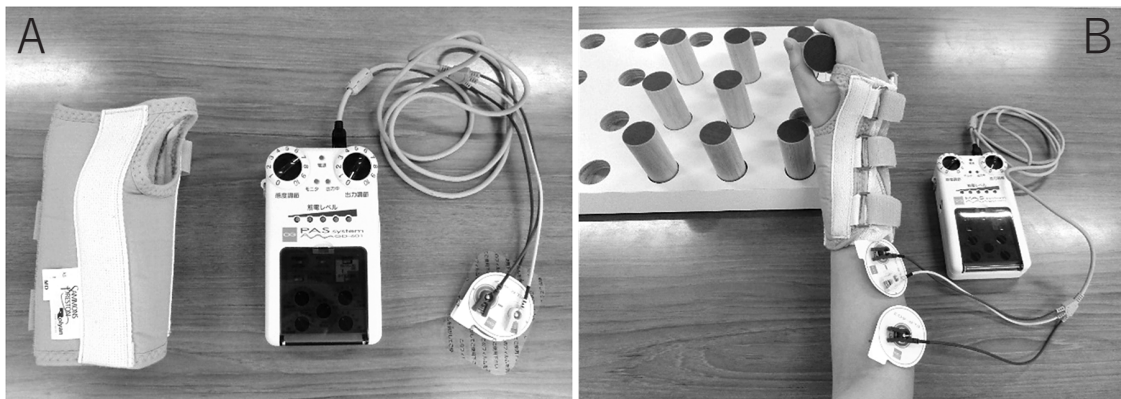


図2 随意運動介助型電気刺激装置 (Integrated volitional control electrical stimulation: IVES)  
 A：(左) 手関節背屈装具， (右) 本体， B：訓練場面

al control electrical stimulation (IVES) や IVES と手関節背屈装具を組み合わせた Hybrid assistive neuromuscular dynamic stimulation (HANDS) 療法が着目されている。IVES は、単純な電気刺激ではなく、患者の標的とする筋の随意的な筋活動量を検知して、それに応じて電気刺激強度が変わる随意運動介助型電気刺激装置である (図2)。国内においては、MURO Solution<sup>®</sup> (パシフィックサプライ)、IVES<sup>®</sup> (OG 技研)、WILMO<sup>®</sup> (酒井医療) 等が臨床で使用している。HANDS 療法は、1日8時間 IVES と手関節背屈装具

を装着し、作業療法 (1日60~90分) と併用し、日常生活の中で、麻痺側上肢を使用させる治療である。報告数はまだ少ないが、RCT によるエビデンスレベルの高い効果は確認されている<sup>3)</sup>。但し、筋活動を認めない患者は適応外となる。

#### IV Brain Computer Interface (BCI)

BCI とは、人体からの測定可能な神経生理学的信号をコンピューターで記録し、出力デバイスを制御するコマンドに変換するコンピューターを使用したシステ

ムを指す<sup>4)</sup>。この技術は、脊髄損傷による四肢麻痺患者の運動野の脳波情報から義手や環境制御装置等を操作する機能代償を目的に開発されたものであるが、近年、脳卒中患者の上肢運動麻痺の機能訓練に応用されるようになってきている。上肢の機能訓練におけるBCIでは、体性感覚運動野近傍の頭皮上から計測される脳波を用いる。患者に意図する運動をイメージさせ、その際に発生する事象関連脱同期を脳波から抽出し、意図した運動イメージに合った動作を作動装置でアシストして行わせる。それにより患者に正しい運動を学習させ、正しい感覚入力により脳の可塑性を誘導する。作動装置としては、前述の支援ロボットや電気刺激装置が用いられ、BCIとこれらの併用による上肢麻痺回復の効果が示されるようになってきている。国内においては、慶応義塾大学医学部リハビリテーション医学教室において、BMI (Brain Machine Interface) 療法として実用化され、効果も報告されている<sup>5)</sup>。また、筋収縮が出現していない重度な運動麻痺の患者であっ

ても導入することが可能であり、重度麻痺患者の治療として期待されている。

## V おわりに

今回、最近の上肢運動麻痺の回復に用いられるデバイスについて紹介したが、従来の徒手的な介入方法と併用が可能であるため、デバイスを導入することは、訓練時間を増加させ、効率よく、効果の高い結果を出すことが期待できる。今後は、脳の障害部位や麻痺の重症度に応じた課題や刺激強度および実施時間等を検討しエビデンスのある結果を蓄積していくことで、より使い勝手の良いものとなっていくと考える。一方課題としては、日常生活動作への汎化の問題がある。単純な運動の機能回復はロボットの得意とするところだが、日常の場面での応用的な上肢の使用に結び付けていくためには、作業療法士による介入との併用が重要となる。

## 文 献

- 1) 道免和久, 吉田直樹: 片麻痺上肢の運動学習を促すロボットリハビリテーション. Jpn J Rehabil Med 54: 4-8, 2017
- 2) Mehrholz J, Pollock A, Pohl M, Kugler J, Elsner B: Systematic review with network meta-analysis of randomized controlled trials of robotic-assisted arm training for improving activities of daily living and upper limb function after stroke. J Neuroeng Rehabil 17: 83, 2020
- 3) 藤原俊之: Hybrid Assistive Neuromuscular Dynamic Stimulation (HANDS) Therapy. Jpn J Rehabil Med 54: 574-578, 2017
- 4) Khan MA, Das R, Iversen HK, Puthusserypady S: Review on motor imagery based BCI systems for upper limb post-stroke neurorehabilitation: From designing to application. Comput Biol Med 123: 103843, 2020
- 5) 里宇明元: Brain machine interface のリハビリテーション医学への応用. 医学のあゆみ 264: 1164-1170, 2018