

## Special 特集：医療に貢献するロボット技術

# 医療分野に貢献するロボット技術。 新しい治療に積極的にチャレンジ。

CASE  
01

## 新潟病院

### ロボットスーツ「HAL」による機能再生治療。 新しい発想のリハビリに取り組んでいます。

#### HALの開発に関わるきっかけ

当院では神経・筋疾患や脳卒中の片麻痺による歩行不安定症に対して、ロボットスーツ「HAL」を使用したリハビリテーションを積極的に実施しています。HALは「動きたい」という運動意図を皮膚表面に貼り付けた電極を通して読み取り、動作をアシストする着用型のロボットです。歩行障害のある方に、より安全に自分の思い通りに足が動かせる感覚を感じていただきながら運動学習を促し、立ち上がりや歩行などの改善を図っています。患者さんの半数が県外の方で、医療用HALに関しては国内のリーダー的存在といえるでしょう。

私は神経内科医ですが、医薬品医療機器総合機構（PMDA）の専門委員を務め、臨床試験の審査に長く関わりました。また、厚生労働省

の研究班の研究代表者として、臨床評価指数であるQOLの研究にも取り組み、臨床遺伝専門医として遺伝子研究にも携わっています。

HALに関わるきっかけは、2004年、当院に赴任した頃、筑波大学教授でサイバダイン社CEOの山海嘉之先生と知り合ったことでした。HALは筑波大学で発明されましたが、治験ができませんでした。大学病院では新しい医療機器の治験が非常にやりづらいんです。特にリハビリに使う医療機器の場合、ほぼ不可能だと分かって、山海先生に当院ならできますよと申し出たのです。

#### 神経系のネットワークを再構築

機械が人間に組み込まれて、思い通りに動かせるなら可能になることがたくさんあります。人間の意思を伝えるにはなんらかの電線が必要ですが、力学的な効果を及ぼすこともできます。では、サイボーグ技術で医療機器をつくるなら、脳や脊髄など運動神経を障害された人にはどう使えばよいのか。普通は義手や義足のような補装具を考えますが、もっと違う活用方法はないだろうか。

この100年、脳や脊髄、神経系は生まれて成長すると死ぬまで変わらないと考えられていました。脳に障害を受けたり、病気になったりすると神経細胞は生き返らない。もうダメだと。それで、この領域の研究はストップしてしまいました。私も大学にいたら、ずっとそう信じたままだったでしょう。

ところが、当院に来て違うアプローチがあると分かった。サイボーグ型のロボットをつくって脳神経系を配線し直す。神経系のシナプスネットワークを再構成する治療が可能ではないかと気づいたんです。山海先生もそう考えました。明確に仮説化するのには難しかったのですが、歩行に問題



壁にデザインを施した病棟

がある人に両下肢モデルのサイボーグ型ロボットを装着して練習していただき、外すと良くなっていることを治験で証明しようとしていました。

日本の法律では福祉用具を機能回復訓練に使うのは問題ありません。福祉用具はPL保険と医師の賠償責任保険があれば病院で使えます。それで少しずつデータを取っていきました。医療機器として申請する治験に取り組む前にパイロット研究をしたんです。

するとびっくりする現象が起きた。神経筋疾患で運動ニューロンや筋肉が弱っている人が着けて練習しただけで、歩行スピードも持久力もアップするんです。3年間リハビリしてきた脊髄損傷の人がたった2週間HALを装着しただけで劇的に良くなった。

絶対に医療機器にすべきだと思いました。HALは大学発のベンチャー、サイバダイン社で製造していますが、そこで治験はできません。私はPMDA専門委員の経験から難病用に目標を定めました。理由の1つは性能の向上です。難病の方は脆弱で障害も強いので動きにくく危険もあります。そんな患者さんが使えるモデルを開発する



新潟病院 院長

中島 孝



#### 新潟病院 DATA

■所在地  
〒945-8585 新潟県柏崎市赤坂町3-52  
<http://www.niigata-nh.jp>

■病床数  
350床（一般病床118床／重症心身障害116床／筋ジス116床）

■診療科目  
内科／神経内科／小児科／外科／整形外科（入院患者のみ対応）／脳神経外科／リウマチ科／放射線科／リハビリテーション科／歯科（入院患者のみ対応）／心療科

