

新コーナー

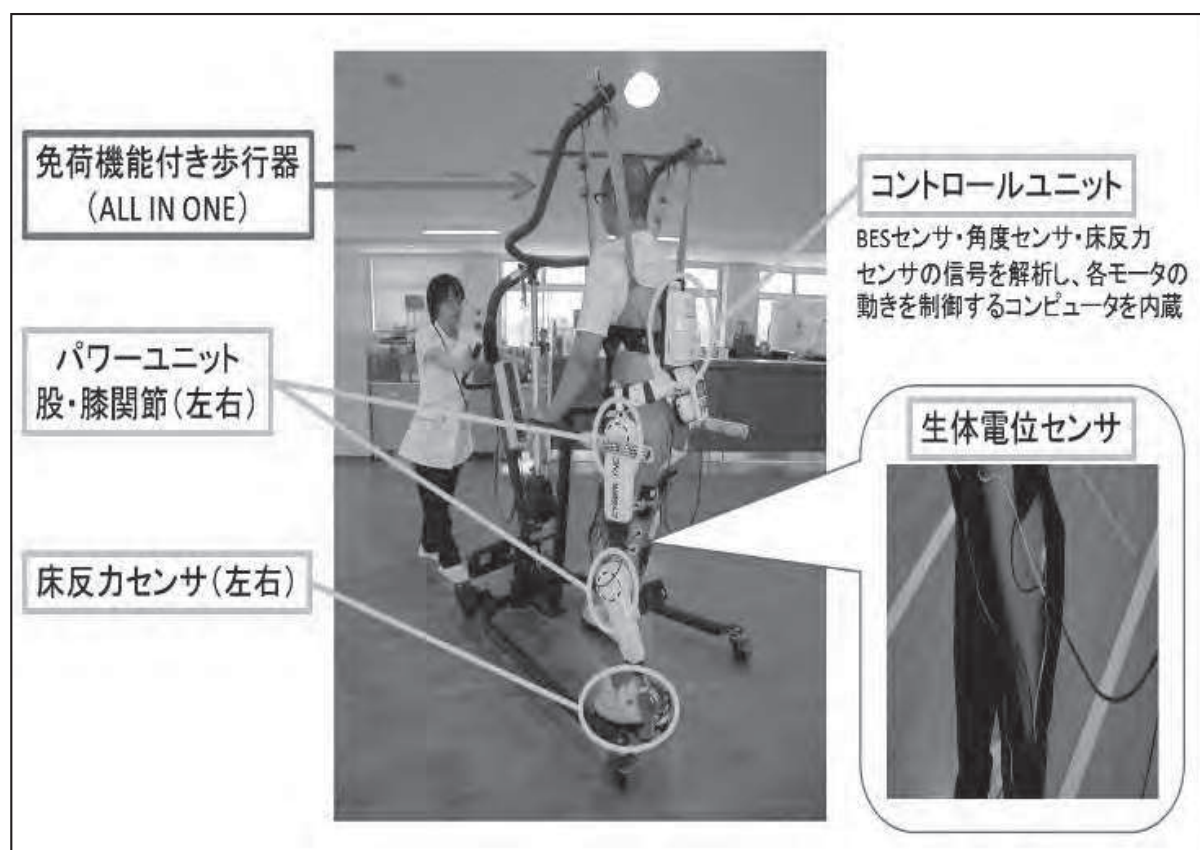
山口県の先端医療は 今…

「ロボットスーツ HAL®」

(医) 社団松涛会安岡病院院長 戸田 健一

HAL®(Hybrid Assistive Limb®) は、茨城県つくば市のベンチャー企業「サイバーダイネ株式会社 (CYBERDYNE)」が研究開発したロボットで、2013 年に世界初のロボット治療機器として認証を取得した。日本では 2015 年に医療機器として

薬事承認され、2016 年から神経・筋疾患である 8 疾患、①脊髄性筋萎縮症 (SMA)、②球脊髄性筋萎縮症 (SBMA)、③筋萎縮性側索硬化症 (ALS)、④先天性ミオパチー、⑤シャルコー・マリー・トゥース病 (CMT)、⑥遠位型ミオパチー、⑦封



