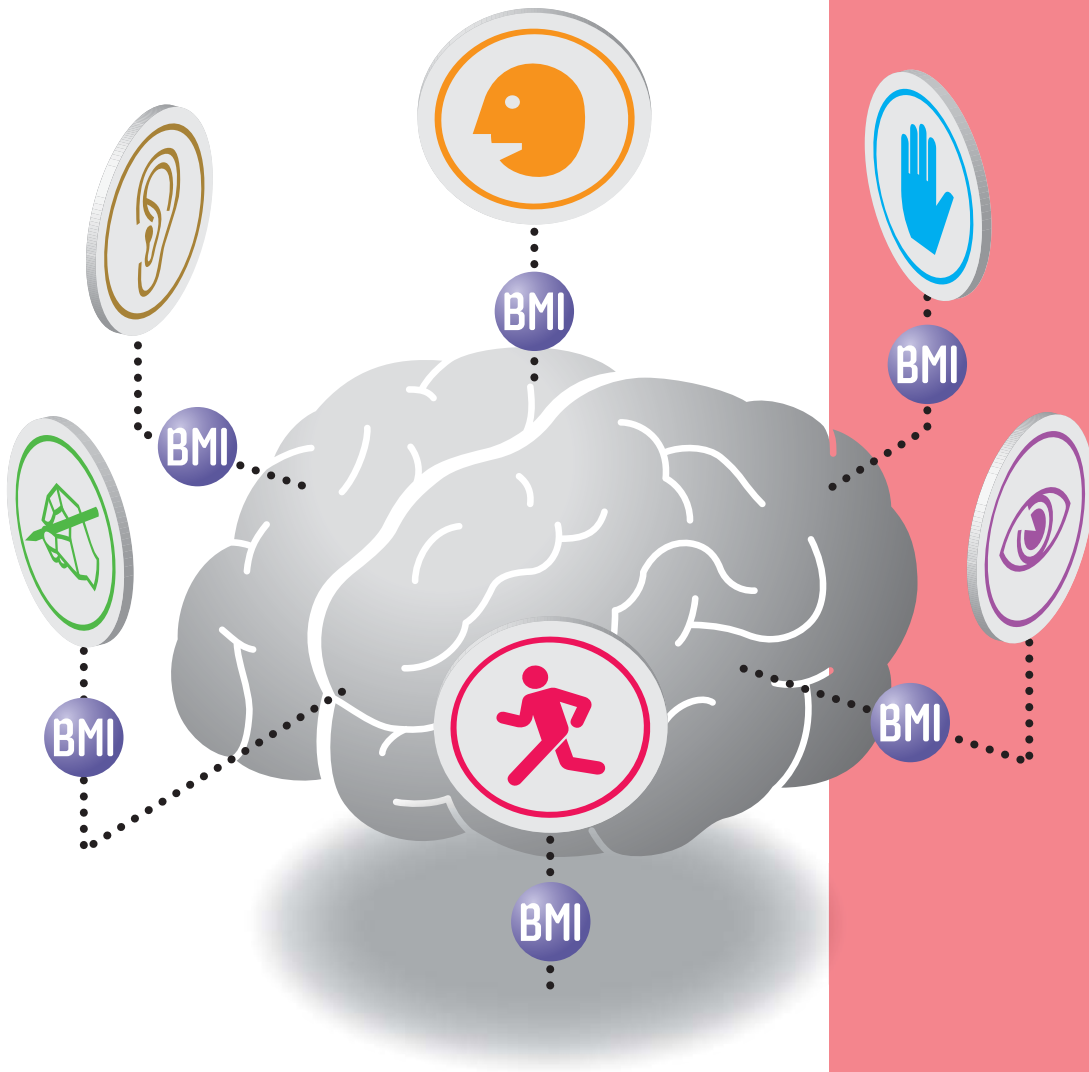




ブレイン・マシン・インターフェースの 実用化に向けて — 利用者・市民の立場から



Brain- machine Interface

脳科学研究戦略推進プログラム
ワークショップ報告書

2012年9月29日(土)開催
東京国際フォーラム

主催: 文部科学省「脳科学研究戦略推進プログラム」

目次

講演 ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)の 実用化に向けて:どこまで進んだか

講演1

BMIリハビリテーションの新たな可能性 01

慶應義塾大学医学部 里宇 明元

講演2

低侵襲型BMIによる運動、コミュニケーションの再建 04

大阪大学大学院医学系研究科 吉峰 俊樹

講演3

非侵襲型BMIによる障害者自立支援 07

国立障害者リハビリテーションセンター研究所 神作 憲司

パネルディスカッション 実用化に向けての期待

パネリスト発表 10

総合討論 14

体験展示 17

BMIリハビリテーションの新たな可能性

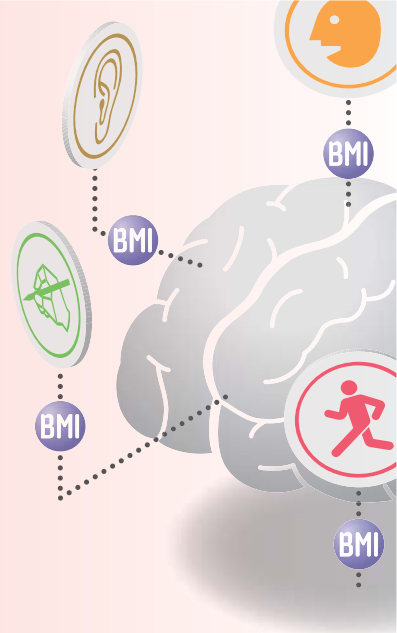


里宇 明元 (りう めいげん)

慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室 教授

略歴

1979年3月 慶應義塾大学医学部卒業。1984年6月 米国ミネソタ大学リハビリテーション科レジデント研修。1987年3月 日本リハビリテーション医学会専門医取得。1989年1月 医学博士号取得(慶應義塾大学)。2002年5月 慶應義塾大学医学部助教授(リハビリテーション医学)。2004年4月より現職。2008年6月～2012年5月 日本リハビリテーション医学会理事長。専門はリハビリテーション医学。特に運動生理学、中枢神経可塑性。現在はブレイン・マシン・インターフェース、宇宙医学に関心を持つ。



本日は、ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) がリハビリテーション (リハビリ) にどのようにいかせるかについて、文部科学省「脳科学研究戦略推進プログラム (脳プロ)」で行ってきた研究を中心に御紹介いたします。

リハビリ治療とBMI

リハビリ治療では、障害の予防、回復、代償をバランスよく組み合わせ、チームで対象者の機能の向上・生活の自立・QOL (生活の質) の向上・社会参加を目指します。私たちは、脳機能の一部と機械を融合させ、念じただけで外界を操作する技術であるBMIが、失われた機能の代償、回復によりリハビリの目的の実現に役立つことを期待し、研究を進めてまいりました。

脳プロにおけるBMI研究

脳プロ課題Aでは、脳情報を低侵襲的もしくは非侵襲的に解読し、身体機能の回復、補完を可能とするBMIを開発して臨床応用することを目指しています。全国の基礎研究、技術開発、臨床応用の研究者がチームを組み、2008年から5年間、研究を進めてまいりました。

慶應義塾大学では、緊密な医工連携の下に非侵襲型BMIの臨床応用に向けた研究を進めています。これまでに、機能代償型BMIに関しては、脳波を使用し、手足の不自由な方が思っただけで「セカンドライフ®」(米リンデン・ラボ社が開発したインターネット上の仮想空間)のキャラクターを操ることを可能にしました。機能回復型BMIに関しては、重度片麻痺の回復を促すBMIリハビリ