#### 理学療法士の声

### HAL導入で積極的なアプローチが可能に。 患者さんのモチベーションが上がります。

立位・歩行困難な方に対して、今までの理学療法では、平行棒や起立台で立たせるのが限界でした。HALを使うと、歩行という動きを体験させてあげることができます。数mしか歩けない方が20分も歩け、汗をかくほどの運動になる。患者さんが「久しぶりに歩いた」「歩く感覚が嬉しい」とおっしゃって、非常にモチベーションが上がります。

神経難病だけでなく、脳卒中の急性期や脊髄疾患の患者さんに対しても、HALを導入することで、より早期から積極的なアプローチができるようになったと感じています。良い姿勢で

新潟病院 理学療法士  
猪爪 陽子



動けるので、正しいボディイメージが思い出せ、車椅子操作がうまくなったり、立位・歩行がスムーズになったりします。

取り扱いが少し大変で、時間も手間もお金もかかりますが、理学療法の幅が広がり、患者さんにとってのメリットは大きいと感じています。当院では、医療従事者向けに研修を用意してノウハウや情報をお伝えしています。HALがさらに広く使われるようになればと願っています。

には高い技術が必要です。また、難病に対するものなら「希少疾病用医療機器」として研究費の支援が受けられます。審査過程がかなり短縮されるうえ、企業側も優遇されます。

もう1つ、希少疾病は症状が純粹です。脳卒中や脊髄損傷は病巣部位やレベルで症状が異なりますが、筋ジストロフィーやALSは違うように見えて、症状的に純粹な症状になるのです。難病用なら少数例から始めてノウハウをじっくり積み上げられると考えました。

### 劇的な効果で患者さんが前向きに

HALを装着すると劇的に歩行が楽になるので患者さんには非常に喜ばれます。継続したいという方がほとんどですね。日本では当院を中心に、NHOが協力した治験結果により神経系8疾患が認可されています。

また、脳血管障害の回復期に単脚のHALが使えるのではないかと考えています。それが終われば急性期にもあげていきたいですね。日本のロボット技術の粋を集めた医療機器の治験を行い、治療できることに誇りを感じています。学問だけに終わらず、日本の産業で世界に貢献できるんですから。

### 今後ますます広がるHALの可能性

私は1987年から2年半、アメリカに留学しました。神経系に発現するc-fosという、がん遺伝子の研究をしていて、脳の可塑性に関する遺伝子として自由に発現していることを発見したんです。脳はすごく可塑性の高い臓器なのに、みんなは可塑性がないと信じている。「神経系は再生しない」という点に関しては懐疑的でした。

さまざまな幹細胞研究が発表されていますが、細胞だけ再生させても意味がないんです。機能の再生にはネットワークが再生されなければいけない。細胞と機能再生は今後とても重要になってくるでしょう。

骨折した後に機能が回復するのは当たり前ですが、神経が損傷した場合はリハビリをしても機能は回復せず、治らないと思われていました。ところが、神経系のネットワークを配線直すことで機能が再生するという治療は画期的です。まだ誤解がありますが、ロボットが理学療法士の仕事を代行するものではありません。それでは全然、インペーティブでもブレイクスルーでもないんですよ。

人工知能もそうですが、悪いパターンを反復すると再学習してしまう。病気のせいで身体の悪い使い方を反復するとリハビリをしてもさらに悪くなり、良くならない。見かけだけでなく神経回路が本質的につくり変えられてしまうんです。骨折して歩き

方がおかしくなるのは身体の使い方を忘れてしまうから。でもHALを使えば、正しい歩き方ができるようになります。

いま注目されているのはひざの手術です。私はやっていませんが、動かし方を忘れていたので関節を置換しても伸展・屈曲ができない。リハビリするのは大変ですが、HALを着けると自分の意思通りに、一瞬にして動かせるようになります。再学習させれば、あとは無意識でできるようになるんです。

歩行運動中枢が脊髄にあることが分かり、うまく活性化すると歩けるようになります。遺伝的に組み込まれているので、再学習どころか1回も歩いたことがない筋ジストロフィーの人でも歩ける可能性はあるんです。

