

分担研究課題：HMDを用いた人工視覚シミュレーションシステムの構築

研究分担者 不二門 尚 大阪大学大学院医学系研究科 教授
研究協力者 神田 寛行 大阪大学大学院医学系研究科 助教

研究要旨：電極デザインや画像処理の有効性の比較を検証するには、患者を対象とした臨床試験だけでは限界がある。そこで、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いた人工視覚シミュレーターを構築した。このシステムを用いて、画像処理方法の評価を実施した。その結果、顕著性マップを用いることで背景輝度の変化によらず高い視認性を維持できることが分かった。また、当該システムを用いて電極デザインの評価も行なった。その結果電極基板を2枚に増やし、人工視覚の視野を広げることで対象物の視認に要する時間を短縮できることを実証した。

A．研究目的

我々は網膜色素変性等の視細胞変性疾患の治療を目的とした医療機器「人工網膜」の開発を進めている。これは外界の画像をカメラで取得して、画像情報に応じて多極電極から網膜へ電気刺激を行なうことで、視覚を再建する医療機器である。電気刺激によって網膜内の残存する神経細胞が興奮し光感覚が生まれる。

現在、多極電極のデザインや画像処理方法を最適化することで人工網膜による視機能の向上に向けた研究が進められている。理想的には、患者さんを対象とした臨床試験を通じて評価が行なわれることが望ましいが、このような試験の場合、手術等の負担が大きいことや多くの被験者数を募集が難しいなど制限が多い。

そこで今回、我々は人工網膜同様に光の点の集まりで外界の映像を呈示する装置である人工視覚シミュレーターの試作を行なった。これは、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）と小型カメラとノートPCとHMDで構成される。このシステムでは、カメラで捉えた映像をPCで多点電極と同数の光の点に変換してヘッドマウントディスプレイに呈示する。これにより健常被験者が人工網膜の見え方を疑似体験できる。

加えて本研究では、人工視覚シミュレーターを用いて画像処理方法の検討と多極電極デザインの検討を行なった。

B．研究方法

<人工視覚シミュレーターの試作>

体外撮像カメラには小型ウェブカメラ（固定焦点型、640×480画素、BSW13K10H、パツファロー社製）を用いた（図1）。HMDには視野角45度で画素数1280×720の完全没入型のHMD（HMZ-T3、ソニー社製）を用いた（図1）。ウェブ

カメラとHMDをノートPCに接続し、自作の画像処理ソフトを使ってカメラ画像をリアルタイムで49個（7×7画素）あるいは98画素（7×14画素）に変換して、HMD内に表示させた。なお、カメラで取得した画像は画角15度の領域を抽出した。また、HMD内の表示領域は視野角15度に設定した。これは、第二世代型STS人工網膜で得られる人工視覚の視野に対応させるためである。画像処理ソフトはVisual Studio (Microsoft)とOpen CVを用いて、当研究室で自作した。実験で用いるときには、被験者の優位眼のみに映像を呈示した。

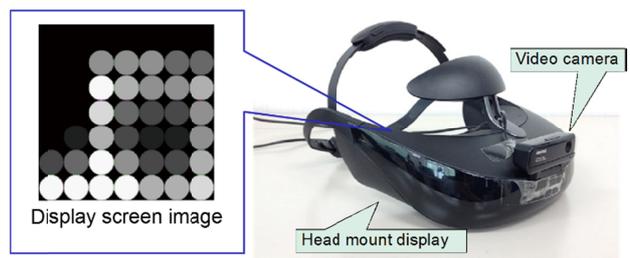


図1. 試作した人工視覚シミュレーター

<研究1. 画像処理方法の検討>

試作した人工視覚シミュレーターを用い画像処理方法の検討を行なった。画像処理は顕著性マップと従来法の2種類検討した。

・顕著性マップ

顕著性マップは、輝度、色、線の移動方向、光の点滅、の視覚的特徴に分類して処理が行なわれる。それぞれの特徴に対して、局所的に顕著性の高い場所が強く強調される。そしてこれらの特徴群を足し合わせることによって顕著性マップが算出される。

試作した画像処理ソフトでは、体外撮像カメラから取得した原画像から、顕著性マップを求め、

視野15°の範囲を抽出した。その後、第二世代STS型人工網膜の多極電極数に合わせて、49個の領域に均等に分割し、各領域にて平均輝度を計算した。これを8階調に変換して49個の光の点としてHMD上に表示した。

・グレースケール

比較対照として輝度値のみをベースに光の点の光量を制御する画像処理方法を行なった。これは第二世代人工網膜に用いられている画像処理方法で、便宜上、本稿においては「従来法」と呼ぶことにする。

原画像から視野15°の範囲を切り取り、これを49個の領域に分割し、各領域で輝度値の平均輝度を計算した。これを、8段階に変換して49個の光点としてHMD上に表示した。