手法を開発しました。

機能代償型BMI

まず、機能代償型BMIですが、通常、「セカンドライフ®」内のキャラクターはキーボードで操作しますが、私たちは、脳波からイメージの内容を解読し、キャラクターの動きを制御する方法を開発しました。被験者が足を動かすことをイメージするとキャラクターが前進し、左手を動かすイメージでは左に、右手を動かすイメージでは右に曲がります(図1)。このシステムを在宅の筋ジストロフィーの方に実際に使用していただき、「セカンドライフ®」の中で待ち合わせするという実証実験を行ったところ、キャラクターを動かし、出会うことができました(ビデオ上映)。

このように、機能代償型BMIは、失われた機能を補い、生活を豊かにするための技術と言えます。

上肢麻痺の治療とBMI

機能回復型BMIについては、脳卒中を対象に研究を進めています。脳卒中後、60%の方は歩行や日常生活が自立されるのに対し、手が実用的に使えるようになる方は20%と限られています。麻痺手の回復は難しいと考えられ、従来のリハビリでは、利き手交換(非利き手で字を書く練習)や、両手動作を片手でやるなどの代償的アプローチが中心でした。ところが近年の神経科学研究は、成熟脳にも可塑性があることを示しており、麻痺そのものの回復を促すアプローチが注目されています。

その一つに、私たちが開発したHANDS (Hybrid

Assistive Neuromuscular Dynamic Stimulation) 療法があります。これは、脳卒中になると麻痺した手指をグッと握りしめて開くことができない方が多いことから、指を開く筋肉を電気刺激で補助して使いやすくする装置です。日中起きている間はずっと装着していただき、日常生活での使用を促します。既に200例以上の経験があり、その有効性を論文でも報告しています。指を伸ばす筋肉の筋電が記録できる方であれば使えるので、比較的重度の方にも適応可能ですが、筋電を記録できない完全麻痺の方には使えません。そこにBMIの役割があると考え、研究を進めてまいりました。

機能回復型BMI

私たちは、BMIニューロフィードバックを用いて重度麻痺の治療を行っています。すなわち、ほとんど指を伸ばす筋肉の活動が見られない重度の方に、コンピュータスクリーンの前で、麻痺した指を伸ばすことをイメージしていただきます。そのときに起こる脳波変化を捉え、うまくイメージでき

ると、星印のカーソルが青いエリアに移動します。すると、麻痺手に装着した電動装具により指が開くというシステムです(図2)。イメージに伴う脳波変化の視覚的フィードバックと、指が実際に開かれることによる体性感覚のフィードバックを与えることにより、当初、記録できなかった筋電がリハビリ後にははっきりと記録され、筋肉が働くようになります。さらに、イメージしても変化しなかった脳波が、大きく変化するようになります。このように、BMIリハビリにより、麻痺手に筋活動が誘発可能なことを実証したのは世界で初めてです。脳血流の変化をfMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 機能的磁気共鳴画像) で見ると、最初には変化がありませんでしたが、リハビリ後は運動に関わる領域の血流が増えていることが分かりました(ビデオ上映)。

8名の方での治療成果ですが、当初指を開こうとしても筋電が全く記録できなかった6名中4名で筋電が記録できるようになりました。また、筋肉が過剰に収縮してうまく握ったり開いたりできない方が、リラックスして開けるようになりました。慢性期に関わらず、麻痺や手指の突っ張り

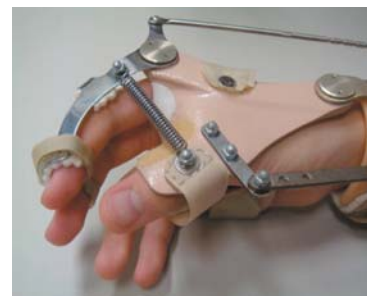
図1 機能代償型BMI



頭皮上脳波から脳活動を
非侵襲的に解読

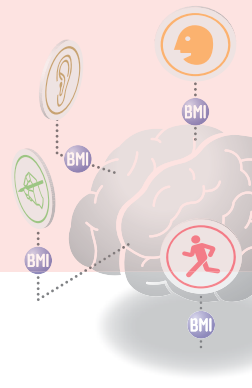


「エージェント制御システム」
(インターネット上仮想現実社会「セカンドライフ®」
のキャラクターを操作)



「上肢把持装具の制御システム」
(麻痺肢に装着した電動式装具を念じる
だけで操作)

頭皮上脳波から高い精度で運動イメージに関連した情報を取り出す信号処理方法を考案し、インターネット上の仮想世界である「セカンドライフ®」内のキャラクターの制御及び、脳波BMIにより手関節と手指を動かすことが可能な電動装具の開発に成功した。



が改善した方が5名、日常生活における上肢の使用が増えた方が5名おられました。現在、10日間の入院で集中的なBMIリハビリを行い、その効果を検証しています。

BMIのリハビリへの応用

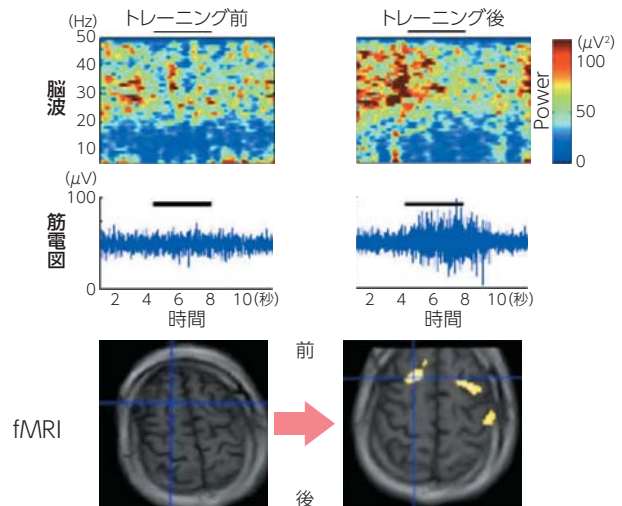
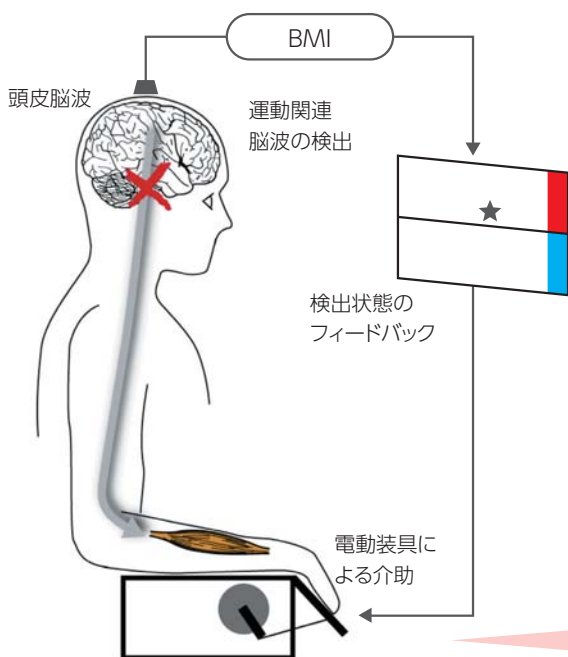
麻痺手に対するリハビリ戦略ですが、指を一本一本動かせる方は、従来のリハビリまたは麻痺のない側の手を抑制して麻痺手の使用を促す抑制療法の対象となります。指が一本一本動かせない方は、指を伸ばす筋肉の筋電が記録できれば、電気刺激で補助するHANDS療法の適応となり、筋電が記録できない重度例の場合には、BMIを使用して筋活動の誘発を試みます。それにより筋電が記録できるようになれば、HANDS療法に移行します。このように、BMIの導入により、軽度から重度までの手の麻痺に対応できる可能性が広がってきています。