当院では遺伝的な疾患でHALの治験をしました。臨床遺伝指導医が次世代シーケンサーを使って、6,000ぐらいの遺伝子異常を2日で解析します。私自身、臨床遺伝専門医で、アメリカに留学して正当な研究や研修を受けて大学を卒業しましたが、NHOでも、現場の臨床から研究することになった。それが全部HALの治験に生きたんですね。目の前の患者さんの問題を解決するには大学だけでは無理です。一方、単に治療しているだけの医療でもだめで、臨床研究が必要ですから若手を留学させるシステムは非常に大切です。現場から生まれるクエスチョンを正当なサイエ

ンスにしていくことが重要でしょう。PMDAに行くのも勉強になりますから、NHOからどんどん行ってもらいたいですね。

HALの可能性は広がっています。たとえば昨年、アメリカで脊髄性筋萎縮症に対する核酸医薬が認可され、HALが保険適用になりました。髄注の薬を打ってHALを着けると幼い子どもにも劇的な効果があります。今は下肢だけですが、将来は上肢や指も可能になるでしょう。今後、運動機能に関しては、HALと医薬品、幹細胞治療がメインストリームになると思います。薬や幹細胞治療だけでは完全には治りません。運動を再学習するための医療機器としてHALがますます活躍すると思っています。



急性期病棟の小児のプレイコーナー



HALを使用した歩行運動療法の様子

CASE  
02

## 北海道がんセンター

普及が進む手術支援ロボット「ダヴィンチ」。根治性が高く機能障害が少ない手術を目指して。

### 開腹から腹腔鏡、そしてロボットへ

当院の高度先進内視鏡外科センターは、ダヴィンチが導入されたのを機に設立されました。泌尿器科だけに限らず、複数の科での運用が必要になったからです。

開腹手術から腹腔鏡手術へ移行する際はトレーニングが結構必要でした。手首のない細長い道具を使うため、慣れるまでかなり時間がかかったんです。切開は比較的簡単ですが、縫合は手首がないと難しい。しかし、ダヴィンチはアームに手首があり、三次元で見えるので、以前より訓練期間が

短縮されています。たとえば、腹腔鏡が100回必要だったとしたら、20回程度で上手になる。あくまで数字的な比較ですが、5倍早く養成できるようになった印象です。

### 保険適用後、一気に普及した腹腔鏡

日本で腹腔鏡手術が実施されるようになったのは1991年頃で、私自身が関わったのは1993年ぐらいからです。患者さんの負担を軽減し、機能を温存する手術を追求するのが医師としての務めですから、侵襲の後遺症や機能の低下を極力防ぐため

には腹腔鏡はやりたい、やるべき手術だと考えて取り組みました。その後、当院に赴任してロボット手術も行うようになったんです。

ダヴィンチはアメリカで開発され、非常に普及しましたが、日本では審査が厳しく、研究目的でしか使えない時期が長かった。臨床応用が認められ、2012年に保険認可になってから全国に一気に広がりました。

泌尿器科では保険認可が前立腺と腎臓に限られていましたが、今春から適用範囲が広がりました。一方、これまでダヴィンチを使う手術は点数的

に多少優遇されていましたが、今後は同じ金額しか請求できません。ダヴィンチのアームは1本約30万円、複数回使うとはいえ、1回の手術につき、5～6本必要なのでかなり道具代がかかります。経営面との兼ね合いが悩ましいですね。

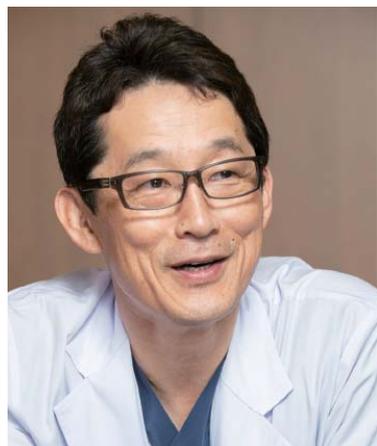
アメリカでは前立腺手術の8～9割がロボット手術で、開腹や腹腔鏡と金額は同じだそうです。経営的には開腹のほうがコストはかかりません。しかし、患者さんはロボット手術ができる病院を選ぶようになります。他の領域でも同様の動きが出てくるのではないでしょうか。新しい医療技術や薬には魅力を感じるものです。同じ金額ならロボット手術を選ぶでしょうね。

