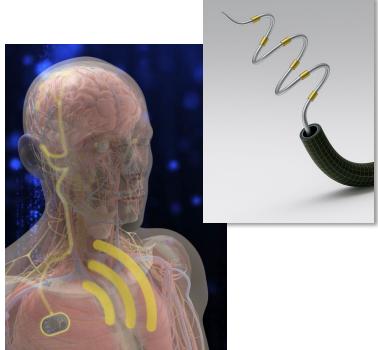




極低侵襲血管内Brain-Machine Interface (BMI)システムの開発

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 講師 中村 元

AI支援型BMI-CAの実現には、脳と外部を双方方向に繋ぐインターフェイスが必要であり、その方法の違いから「侵襲BMI」「非侵襲BMI」の2つに分けられる。侵襲BMIは外科的手法を用いて頭蓋内に電極を留置し、そこから得られる脳波信号をBMIに活用するため、多くの情報を低遅延で扱うことが可能である。しかし、開頭術を要することやコストの大きさから、ヒトへの応用には課題があった。本研究開発項目では、脳血管に誘導可能な柔軟で細径の血管内電極を作製し、これを用いて極低侵襲に精度の高い脳波信号を検出し、BMIに活用する「極低侵襲血管内BMIシステム」の開発を目指している。本プロジェクトは、柳澤琢史SPM（研究開発課題3-2-2）、関谷毅SPM（研究開発課題5-1-1）、植村隆文PI（研究開発課題5-1-3）と密に協力しながら取り組んでいる。これまでの研究成果と今後の展望について以下に記載する。



1. 血管の中から脳波を計測できるのか？

脳の表面を走行する静脈（cortical vein: CV）から脳波信号を検知し、それをBMIに活用するという技術は存在しておらず、その有用性は証明されていない。そのため、まずはブタやヒツジなどの大型動物を用いて、CVに留置した血管内電極を用いて脳波信号を検知しうるか否かを検証することとした。大型動物の脳はヒトと比べてはるかに小さく、その表面を走る血管も極めて小さい（Figure 1）。そのため、実際の手術で使用される脳血管造影装置が設置されているふくしま医療機器開発支援センターの大型動物実験用ハイブリッド手術室を使用することとした。同施設でブタの大脳静脈から脳表静脈（直径0.8mm）までマイクロカテーテルを誘導し、これを介して我々の開発した極細径血管内電極を留置し、脳波計測を行った。脳波計測の精度を検証するために、侵襲BMIと同じ方法でブタの開頭を行い、脳表に留置したシート型電極で計測した脳波信号と比較した（Figure 2）。本実験の結果、シート型電極よりも高い精度で血管内電極から体性感覚誘発電位（Somatosensory Evoked Potential: SEP）を計測できることが明らかとなり、CVからの血管内脳波計測の有用性が示された（Figure 3）。また、上矢状静脈洞（superior sagittal sinus: SSS）と呼ばれる最大径2-3mm程度の頭蓋内血管に血管内電極を留置した状態で長期間ブタを飼育し、長期安定性を確認したところ、留置後49日目（最長）での脳波計測にも成功した（Figure 4）。

これらの結果から、脳静脈をターゲットとした極低侵襲血管内BMIシステムは、シート型電極を用いた侵襲BMIと比較して、少ない侵襲で精度の高い脳波信号を長期間の計測できる可能性が示唆された。

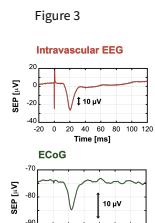
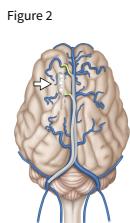
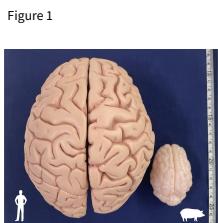
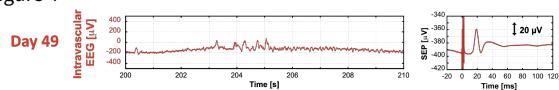


Figure 4



今後の展望

本研究により、極低侵襲血管内BMIシステムの有用性と将来性が示されました。今後はデバイスの長期安全性の検証を行いつつ、前臨床試験に向けて準備を進めていく予定です。また、ヒト3Dモデルを用いた留置シミュレーションシステムも確立し、留置手技の安全性向上にも努めてまいります。本システムの社会実装を実現すべく、IoB Minimally Invasive Teamの皆様とともに全力で取り組む所存です。

貴島 晴彦

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 教授

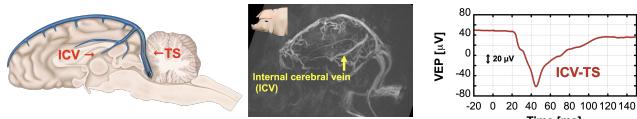
尾崎 友彦

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 特任助教

2. 極低侵襲血管内BMIシステムの可能性

極低侵襲血管内BMIシステムは細径かつ柔軟なデバイスであり、脳深部を走行する静脈である内大脳静脈（Internal cerebral vein: ICV）にも留置可能であった（Figure 5）。ICVは後頭葉や視床の近くを走行しており、ICVに留置した血管内電極を用いて世界ではじめて視覚誘発電位（Visual evoked Potential: VEP）の検知に成功した。我々の開発した極細径血管内電極を用いることで、従来の方法ではアクセスできなかった部位の脳波信号を計測できるため、BMI以外の様々な用途（てんかんの焦点検索、高次脳機能障害への介入など）にも利用できる可能性がある。

Figure 5

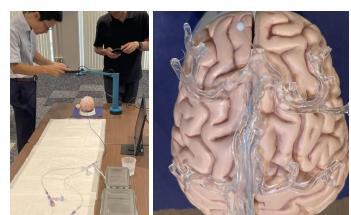


3. 3Dプリンタを用いたシミュレーションシステム

ブタを用いた実験により、極低侵襲血管内BMIシステムの有用性が明らかと

なった。しかし、ヒトへの応用を試みるためには、ヒトの血管モデルを用いて、デバイスのサイズ・柔軟性・潤滑性・視認性など、様々な性能を評価しなければならない。我々は、ブタ実験と並行してヒトの脳血管造影検査のデータを元に作成した3D脳静脈モデルによるデバイスの留置シミュレーションも行っている（Figure 6）。

Figure 6



4. 血管内CA開発拠点構想@大阪大学

ムーンショット型研究開発事業のご支援により、令和7年度に大阪大学医学部の動物実験施設に最新型脳血管造影装置（Siemens社製 ARTIS icono）が導入された。本装置を用いることで、極低侵襲血管内BMIシステムの開発が加速され、社会実装への道のりが近づくことが期待できる。



中村 元（なかむらはじめ）

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 講師

大阪大学医学部附属病院 脳卒中センター 副センター長

大阪大学医学部附属病院において、脳血管障害治療チームの責任者を務めています。開頭手術と血管内手術を組み合わせて、患者さんに優しく、より効果的な治療戦略を立てるよう心がけています。本研究課題では、脳神経外科診療技術を最大限に活用し、極低侵襲血管内BMIシステムの開発に尽力いたします。

高垣 匠寿

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 助教

松村剛樹、棕本悠嗣、寺西邦匡、山崎弘輝、倉本仁美、他多数

大阪大学大学院医学系研究科 脳神経外科学 脳血管障害グループ医員