今後の展望

BMI研究はまだ途上ですので、本当に効果があるかを確認するため、現在、無作為化比較試験を行っています。また、実用的なBMIシステムの開発に向け、実際の訓練場面で使えるシステムを試作し、その効果を検証しています。旧タイプのBMIと比較すると、麻痺の回復度合い及び、日常生活での上肢使用の増加がより大きいという結果が出ています。今後、電池で動き、脳波電極をヘッドフォンのように簡単に装着でき、ワイヤレスでどこでも使える製品を開発する予定です。これが実現すれば、ネットワークを利用して在宅やクリニックでリハビリをしながら、専門機関と連携して先進的リハビリを受けることができるようになりますと期待しています。

本日、利用者の立場からのいろいろなお話を伺い、引き続きできる限り臨床で役立てられるよう、これからも研究を続けてまいりたいと考えています。御清聴ありがとうございました。

図2 機能回復型BMI



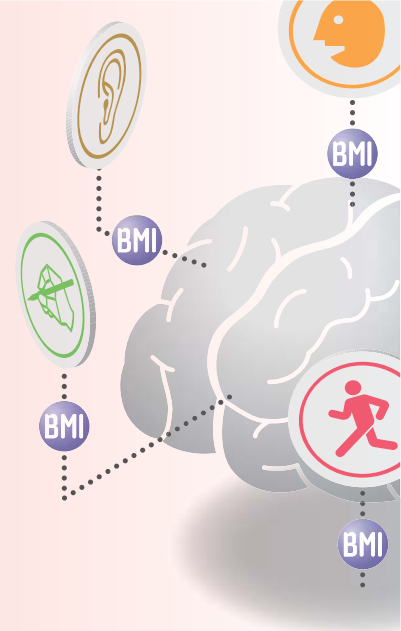
麻痺側の指を伸ばそうとイメージした時の脳波変化を視覚的にフィードバックし、うまくイメージできた判断された際には、麻痺側手指を電動装具で伸展するシステム。トレーニングにより運動企図時の脳波変化の増強と手指伸筋の筋活動の誘導が確認された。

低侵襲型BMIによる 運動、コミュニケーションの再建



吉峰 俊樹 (よしみね としき)
大阪大学大学院医学系研究科脳神経外科 教授

略歴
1975年3月 大阪大学医学部卒業。1975年4月 大阪大学医学部付属病院 研修。1980年7月 米国メーヨークリニック神経科 研究員。1987年2月 大阪大学脳神経外科 助手。1994年6月 大阪大学脳神経外科 講師。1995年8月 文部省長期在外研究員(ドイツ、米国)。1998年12月より 現職。2008年6月より筑波大学大学院システム情報工学研究科 客員教授(兼任)。



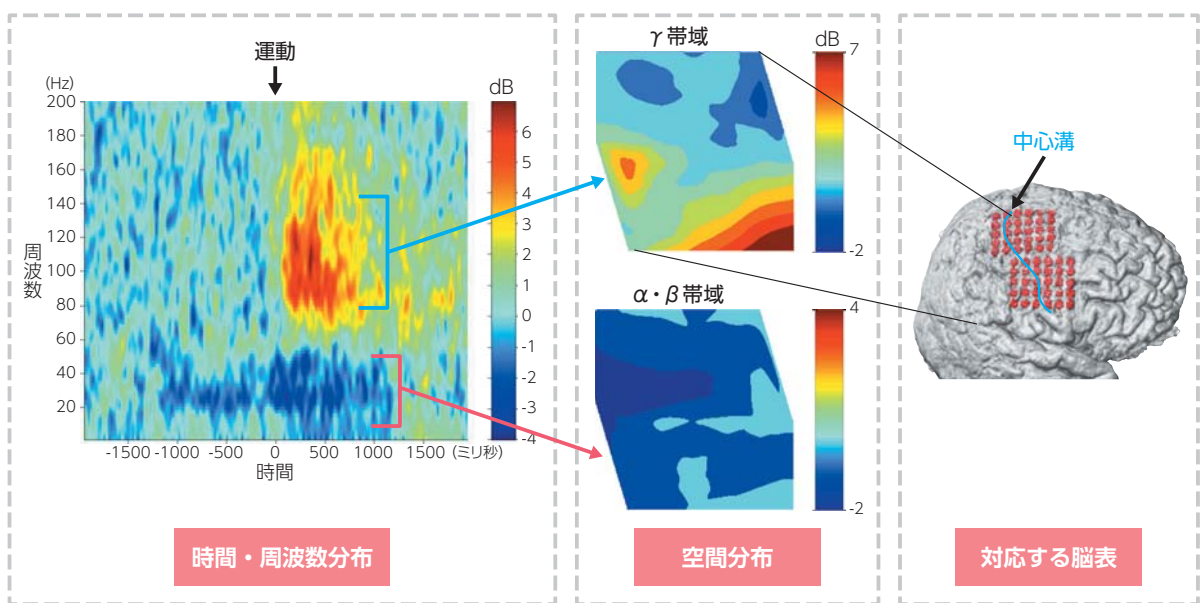
患者さんの生活改善を目指して 研究がスタート

本日は、リハビリテーションでも機能の改善が難しい、重症の神経難病の方を対象とした研究についてお話ししたいと思います。その代表は筋萎縮性側索硬化症 (ALS) と呼ばれる疾患の方で、我が国には約8,000人いると言われています。病気が進行すると全身の筋肉が萎縮して体を動かさず、しゃべることもままならないため、「閉じ込め症

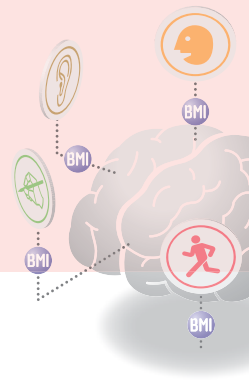
候群 (TLS)」と言われる状態になります。このような患者さんは、脳自体はしっかりしており、周囲の状況は全部分かり、きちんと考えることができますが、体や口を動かさません。

私たちは、このような患者さんの運動や意思伝達を支援できればと考え、「低侵襲型BMI」の研究を進めています。

図1 手の運動に伴う「脳表脳波」の変化



Yanagisawa et al, Annals of Neurology 71(3):353-361,2012



低侵襲型BMIとは

まず、「低侵襲型BMI」とはどういうものか、お話しさせていただきます。この方法では、手術をし、脳の表面に電極（脳表電極）を置きます。手術により体を傷つけるため「侵襲的」と言われています。しかし、脳の表面に置くだけで脳自体を損傷することはありません。そのため、生体の傷害は比較的少ない、ということで「低侵襲的」と呼ばれています。脳の表面に電極を置く手術は、脳神経外科では20年ほど前からてんかん患者さん等の手術前検査として行われています。脳の表面の電極から「脳表脳波」を記録して発作の原因がどこにあるかを調べたり、重要な脳機能がどこにあるかを、実際の手術の前に調べたりするためです。このような患者さんに御協力いただいて、手の運動をしているときの脳表脳波を解析したところ、運動をしたときには60ヘルツから200ヘルツ辺りの高い周波数の脳波が出現しま

