

プログラム名：バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命

PM名：原田 香奈子

プロジェクト名：PJ.1 バイオニックヒューマノイド

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

微小血管・薄膜構造を有する精密脳モデルの研究開発

研究開発機関名：

名城大学

研究開発責任者

福田 敏男

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究開発課題では、下記の5つの研究項目を立て、これらを実現することにより、バイオニックヒューマノイドのための精巧な脳モデルの実現を目指してきた。

- I. 脳モデルの作製
- II. 硬膜・くも膜モデルの作製
- III. 微小血管モデルの作製
- IV. 下垂体腫瘍モデルの作製
- V. 頭蓋内への脳モデル封入

これら5つの研究項目に対し、下記のように目標を設定した。

I. 脳モデルの作製については、脳の物理的特性を再現するモデルの改善を行う。硬さについて当初は約 5 kN/m^2 に設定していたが、内部構造を鑑みて表面部 8 kN/m^2 、内部約 4 kN/m^2 を目指す。脳表面の凹凸だけでなく、密着はしているが接着していない深さ 1 cm 以上の脳溝を再現する。微小血管モデルを内部に組み込んだモデルを作製する。

II. 硬膜・くも膜モデルの作製については、引張強度が 10 MPa 程度の特徴を持ち、垂直以外の方向に異方性を持つ、縫合可能な硬膜モデルの製作を行う。また硬膜の骨への接着に関して、医師の意見に基づいた接着力を設定し、それを再現する。硬膜を骨側と脳側の二層構造にし、トルコ鞍周辺において、硬膜が骨側と鞍隔膜に分かれ、その間に下垂体が存在するような海綿静脈洞付近の構造の再現を目指す。くも膜モデルにおいては当初の予定通り、厚さ約 $20 \mu\text{m}$ で脳表面形状に合った形状のモデルを製作する。

III. 微小血管モデルの作製については、分岐を持った $100 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ で中空構造を持ったモデルを製作する。脳モデル、膜モデル、腫瘍モデルへの微小血管モデルの組み込みを行い、内部に液を流して血流の再現を行う。

IV. 下垂体腫瘍モデルの作製については、目標であった泥状の腫瘍の硬さである 1 kN/m^2 程度での製作を進展させ、軟性腫瘍の硬さの範囲である $1 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ での腫瘍モデルの製作を目指す。粘性や切開性などの特性に対して医師の意見に基づき具体的な数値を設定し、モデルを製作する。 3 mm 以上の大きさの腫瘍モデルに対し、微小血管モデルを内部に組み込む。

V. 頭蓋内への脳モデル封入については、他機関の成果および全体の進捗を考慮しつつ、製作したモデルの封入と調整を行っていく。当初予定の $60 \sim 150 \text{ mmH}_2\text{O}$ 程度の脳圧の拍動において、シーリング設計や髄液漏れの確認などの検討を行う。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

I. 脳モデル

- ・脳実質表面部のモデルとして、提供された新しい3Dデータを基にして、3Dプリンタにより、水溶性素材を用いた脳実質モデルを製作し、真空成型機によりポリプロピレン製鋳型を製作。これより光

硬化性レジンを用いて透明の脳実質表面モデルを製作.

II. 硬膜モデル

- ・他機関との連携のため硬膜モデルに限定した製作が求められ、医師による官能評価を受けつつ改良. また電界紡糸法による膜形成の検討を実施.
- ・海綿静脈洞付近の膜形成については、名古屋大らによる新たな脳手術専用モデルに設置するための方式を検討.

III. 血管モデル

- ・マイクロ流路チップにより Y 字型ゲルファイバーを製作し、PDMS をコーティング後、ファイバーを融解することで血管膜モデルを製作.

IV. 下垂体モデル

- ・吸水性ポリマーの一種と軟性素材を混合させたウェット型のモデルの配分の検討.

V. 頭蓋内への脳モデル封入

- ・東北大・芳賀研究室らの脳ベラ製作や脳圧測定のためのシステムに封入するモデルを検討.

2-2 成果

I. 脳モデル

- ・脳実質モデルの表面である灰白質のみのモデルを検討し、光硬化性レジンの一種を用いたモデルを試作 (図 1). 真空成型機による鋳型形成による透明鋳型を用いて表面は固化し、内面は液状であるモデルを製作. 密着はしているが接着していない深さ 1 cm 以上の脳溝を再現.
- ・しかしながら医師らの簡易官能評価では硬いとの評価であったため、同種素材・別種素材の検討が必要.



図 1 光硬化性レジン製脳表面モデルの外観

II. 硬膜モデル

- ・縫合可能な硬膜モデルの改良のため、繊維と樹脂を組み合わせたモデルを製作 (図 2). 特性変化の防止のための手法を検討.
- ・九州大学などへの硬膜モデルの提供と評価. 医師の新たな評価では厚さが 400 μm 程度のものの評価が高いため、目標厚さを変更し、それに合わせたモデルを製作.
- ・硬膜を形成するコラーゲン繊維は太さが 1-30 μm とされることから、電界紡糸法による繊維のみの膜形成を検討. 水溶性・非水溶性素材による紡糸で約 1 μm の繊維で形成される膜を製作.



図 2 頭部モデルに配置された硬膜モデル

III. 血管モデル

- ・分岐なしで径が 100 μm 未満の中空の血管モデルを製作するとともに、Y 字の分岐後の外径が 500 μm 、内径が 350 μm の血管モデルを試作し、内部が中空で液が両方に流れることを確認 (図 3).

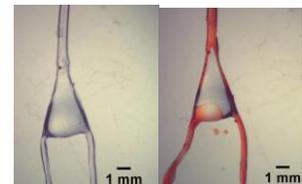


図 3 Y 字分岐血管膜モデルへの送液

IV. 下垂体モデル

- ・成分の検討により 1~10 kN/m^2 での腫瘍モデルを製作. また、その一部



図 4 海綿静脈洞周辺モデルへの 2 種の擬似血液 (赤・青) の配置

は静脈血に似ているとの評価も受けたため、海綿静脈洞周辺モデルの血管内部への擬似血液として使用（図4）。

2-3 新たな課題など

光硬化性樹脂を用いた脳実質表面モデルの試作は、数時間以上かかるウレタン性ゲルでの製作に比べ数分から数十分と短い時間で製作できることが利点であるが、素材としての硬さは改善の余地があることが指摘された。また医師から、脳の白質と灰白質は、硬さは異なるが連続的である方が良いとの評価を受けた。当初は脳の溝の深さは1 cm以上に設定していたが、脳ペラで掻き分けることができる深さを持つモデルが求められ、シルヴィウス裂部分では2-3cmほどにもなるため、それを再現することが新たな目標である。

硬膜モデルでは従来のモデルを上回る可能性を持つ新たな製法として電界紡糸法による膜形成を行っている。

微小血管モデルでは安定した太さで余分がない分岐モデルの製作が必要であり、それを他モデルに搭載する必要がある。

また脳手術専用モデルおよびロボット評価用モデルへの硬膜モデル配置のため容易に取替え可能なカートリッジ等の製作が求められた。

3. アウトリーチ活動報告

- ImPACT 公開シンポジウム「バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命」(2017年 8月 8日(火) 13:00-18:10, 東京大学) において試作モデルを公開。

