

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13168 号
------	---------------

氏 名 Mahmoud Gallab Mahmoud
Mohamed Elmolakab Elroubi

論文題目

Eye Surgery Training Simulator Having 3D Microchannels
(3次元微細構造を有する眼科手術訓練シミュレータ)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	名古屋大学	教授	長谷川 泰久
委員	名古屋大学	教授	大岡 昌博
委員	名古屋大学	准教授	丸山 央峰

論文審査の結果の要旨

Mahmoud Gallab Mahmoud Mohamed Elmolakab Elroubi君の論文「Eye Surgery Training Simulator Having 3D Microchannels (3次元微細構造を有する眼科手術訓練シミュレータ)」は、眼科医を訓練したり、様々な種類の眼科手術ロボットを評価するための眼科手術訓練シミュレータに関する研究である。本研究は、眼科手術訓練シミュレータに必要となる、ヒトの眼球の解剖学および機械的特性を、人工的な眼球モデルを用いて再現することを目指したものである。

第1章では、近年の医学教育の中核となる手術シミュレータについて、現在までに開発されている様々な事例について概説している。手術シミュレータを用いた実体・仮想空間による外科教育は、世界的な基盤教育プログラムとして認識されており、様々な外科症例に適用するためのシミュレータが国内外において広く開発されていることを述べている。そして、対象患部のみならず周辺組織の構造も重要な因子であると考え、生体忠実かつモジュール構造を有する眼科手術シミュレータの必要性を述べている。

第2章では、眼科手術シミュレータであるバイオニックアイの基本構造を概観し、これまでに報告されている2種類の眼底モデルを用いて、バイオニックアイの成果を述べている。また、現状のバイオニックアイの課題として、眼底の網膜組織等に見られる3次元的な毛細血管を再現することを提案している。さらに、緑内障手術を練習する為、眼球内の中空な微細環状組織であるシュレム氏管を有する眼球を模擬することの必要性を述べている。

第3章では、末梢の微小血管の3次元構造を有する血管モデルについて述べている。本章では、様々な血管径に対応する為、2種類の方法によって3次元マイクロチャネルの加工方法を述べている。最初の方法は、3次元プリンタ造形物とフォトリソグラフィ法によるマイクロパターンとをモールドとして組み合わせ、シリコーンゴムを注型することにより実現する方法である。10 μm 以上の深さや流路幅の、長方形断面を有する3次元マイクロチャネルを作製できることを示している。二番目の方法は、フェムト秒レーザー露光とマスク露光を組み合わせたFemtosecond Laser and Mask Hybrid Exposure (FMEx)法を用いた方法である。サブマイクロメートルの解像度を持つ直径0.5-20 μm で、円形断面を持つ3次元のマイクロチャネルを製作できることを示している。さらに、FMEx法では、化学増幅レジストを使用した酸拡散効果を利用して、レーザー走査線幅に関係なくより滑らかな円形の流路断面を形成することに成功している。どちらの方法でも、3次元流路構造を作製し、模擬血液を注入できることを確認しており、微細構造を有する末梢血管を再現することに成功している。これらの成果により、様々な生体組織の血管構造を3次元的に模倣することが可能になることを示している。

第4章では、眼球の角膜輪部構造を再現し、近年注目を集める低侵襲緑内障手術のシミュレータとして統合する方法と結果を述べている。眼球モデルの作製に当たり、透明なゴム材を注型し、中空の眼球殻を得た。この成型物は、幅500 μm 、奥行200 μm の断面形状を溝とする環状構造を角膜輪部内側に有しており、模擬シュレム氏管としている。次に、この環状溝構造上に薄膜を積層することを試みている。この薄膜は厚みが約100 μm であり、弾性率が3-50 MPaに調整された塩化ビニル樹脂薄膜をブロー成型法により作製した。これにより、生体忠実に中空な環状構造を有する角膜輪部構造の構築に成功している。さらに、この中空部に模擬血液として希釈した赤いインクを注入し、環状模擬組織が全周囲に渡って中空である事を示している。この模擬眼球をバイオニックアイに搭載し、緑内障手術を専門とする熟練医による評価を受けた結果について述べている。

第5章では、本論文の結論および今後の展望を述べている。

以上のように本論文では、上記成果により眼科手術に特化した統合プラットフォームであるバイオニックアイが、多くの眼科手術に対応するモデルをモジュールとして構築することが可能である事を示した。本研究を通して、末梢の毛細血管を模倣する3次元マイクロチャネルの新しい加工方法や、バイオニックアイへ適用する生体忠実なモデルの実現方法が提案された。本論文の内容は、医療用のトレーニング・評価機器の分野において、今後広く応用が期待され、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるMahmoud Gallab Mahmoud Mohamed Elmolakab Elroubi君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。