す(図1)。手を握る、指でつまむなど、運動の種類が変わると、脳波のパターンも変わることも分かってきました。そして、その脳波をコンピュータに覚え込ませると、グーチョキパーのうち「どの手を動かそうと考えているのか」をコンピュータが言い当てることができるようになりました。これは国際電気通信基礎技術研究所(ATR)の川人光男先生と神谷之康先生との共同研究です。脳波を分析するだけで、どのような運動をしようとしているのかが分かるわけです。これを応用すると、グーチョキパーなどを考えるだけで、コンピュータのカーソルを動かすことができます。更に研究を進め、現在は患者さんが手を握ったり、肘を曲げたりする等の動作をロボットが代行することもできるようになりました(図2)。

しかし、これまでは、てんかんや難治性疼痛の治療の一段階として手術された患者さんであり、実際のALSの患者さんではありませんでした。そこで、ALSの患者さんでもこのBMI装置が安全に使えるかどうかを検証するため、臨床試験が開始されることとなりました。

図2 考えでコンピュータやロボットを操作する

コンピュータのカーソルを上下左右に動かす



Yanagisawa et al, J Neurosurgery 114(6):1715-1722, 2011

ロボットハンドで「つかむ、離す」



共同研究：国際電気通信基礎技術研究所(川人、神谷)
電気通信大学情報理工学部(横井)
慶應義塾大学医学部(里宇、牛場)

ALS患者さんを対象にした臨床試験

この試験は、治療の一環ではなく、臨床試験であるという趣旨に同意いただいた患者さんに参加いただきます。既に人工呼吸器の管理下にあるような重症のALS患者さんが安全に使えることを確認することを目的とし、3名の方を対象とします。この試験は、多くの施設の協力をもって実施されますが、特に経験豊富な大阪難病医療情報センターの専門員の方にも御協力いただくことになっています。また、約3週間の入院中は介助役の方が24時間付き添い、患者さんのストレスが少なくなるように配慮しています。この試験では、コンピュータの操作や、文章作成、ロボットアームを動かすといった機能性の評価が目的ですが、一番重要な点は、試験期間を終えると電極を外してしまうことです。これは、コードを体外に出したままでは感染の危険があるためです。したがって、今回の臨床試験に参加しても患者さん自身にとっての個人的利益はないこと、また、感染症のリスクが伴うことを御理解いただいた上で、御協力いただくことになります。

期待される低侵襲型BMIの機能

今回の臨床試験終了後には、実用化を目指した開発段階に移ります。この段階で、電極や電子回路を体内に埋め込み、無線で信号を体外のコンピュータに送るワイヤレスシステムを開発するわけです。これにより患者さんは自宅でこのシステムを使えるようになります。(図3)

では、患者さんはこのようなシステムを自宅でどのように使いたいと考えているのでしょうか？私たちは日本ALS協会の皆さんに御協力いただき、アンケート調査を行いました。その結果、インターネットやメール、書類の作成、会話文を作って日常会話を行うことのほかに、ロボットアームや、体の位置を調整する仕組み、家電機器のスイッチ操作、緊急時のアラームなど、実に多数の使い方を希望されていることが分かりました。実用化に際しては、このような御要望に応えられるような支援機器を開発したいと考えています。

侵襲型BMI開発の海外の状況と問題

手術をし、脳から取り出した信号を使う侵襲型BMIの研究は、我が国のほか、米国でも進められています。一つはピッツバーグ大学における脊髄損傷の患者さんの脳の表面に電極を置くもので、もう一つはブラウン大学における脳卒中の患者さんの脳に多数の針状電極を刺し込む形のものです(高侵襲型BMI)。

しかし、現在は、どの研究もまだコードを体外に出した状態の段階です。患者さんが自宅で使うためには、体内埋め込み型のワイヤレスシステムにする必要があります。そして製品化するには、医療機器としての承認が必要です。現在、各方面と協議しつつ開発に取り組んでいるところです。御清聴ありがとうございました。

図3 自宅で使用可能な埋め込み型「ワイヤレスシステム」

実際の生活の場面で望まれる機能はなにか？



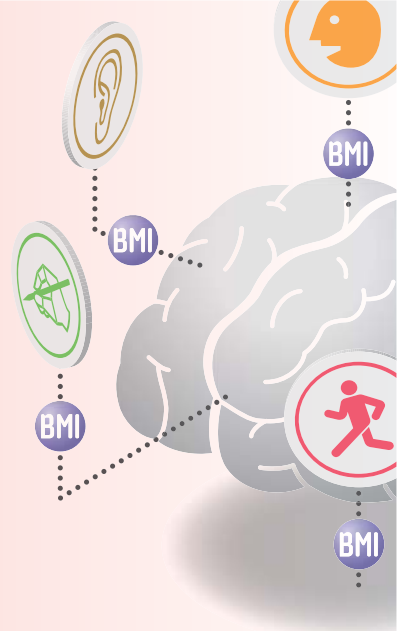
非侵襲型BMIによる障害者自立支援



神作 憲司 (かんさく けんじ)
 国立障害者リハビリテーションセンター研究所
 脳機能系障害研究部 脳神経科学研究室長

略歴

1995年3月 千葉大学医学部卒業、脳神経外科臨床を経験。2000年9月 千葉大学大学院医学研究科修了、博士(医学)取得。2000年10月 産業技術総合研究所 CREST研究員。2001年10月 米国立衛生研究所 上級客員研究員。2004年2月 生理学研究所 助手。2006年6月 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 感覚認知障害研究室長。2010年10月より 現職。



障害者自立支援に向けた BMI型環境制御システムとは

本日は、私たちが行っている厚生労働科学研究費 障害者対策総合研究事業による研究を御紹介させていただきたいと思います。

国立障害者リハビリテーションセンターは、厚生労働省の施設等機関であり、管理部、自立支援局、病院、学院、そして研究所とで構成されています。研究所が設立されたのは1984年で、医工、社会、心理学などに焦点を当てた、学際的かつ任務遂行型の研究を行う機関です。私の研究室でも、医学部と工学部出身の研究者が集まり、こうした研究を行っています。

私たちが主にやっているのが、非侵襲型BMIによる環境制御とコミュニケーションの補助です。私たちのシステムでは、操作パネル上に配置した、制御対象を模したアイコンや文字からなる視覚刺激を提示しながら、頭皮上に装着した脳波電極から信号を計測します。そして、そのデータを解析して、提示したアイコンや文字のうちどれを注視しているのかを判別し、特定されたコマンドを赤外線家電等の機器に送ります。こうすることで、手足を動かさずに、脳からの信号だけで機器を操作することが可能となります(図1)。

なぜこのようなシステムを開発したのかについて御説明します。当センターの病院では、頸髄損傷の方へ環境制御システムを用いています。吸気、呼気の2チャンネルのスイッチ信号を環境制御装置につなげると、テレビのチャンネルを自由自在に変えることができます。この装置を1台ベッドの横に設置するだけで、患者さんが誰かに頼まなく