「HAL 操作説明」

前方から転倒防止目的の免荷機能付き歩行器 (ALL IN ONE) を操作し、後方よりコントローラーでアシスト量を調整しながら歩行運動を実施。装着者の皮膚表面 (股屈伸筋群・膝屈伸筋群) に貼付した電極から生体電位信号 (BES) を検出し、床反力および体幹・下肢の角度センサーから得られる情報と併せて股・膝関節のパワーユニットが駆動する。

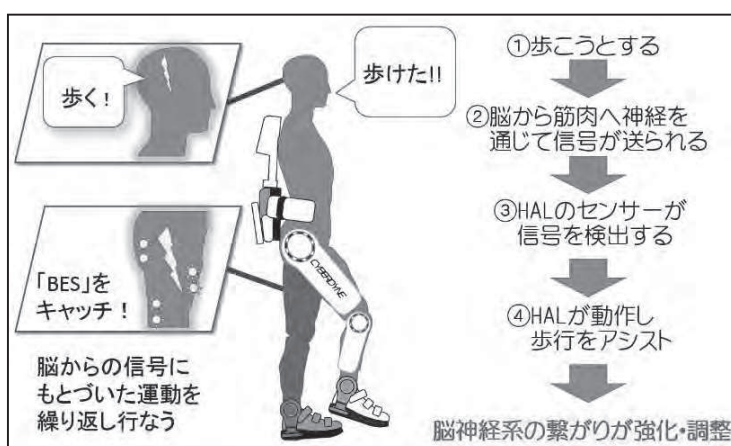
入体筋炎（IBM）、⑧筋ジストロフィー（MD）に対して医療保険が適用となった。現在、HTLV-1 関連脊髄症（HAM）等の脊髄障害や脳卒中に対しての適応拡大治験も行なわれており、海外では既に、脳卒中や脊髄損傷に対して良好な治療効果が報告されている。脊髄損傷患者に対する HAL の効果は、動画（<http://www.neurology.org/content/83/5/474/suppl/DC1>）で確認できる。

HAL は、開発者である山海嘉之（筑波大学）が提唱したサイバニクス治療により、脳内の神経可塑性の促進を目的としており、ニューロリハビリテーションの一種である。サイバニクスとは、ヒトと機器を直接接続し、リアルタイムに情報交換をすることで、ヒトを支援する技術概念のことであり、その中核をなすのが、iBF（インタラクティブバイオフィードバック）である。これにより、装着者の意図を読み込んで、末梢からの指令を適切な情報に調整し、装着者に情報が返ってくるといった双方向のフィードバックが行なわれ、正しい動きが成功する、次もうまくいくことが予測できるということを反復すると、中枢神経である脳が学習して、脳・神経機能が強化・再構築されると考えられている。

HAL は、① CVC：サイバニック随意制御、② CAC：サイバニック自律制御、③ CIC：サイバ

ニックインピーダンス制御の 3 種類がハイブリッドされることで動作している。ヒトが身体を動かそうとすると、脳から脊髄・運動神経を通じて筋へ信号が伝わる。CVC により、その際に皮膚表面に出現する微弱な生体電位信号（BES）を皮膚に貼ったセンサで運動現象よりも早期に検出し、荷重・角度センサから得られる情報を複合して、各関節に配置されたパワーユニットを駆動させることで、装着者の意思に沿った動きをアシストする。運動発現時には CAC により、自動的に内部の運動データベースを参照し、誤りのない正確な歩行動作パターンが作動し、CIC により、重量感（14kg）は感じることなく、成功したという感覚を実感して、歩行動作が実現する。このループを繰り返すことで、脳活動と運動現象が疲労なく反復でき、報酬系も合わさることで、HAL を外した後も、運動学習効果が維持され、HAL なしでも歩ける可能性が現れる。脳機能の経時的変化を観察する為に、HAL 治療前後での functional MRI を施行した結果、一次運動野の賦活がより限局され収束していくことが報告されている。

当院では 2016 年に医療用下肢タイプを県内で初めて導入し、これまでに神経・筋疾患を中心に治療を行なっている。実際の治療は、ホイストを用いて転倒予防をした上で、前方から免荷機能