### ダヴィンチでの手術は意外に孤独

手術に関しては傷を小さく、数を少なくという流れがあります。ただ先日、腎臓の手術をしましたが、現行のロボットでは、穴が6つ必要です。腹腔鏡だと4つでできますが、アームの動きに制限があるので、穴を2つ余計に開けなければいけない。ただし、最新の機械は自由度が高く、1つの穴からアームが全部入り、進化しています。

当院では去年ダヴィンチで110症例の手術を行いました。内訳は泌尿器科90、婦人科15、外科5です。婦人科と外科はまだ保険適用ではなかったの制限がありました。

診療にコンピュータが取り入れられる時代ですが、ロボット手術も同じです。次世代の機械では顔を離すだけでなく、カメラの視野から手が外れるだけでロックがかかって動かなくなります。安全装置の精度が上がっていて、誤作動の防止や安全面ではコンピュータのアドバイスは役立つので、どんどん活用すべきだと思うのですが、コンピュータのアシストだけを信用していると痛い目にあります。手順や手技だけでなく、人間の勘というものは決して侮れません。ロボットやAIにはない生命体としての勘は絶対に失わないでほしいですね。



北海道がんセンター  
高度先進内視鏡外科センター長兼泌尿器科医長

## 原林 透

### 北海道がんセンター DATA

■所在地  
〒003-0804 北海道札幌市白石区菊水4条2-3-54  
<http://www.sap-cc.org>

■病床数  
520床

■診療科目  
循環器内科/呼吸器内科/消化器内科/血液内科/精神科  
緩和ケア内科/感染症内科/消化器外科/乳腺外科/腫瘍整形外科/形成外科/脳神経外科/呼吸器外科/心血管外科/皮膚科/泌尿器科/婦人科/眼科/頭頸部外科/放射線診断科/放射線治療科/麻酔科/病理診断科/臨床検査科/リハビリテーション科/歯科口腔外科

私は開腹、腹腔鏡、ロボット手術と経験してきましたが、現在、開腹手術は年間1割程度です。これから泌尿器科医になる人は開腹手術を見る機会がほとんどないかもしれません。今後はロボット手術主体で教育していく。時代はそういう流れですね。

開腹手術のメリットは共同作業ができることです。開腹して3人ぐらいで分担しながら進めていくので、若い執刀医でも上級医がフォローするという連携ができました。

しかし、ロボットだと手術位置に1人しかいられません。反対側ではできることが全然違うので立場の切り替えが難しい。慣れてくるとパターン化して退屈しますし、無口な術者と助手、看護師だと会話がまま進みます。チーム医療が推奨される一方、手術ではまったく連動しない。そのため、私自身はあえて話すようにしています。アイコンタクトもできないので、声を出すしかない。意識的にコミュニケーションを取ることが大事だと感じています。

### 患者さんのためになる質の高い手術を

初めから、当院の高度先進内視鏡外科センターのような部門での研修を希望する研修医は多くありません。ですが、むしろ別の部門を経験してからの方が良いとも思っています。がん治療における技術だけでなく、低侵襲と機能温存、手術に対する考え方などを幅広く教えていきたい。手技だけでなく、なぜそうするのかという、ベースにある考え方を含めて指導する施設だと考えています。

初期研修を終え、がん治療に取り組みたい3～5年目の後期研修医にはとても勉強になるでしょう。外科医のなり手が減っているとされますが、病気を手術で治す医師は絶対に必要です。今後は腹腔鏡とロボットが主流で、難しい手術が開腹になる時代です。シュミレーションできるロボット手術で経験を積み、数少ない開腹手術のノウハウは数少ない経験を濃厚に次の世代につなげていくしかないでしょう。開腹、腹腔鏡、ロボットと過渡期を経験したからこそ、伝えられることがあると思います。

患者さんのためになるクオリティの高い手術を提供するため、技術や考え方を後進にどう伝えていくかが今後の課題です。後期研修医が自立できるように腹腔鏡やダヴィンチでの手術をしっかり指導したいですね。



新病院(工事中)



ダヴィンチによる手術の様子①



ダヴィンチによる手術の様子②