ても自分で様々なことができるようになるのです。

また、コミュニケーションの補助の例として、当センターと共に研究をしている公立八鹿病院(兵庫県)では、筋萎縮性側索硬化症(ALS)の患者さんは、普段から筋電スイッチやピエゾ(圧電)素子センサーを使用しています。これらの入力装置を用いることにより、レッツ・チャット®(パナソニック)、伝の心®(日立ケーイーシステムズ)などの市販の意思伝達装置を使用できます。もし装置の入力信号に脳波信号を使えるようになれば、筋電信号が得られないような重度の麻痺患者さんであっても、同様に装置を制御することができるのではないかと期待し、私たちは研究を進めています。

視覚刺激の工夫

こうした研究の源をたどると、30年程前に既に特定の視覚刺激を注視した際に生じるP300スペラーというシステムが考案されています。当時はコンピュータの処理速度も遅く、脳波計も大きく、なかなか試みられることはありませんでしたが、ここ数年の技術進歩で実用化も現実味を帯びてきました。ただし、P300スペラーの白/グレーの刺激はまぶしく、使用により疲労感を招く可能性が推測されたため、まず視覚刺激がマイルドなものを探すことにしました。

光過敏性てんかん患者さんに様々な色の刺激を見ていただき、てんかん発作の元となるような尖った脳波の波形(棘波)の発生頻度を計測した報告があります。白くピカピカ光る刺激では、早く光れば光るほど棘波が増えてしまい、私たちでも目が疲れるような、刺激性の強い視覚刺激になっていることが分かりました。また、赤と青の繰り返しでは、15ヘルツという低周波数で棘波が増えてしまうという特徴

が見られました。

私たちが注目したのが緑と青の組合せで、この刺激の組合せだけは周波数が上がるほどマイルドになっていきます。そこで、私たちは、青から緑に変わる視覚刺激を使って実際に実験をしたところ、私たちが予想したとおり、緑/青の時の使用感の良さが有意に高いことが示されました。さらに、予想外なことに、使用精度まで有意に高くなるという結果が出ました。つまり、見やすくその上使いやすい視覚刺激を作成することができました。

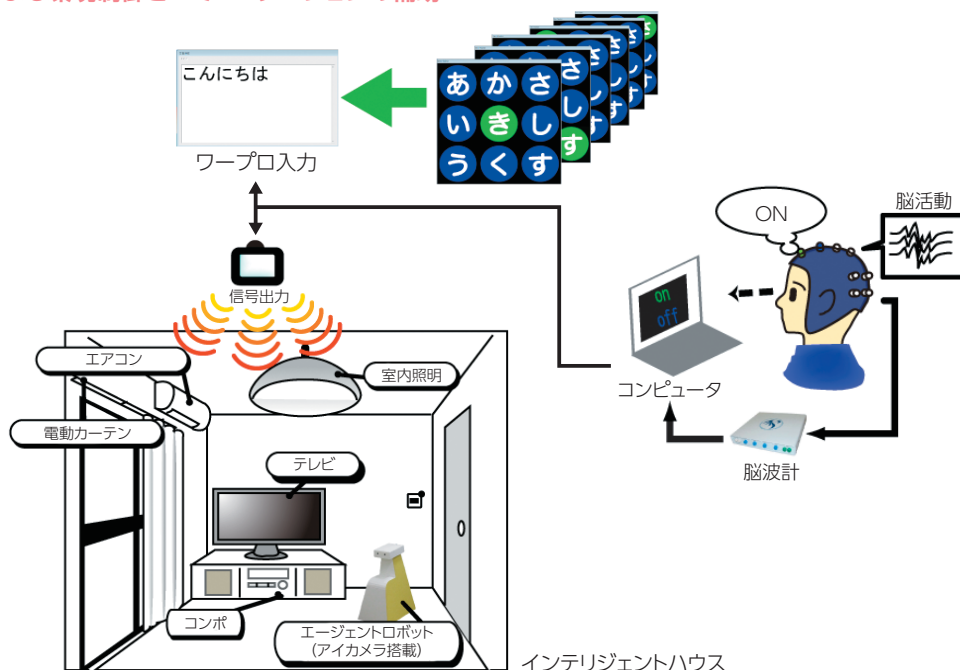
BMI使用時の脳活動について、fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 機能的磁気共鳴画像) という装置で調べると、特に緑/青を使う際に、右の頭頂葉の辺りが活動していることが分かりました。更に詳細をMEG (magnetoencephalography: 脳磁図) という装置で調べると、緑/青の視覚刺激を注視する際に右の頭頂葉の領域がほかの領域と良く同期していることも分かりました。

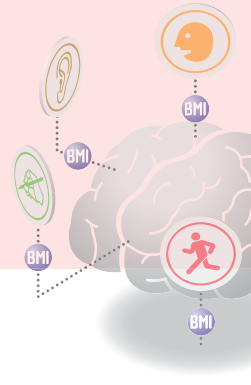
さらに、このシステムにAR (拡張現実) 技術を加えました。カメラが対象のマーカ (目印) を取り込むと、コンピュータ上で作られた絵がディスプレイ上に配置されます。

これを実際の私たちのシステムに応用してみると、例えばARマーカを見ているだけで、ディスプレイに操作パネルが現れてきますので、それを注視するとデスクライトが点灯するということもできるようになります (図2)。同様に、ロボットを前進、後退、右左折させたり、更にそのロボットに装着したアイカメラがマーカを捉えると、対応した機器を操作することもできます。つまり被験者がロボットという動くリモコンを使用して、家電等を操作できるというシステムです。まだ研究レベルではありますが、このようなこともできるのです。

そのほかに、複合型BMI機器の実装も行っています。先ほど里宇先生がお話しされた感覚運動リズムを利用したBMIは、全体のシステムのマスタースイッチとして利用するため、私たちも取り入れています。また、定常視覚誘発電位 (SSVEP) も取り入れています。これも別のタイプのBMIで、特定の周波帯でピカピカ光るLEDを見ていると、特徴的な脳波が取れ、マスタースイッチなどに利用できるようになります。こういったシステムの高度化にも取り組んでいます。

図1 BMIによる環境制御とコミュニケーションの補助





BMI機器の実用化に向けて

実証評価用のBMI機器ですが、最初はほとんど外国製を使用していました。しかし、外国製は非常に高価で、また実際の臨床では使いにくいと、安価で使いやすいことを目指し機器の開発を開始しました。現在、どこまで進んでいるかと言いますと、これまで一通りのハードウェア、ソフトウェアの内製化に成功しています。また、昨年には、医療従事者等にも操作ができるようなものを作るべく、操作用のキーパットやマニュアルを整備しました。そのほかに、公立八鹿病院と、遠隔で機器の調子をチェックできるような環境も実装しました。