「HAL 動作原理」

歩こうとすると脳・脊髄・末梢神経・筋肉へ電気信号が伝わり、皮膚表面から生体電位信号（BES）が現れる。HAL は、神経・筋疾患患者の微弱で不揃いな BES でも感度良く検出し、HAL 装着者にベストな歩行動作をアシストする。

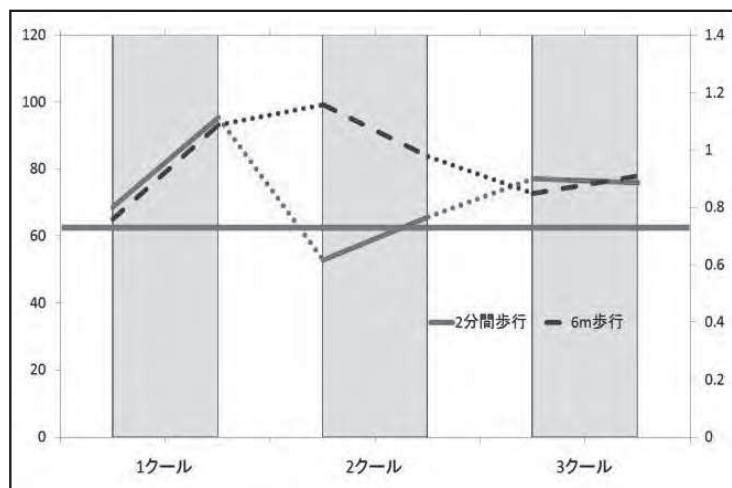
付き歩行器 ALL IN ONE を操作し、装着者と会話をしながら、後方からコントローラーにて調整を行なう。1 回 30～60 分（装着時間込み）の歩行運動療法を 5 週間程度の間に 9 回行ない、HAL を装着する前と後に、歩行の耐久性とスピード等を評価することで効果判定を行なっている。週 2 回以上の使用が推奨されており、利用者と相談しながらスケジュールを立てている。利用は、利用者の選定を脳神経内科医とリハビリセラピストにて行ない、診察・面談後に入院か通院により対応している。

症例紹介。20 歳代男性、6 歳で先天性ミオパチーの診断を受け、

呼吸不全に対して 24 時間 BiPAP を使用し、日常の移動は電動車椅子を自走している。各クール間は 4～6 ヶ月で、他病院で 1 回、当院で 2 回、計 3 クールの HAL 治療を実施した。歩行運動療法中はモニターで SPO2 や HR の管理を行なった。HAL 装着前後の歩行機能評価は、2 分間歩行：1 クール目 68m → 95m、2 クール目 53m → 65m、3 クール目 77m → 76m、6m 歩行：1 クール目 7 秒 → 5 秒、2 クール目 5 秒 → 6 秒、3 クール目 7 秒 → 6 秒という結果であった。1 クール内での数値の上下はあるものの、HAL を使用する 6 カ月前と比較すると歩行の耐久性・スピードともに維持できており、HAL による進行抑制効果があったといえる。3 クール目終了時には「HAL を外した後の足の軽さが出現した」との感想であった。

このように HAL を使用することで、HAL なしでは実行し得ない練習量を疲労なく実施できるだけでなく、動作の反復による運動学習を通して歩く感覚が蘇り、再び歩くことができ、活動・参加の幅が広がり、QOL の向上が図れるといっ

た、精神面に対する効果が最もドラマティックであるといえる。また、意思伝達装置やバイタルセンサーとしての活用や、薬剤との複合療法による長期効果の検証も行なわれており、今後も活用の幅が広がっていくと考えられる。



「治療効果」

治療前後で HAL を装着していない状態で計 3 クール分の歩行機能（2 分間歩行距離・6m 歩行速度）を評価。1 クール（距離↑・速度↑）、2 クール（距離↑・速度↓）、3 クール（距離↓・速度↑）と数値の上下はあるものの、1 クール目開始前と 3 クール目終了後と比較（横線—）すると、歩行機能が維持・改善されている。

表紙写真の募集

山口県医師会報の表紙を飾る写真を随時募集しております。

アナログ写真、デジタル写真を問いません。

ぜひ下記までご連絡ください。

ただし、山口県医師会会員撮影のものに限ります。

〒753-0814 山口市吉敷下東3-1-1 山口県医師会総務課内 会報編集係

E-mail : kaihou@yamaguchi.med.or.jp