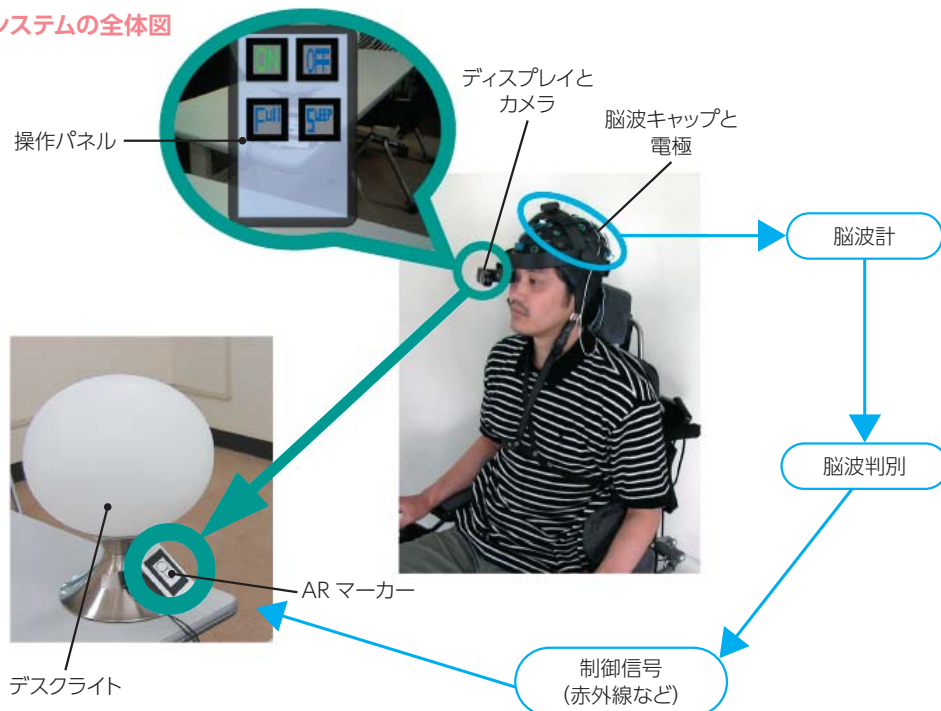
さらに、同じユーザーインターフェースで複数の入力方法に対応することで、入力方法が変更する際に生じる負担を軽減させることを目的とした機器の開発を行いました。脳波による入力に、ボタンや筋電などを利用するスイッチ入力及び、視線やマウスのクリック等による入力を追加しました。これによって、より多様な病態への対応が可能となります。

実際の患者さんに対しては、主に慢性期の頸髄損傷の患者さん及びALSの患者さんで臨床研究を実施しており、良好な成績を報告しております。

また、現在、主に使用されている脳波測定用ペーストは、接着面がベタベタしBMIの用途としては使いにくいと、長時間使用できて取り外しも簡単で、外した後頭髪を洗わなくても良い電極として、使っていくと抵抗値が下がるといった性質を持たせた非粘着性固形ゲルを用いた電極を開発しました。

将来的には、BMI技術を用いたインテリジェントハウスの構築も可能となります。この研究が障害者の方の自立支援に貢献できるように、今後も研究を進めてまいります。御清聴ありがとうございました。

図2 AR-BMIシステムの全体図



パネルディスカッション

実用化に向けての期待

BMI技術の利用者と想定されている様々な疾患の当事者の方々に、実際どのような期待を持っているのか、どのような社会的なバリアに悩んでいるのかについてお話しいただいた後、BMIの実用化に向けた具体的な要望や質問について、研究者の方々に答えいただきました。



進行

市川 衛 (NHK福岡放送局 番組制作ディレクター)

2000年東京大学医学部卒業後、NHK入局。2008年、東京大学医学部非常勤講師。医療分野を主なフィールドとして「NHKスペシャル」[クローズアップ現代]などを制作。主な作品に、慶應義塾大学のBMIリハビリテーションを取材したNHKスペシャル「脳がよみがえる～脳卒中・リハビリ革命～」(2011年)。著書に「誤解だらけの認知症」(技術評論社)など。

パネリスト発表

榎本 伸二さん

2004年8月脳卒中を発症し、左半身麻痺となる。
2010年4月発症から5年以上経過後、慶應義塾大学病院にて、BMIリハビリテーションを開始する。

私は、脳卒中の後遺症のため左半身麻痺があり、2年5か月前に、BMIリハビリを受けるため慶應義塾大学病院に入院いたしました。脳卒中発症の5年8か月後のことでした。入院時の筋電検査では、指を伸ばすときの筋電は全く記録できず、また、血液検査の結果、血糖値が高く糖尿病と診断されました。そこで入院期間中は、水やお茶以外は禁止し、テレビの視聴カードを買うときや電話をかけるときは遠くの箇所に行く等をしました。その後血糖値は改善されず、内科の先生に「将来的には治療が必要になるでしょう」と言われ、とてもショックでした。

10日間のBMIリハビリ終了時に再度筋電検査を受けたところ、指を伸ばすときの筋電を記録できたため、更に3週間のHANDS療法を受けることになりました。

HANDS療法を受ける頃には、腕の緊張、強かった指の握り込みはかなり弱くなっており、ある朝、売店で買ったペットボトルのお茶を右手を使って左手に握らせ、右手でキャップを開けることができました。5年8か月ぶりにペットボトルを握る左手を見たときはとてもうれしくて、そのペットボトルをしばらく記念にとっておきました。また、スティックシュガーなどを左手で挟んで右手のはさみで切ったり、毎朝、看護師さんが持ってきてくれる蒸しタオルのビニール袋を使用後、右手を使って左手に握らせ、指定された場所に返却しに行ったりできるようになりました。

退院間近になった時、内科の先生から、「血糖値が良くなってきているので、食事で経過を見ましょう」と言われ、とてもうれしかったです。腕の緊張、指の握り込



みが弱くなったことで、入院生活中に左手をよく使うことができるようになり、また、歩くことがとても楽しくなり、運動量が増えた結果、血糖値にも良い影響が出たのではないかと思います。

退院後は、脳卒中発症以来家族に任せていた薬の管理を自身でするようになりました。自身で薬を管理すると健康に対する意識も高まるようになり、一人で行う運動訓練の際の運動量が飛躍的に増えました。1か月後、内科外来を受診した際に糖尿病はなく、その後は、2か月に1回の診察が4か月に1回になり、ついに昨年、もう来なくて大丈夫でしょうと言われました。今でも別の診

療科に通い、1~2か月に1回、血液検査を受けていますが、血糖値の数値を維持できています。腕の緊張が取れて歩行訓練が増えたことで体幹が強くなり、体力がついたことが大きな原因だと思います。

私はBMIリハビリを受けるために入院し、指の麻痺のみならず血糖値を改善でき、とても大切なことを学んだような気がします。今後も体力維持に努め、健康意識を高めたまま、一人でやる訓練も頑張っていきたいと思えます。

大濱 眞さん

NPO法人日本せきすい基金理事長。1975年にラグビー公式戦にて受傷、頸随C3~5を損傷し四肢麻痺となる。1995年頃より(社)全国脊髄損傷者連合会の役員(現副理事長)となり、1999年にNPO法人日本せきすい基金理事長となる。

脊髄損傷は、運動や高所からの転落などで中枢神経である脊髄そのものに怪我をしたものです。私の場合は、スポーツ中に首の骨の3、4、5番の辺りに怪我をし、脊髄にダメージを与えました。その後、脊髄が完全に空洞化してしまったため、脳からの命令は一切伝わっておらず、手や足は全く動きません。また、血管の収縮が鈍くなり、どうしても開いたままになって、下の方に血がいついてしまい、起立性低血圧になってしまいます。そのため体を大きく揺すってもらって刺激し、血管を収縮させたりしています。

私たち脊髄損傷患者が、BMIに期待することは本当にたくさんあります。今後の可能性について楽しみにしています。具体的には、まず、手足が硬直するような痙縮(けいしゅく)をBMIでコントロールできないかということです。次に、私のような完全損傷の場合は、完全麻酔の状態に近いくらい麻痺しているので痛みや熱さなど全く分かりませんが、不完全損傷の方たちは、いろいろ

な神経性疼痛があります。脳からの命令で痛みの刺激が行かないように、コントロールできないかということも期待しています。また、呼吸不全の方たちに対し、現在、米国には横隔膜にペースメーカーのようなものを埋め込んで動かす装置がありますが、BMIを使って横隔膜を動かすことによって、自発呼吸ができるようにならないかということも期待しているのは私たちだけではないと思います。

中枢神経系に障害を抱えている私たちにとっては、BMIによって得られるものは多いと考えています。そのため、今後は、私たちに実際に役に立つような形で臨床応用していただきたいという大きな願いがあります。また、医工連携だけではなく、特許、経済効果、倫理面の問題等を私たちにも分かりやすく説明していただくことが非常に大切だと思っておりまして、具体的な検討をぜひお願いしたいと思っております。

岡部 宏生さん

日本ALS協会副会長。ALS協会は、ALSの原因究明と治療法の確立に向けた活動、ALS基金による研究への協力の呼び掛け、国や自治体への療養体制の改善要請、ALSの正しい知識の啓発を目的とする講演会やセミナー活動を実施している。また、痰吸引などの勉強会や、ALS患者だけで孤立しないよう、患者及びその家族との交流会を開催している。

筋萎縮性側索硬化症（ALS）は、運動神経だけを選択的に冒し、徐々に全身の筋肉が動かなくなり、個人差はありますが、約3～5年で呼吸ができなくなり、人工呼吸器をつけないと死に至る難病です。私がALSを発症したのは2006年春で、確定は同年9月でした。2007年7月より在宅療養を開始し、2009年2月胃瘻造設、9月に気管切開をし、人工呼吸器の使用を開始してから3年が経過しました。

私たちにとってBMIとは夢のような技術であり、大きく環境制御、介護用品の操作、意思疎通の三つの点で期待され、開発が待たれています。環境制御とは、家電製品の操作、照明の点灯・消灯やカーテンの開閉のことです。介護用品の操作とは、ベッドのギャッジアップなどが自身で可能になるということです。私たちは、いつも介護者に依頼してこれらのことをしてもらっていますが、他者に負担を掛けるということは、掛ける側にはその何倍もの精神的負担となっているのです。患者自身で操作が可能となれば、利便性のみならず自分でできるという喜びももたらされ、QOL（生活の質）は格段に向上するとともに、患者だけでなく家族も精神的負担から解放されるのです。

また、人間にとって意思疎通はそれ以上に重要なことです。意思疎通が問題なくできる方に想像していただくのは難しいかもしれませんが、私たちにとっては、時として生命を左右するものなのです。

ALS患者は、人工呼吸器を付けるかどうかを考えなければなりません。その際に将来、患者の約10～15%になると言われている閉じ込め症候群（TLS）という、全身が一切動かなくなる状態を想像すると、生きていく気持ちが大きく揺らぎます。私も随分悩みました。また呼吸器を付けた後も、だんだん進行していく病状とともに意思疎通が不可能になるのではないかという不安がつきまっています。なかには完全に意思疎通ができなくなったときは、呼吸器を外してほしいと言っている方もいます。

この意思疎通は、発信者と受信者がいて成立するものです。既に私は、特殊な設定のパソコン、もしくは、私の周囲に僅かにいる口文字という特殊な方法ができる優秀な受け手がいなければ意思疎通ができなくなっています。意思疎通ができないことは死ぬほどつらいことであり、意思疎通が受け手の技術に左右されずにできるようになることは、まさしく夢のようなことで、患者にとって生きる希望にもつながっていくのです。

BMIは、私たちALS患者にとっては利便性の向上や、それに伴うQOLの向上はもとより、生命に直結している技術です。研究者の先生方や関係者の皆さまには、このことを御理解いただき、一層の前進をお願いしたいと思います。



小山 万里子さん

ポリオの会責任者。1歳9か月でポリオ発症。40代でポストポリオ症候群（PPS）発症。現在両上肢下肢障害で2級。1995年12月ポリオの会結成呼び掛け。ポリオの会は、ポリオとPPS患者が医療と医療情報を求め、体験や症状を伝えるなどの活動をしている。生ポリオワクチンから不活化ポリオワクチンへの切替及びワクチンポリオ被害者のきちんとした診断と医療保障を訴えている。

ポリオ（急性灰白髄炎）は、あまり病態を知られていませんが、ポリオウイルスによる感染症で、弛緩性麻痺を起こすものです。私は1歳9か月でポリオを発症し、両手両足で2級の障害を持っており、今も両足に装具をつけ、右手は利きません。中には上下肢麻痺のため、車椅子で生活し、トイレにも苦労して必死になって暮らしている方もいます。

ポリオは今やほとんど見られない病気で、非常に人数は少なくなりましたが、大流行した1960年（昭和35年）の時期に発症した方などは、現在、私も含め、ポストポリオ症候群（PPS）に向き合っています。1981年以降は、生ワクチンの接種が原因でポリオ患者が発生しています。現在、ポリオの会で最年少の会員は1歳です。生ワクチンによるポリオ患者は、人生は始まったばかりですので、この子供たちにごそBMIリハビリテーションを是非とも行っていただきたいと痛切に思いました。そういう方たちへの対処を是非ともお願いします。

PPSとは、ポリオ患者がある程度回復した後、数十年経ってからまた新たな症状が出てくるもので、激しい痛みや筋萎縮などに悩んでいる方が多くいます。私

は駅で急に激しい痛みで襲われたりすると、ホームの柱に抱き付いて我慢するようなこともあります。

PPSの研究はまだこれからですが、私たちが抱えているのは、筋力低下、激しい疲労、激しい痛み、呼吸障害、嚥下障害、排泄障害、体の変形の進行、激しい冷えなどで、歩行が困難になって階段の昇降ができず、着替えもできません。私自身、PPS発症前は上肢は問題ないと考えておりましたが、今、右手は上がりませんし、両手の親指は全く動きません。

脳性麻痺とポリオは、今でも臨床現場で混同されていることが多く、障害者手帳で小児麻痺というのは脳性麻痺のことです。逆に、脳性麻痺の方がポリオと診断されて、受診する方もおられるようです。ただし、両者とも二次障害で悩んでいることは事実です。本日のお話を伺いながら、脳性麻痺の方にも適応可能ではないかと感じました。

ポリオは、幸いに発声することには不自由はないので、私たちは、模擬患者を通じて医療現場に要望などを伝えたり、可能な限り研究などにお役に立てればと考えています。今後の研究に大変期待しております。

総合討論

■ BMIリハビリテーションへの要望

Q1 じっとしていることが難しい重度の麻痺がある人でも受けられますか？ (榎本)

A1 ▶ **里宇** 現在は手の訓練に集中でき、また、訓練中にある程度体をしっかり支えられる方を対象にしています。将来的には、体幹を支えるようなシステムを活用したり、体幹を支えるためのトレーニングを併用したりして上肢のトレーニングを行うことも可能だと思います。



Q2 4,5歳くらいの若年齢者は受けられますか？ (小山)

A2 ▶ **里宇** 当院では中学生以上を対象としています。リハビリを行う上で、集中して課題に取り組む必要があるため、幼いお子さんだと現状では難しいと思います。お子さんにはその他のリハビリの方法を駆使して支援していく必要があります。

Q3 BMIで痙縮(けいしゅく)をコントロールできないのでしょうか？ (大濱)

A3 ▶ **里宇** 上肢の筋肉の突っ張り、痙縮の改善は可能ですが、下肢はBMI単独では難しいと思われるので、痙縮が高度の場合は髄腔内バクロフェン療法や自転車こぎ運動等を組み合わせる必要があると思います。

Q4 手(上肢)のみで足(下肢)のリハビリは行っていないのでしょうか？ (榎本)

A4 ▶ **里宇** 例えば、下肢の障害がある方に、パワーアシストのロボットとBMIをドッキングさせて、立ち上がる際の段階的なアシストを脳活動の制御で練習していき、結果、アシスト量を減らせるようにするような研究を、現在、ATRと共同で行っています。

■ 日常生活の支援への期待

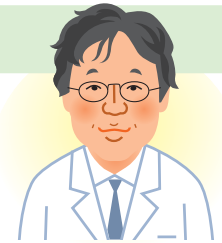
Q1 考えるだけでテレビや照明などの家電やベッド、車椅子などの介護用品、PCなどを簡単に操作できないのでしょうか？ (岡部)

A1 ▶ **神作** 動きが大きい家電だと衣服を挟む等の別のリスクが生じてきますが、複雑な動きでなければ赤外線リモコンを使用すれば十分可能です。本日お見せしたP300スペラーというシステムのほかにも、定常視覚誘発電位(SSVEP)という光るボタンを見ていただく方法もあり、数チャンネルの簡単なスイッチが作れます。できるものから順次製品化を目指しています。



Q2 訓練なしでも誰でも簡単に使えるのでしょうか? (市川)

A2 ▶ **神作** 手掛かり刺激を使ったりして、トレーニングなしでも8割以上の正解率を最低限確保することを当初から目指しています。症状が悪化した際でもうまくいくシステムを構築中です。



Q3 考えるだけで車椅子を操作したいです。実用化はいつでしょうか? (小山)

A3 ▶ **里宇** トヨタ自動車と理化学研究所らのグループが脳波で車椅子を動かす研究を進めています。しかし実用化するには、安全性の観点から車椅子自体に危険回避技術や、誤動作をした場合の安全機構を設置する必要があると考えています。

Q4 限られた施設だけではなく、もっと多くの医療機関で普及してくれないでしょうか? (大濱)

A4 ▶ **里宇** どこでも使える簡便な機器が製品化されること、リハビリテーションの中で適切に使用できる人材が育つこと、専門的な大学などとネットワークを介してフィードバックしながら治療を行っていきけるようなシステムを作ること、の三つがBMIの普及には必要だと思います。特に製品化に関しては、是非企業の方の御協力をいただいて、早く患者さんに届けられるようにしたいと考えております。

■ コミュニケーション支援への期待

Q1 難しい高度な技術より、一つの合図を確実に判定できるといった最低限の機能だけでも今すぐに実用化できないでしょうか? (岡部)

A1 ▶ **神作** 脳波計測用の電極は、研究用途としてですが市販を開始しました。簡単なシステムから市販していき、より複雑なシステムを順次市販化していきたいと考えています。これには、企業や官公庁など多くの機関との協力が必須になってくるかと思えます。

A1 ▶ **吉峰** おっしゃられるように、「最低限の機能だけでもすぐに実用化したい」のは私も同じ気持ちですが、「低侵襲型のBMI」というのは、どのように簡単な機能を持つものであっても、その前提として「脳の表面に電極を置いてその信号を体外に送信する」必要があります。人体の皮下に埋め込むことが可能な医療機器とするためには、安全性に万全の配慮が求められ、何年かの期間が必要です。



Q2 海外では、声を出せない人の意思疎通をサポートするソフトウェアの開発も進んでいますが、それを今すぐ実用化するのは可能でしょうか？（市川）

A2 吉峰 おっしゃられるようなソフトウェアの原型は出来上がっており、現在もう少し使い勝手の良いように改良中です。これ自身は1年もかからないと思います。ただし、これを動かすのに必要な「埋め込み型装置」の開発にあと少なくとも数年かかりそうです。現在、そのプロトタイプは試作できていますが、小型化するとともに厳格な安全性試験をクリアする必要があります。

Q3 脳性麻痺の患者さんでもBMIは使用できるのでしょうか？（小山）

A3 里宇 脳性麻痺の方のコミュニケーションの御苦労はよく存じ上げております。一生懸命コミュニケーションをしようとするほど難しく、悪循環に陥りやすくなります。脳性麻痺の方の脳波を安定して測定するのは難しいため、BMIだけではなく筋電図や呼吸などの生体信号も使うことで、リラックスするきっかけを作ることならできると思います。

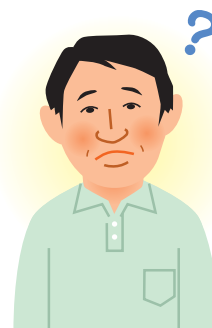


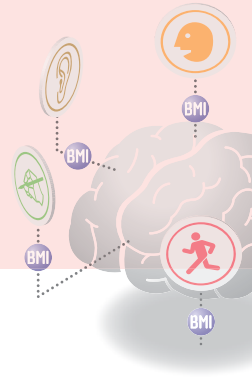
Q4 呼吸器をつけた人は発語が難しい方が多くいます。BMIを使って横隔膜を動かすことによって自発呼吸ができるようにならないのでしょうか？（大濱）

A4 里宇 可能性としてはあると考えておりますが、実際にクリアしなければならない問題について綿密に詰めていかないと、本当に役に立つものになっていかないとと思います。今後検討していかなければならない課題と考えています。

Q5 大阪大学が現在実施している臨床研究について：低侵襲型BMIは安全なのでしょうか？（岡部）

A5 吉峰 この「低侵襲型BMI」に必要な手術自身は、脳外科では通常行われている手術です。この手術の合併症としては、創部の感染があげられ、大阪大学の場合、過去10年間の手術では77名中2名(2.6%)に感染徴候が見られました。ただし、2名とも抗生物質で治っています。この臨床研究で私たちが特に用心していることは、入院して普段と違った環境で研究スケジュールに御協力いただくため、これがストレスとなって御負担をかけないことです。医学的な体の心配もさることながら、入院中の御不便や精神的な問題を一番心配しています。





体験展示

脳脊髄刺激療法を用いた 振戦・運動麻痺に対するBMI

日本大学大学院医学研究科 片山容一



動作時振戦や運動麻痺の回復のための脳脊髄刺激システムの研究について、脳脊髄刺激装置などを展示し御紹介しました。

麻痺の回復に向けての挑戦： BMIが拓く新たな可能性

慶應義塾大学医学部 里宇明元



脳卒中後の麻痺手の治療としてのBMIを使ったトレーニングについて、実機の展示、体験をしていただきました。

脳表面波を用いた ブレイン・マシン・インターフェース

大阪大学大学院医学系研究科 吉峰俊樹



ロボットアームの制御、体内埋め込み型装置の開発といった低侵襲型BMIの研究内容について、映像と電極などの展示を用いて御紹介しました。

ブレイン・マシン・インターフェース(BMI) による障害者自立支援機器の開発

国立障害者リハビリテーションセンター研究所 神作憲司



障害者自立支援に向けた「BMI型環境制御システム」に関する研究を、これまでに開発したシステムや脳波計、脳波キャップ、電極などの実機の展示と映像を交えて御紹介しました。



文部科学省 “社会に貢献する脳科学”の実現を目指して
脳科学研究戦略推進プログラム
Strategic Research Program for Brain Sciences
Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology - Japan