・評価試験

視機能評価として、ローカリゼーションテストを実施した。これは当研究室で試作した視機能評価装置である(図1)。この装置では、1280×1024画素のタッチパネルディスプレイ上に四角形の視標を呈示し、被検者に視標中央を指し示させる。タッチパネルディスプレイに接続したPCで被検者が指し示した場所を自動的に記録し、視標中心からの距離を算出する。

視標の大きさは一辺120画素で、この大きさは被検者の視野の10°に相当する。視標色は白、黒、緑、赤の4種類を用いた。なお、各視標色に対する背景色は、それぞれ黒、白、赤、緑とした(図2)。

画像処理方法(2種類)と視標色(4種類)の全条件(2×4=8通り)に対して、ローカリゼーションテストを実施した。条件を無作為に変え、各条件での試行回数が20回となるよう、無作為に条件を変えて試行を繰り返した。被検者に対して視標色や背景色は伝えずに実施した(単盲検)。試行毎に視標中央から指で指し示した場所までの距離(ずれ量)を測定した。

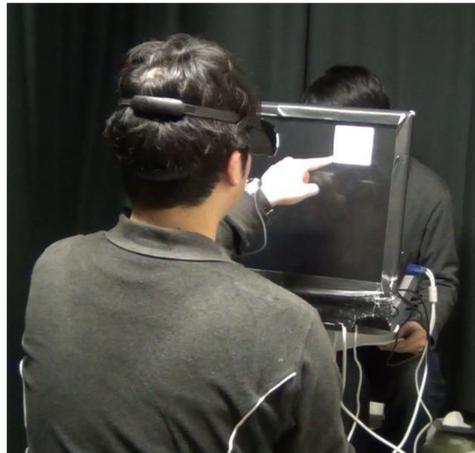


図2. ローカリゼーションテスト

<研究2. 電極デザインの検討>

電極デザインの検討として、電極基板一枚の場合(7×7画素、49ch)と電極基板2枚の場合(7×7×2、98画素)の見え方を人工視覚シミュレーターで比較を行ない、電極基板が増えることによりどのように視機能向上に寄与するかどうか検討した。

一枚基板の場合、二枚基板の場合、それぞれでローカリゼーションテストを実施した。二枚電極、一枚電極の順番でこの試行を20回ずつ行った。視標からのずれ量と、視標が呈示されてからタッチするまでの所要時間を測定した。

解析は、線形混合モデルを用いた。これは、同一被験者から経時的に複数回のデータを取得したからである。二群間(二枚電極 vs 一枚電極)の測定値の差、一枚電極の経時変化、二群間の経時変化の差の検定を行った。なお、所要時間の項目は分布を正規分布に近づけることで統計検定の検出力を上げる目的で、対数化してから解析した。

C. 研究結果

<研究1. 画像処理方法の検討>

図3に各視標における原画像と、従来法、顕著性マップの見え方を示す。白/黒の組み合わせによるハイコントラスト視標の場合は、従来法および顕著性マップ共に視標の位置が確認できる。従来法の場合は、視標の領域が白あるいは黒で表現されたのに対して、顕著性マップの場合は視標の縁が強調されて表示された。

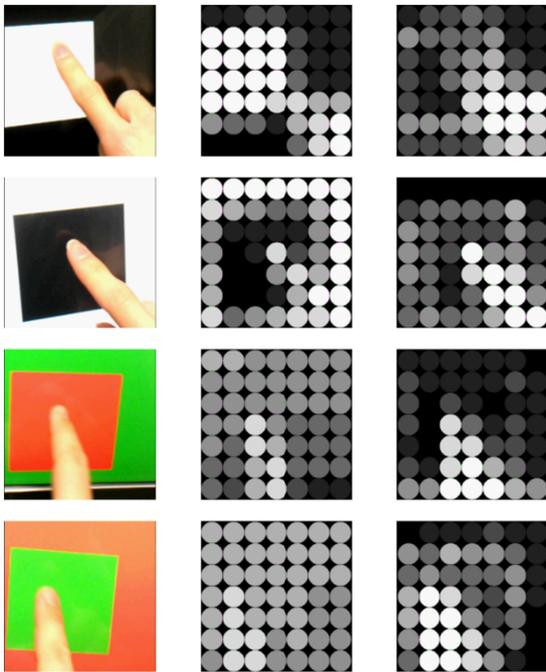


図3 .各視標に対する、原画像(左列)、従来法(中央列)、顕著性マップ(右列)の見え方。上から順に、白視標、黒視標、赤視標、緑視標の見え方の例を示した。

ローカリゼーションテストの結果の一例を図4に示した。赤枠が視標領域を示し、各青点は指で指し示した場所を示す。従来法では白視標や黒視標の枠内を正確に指し示していたが、赤視標や緑視標では視標領域とは異なる部位を指し示すことが多かった。一方、顕著性マップでは、視標色に寄らずどの条件においても視標領域内を正確に指し示した。

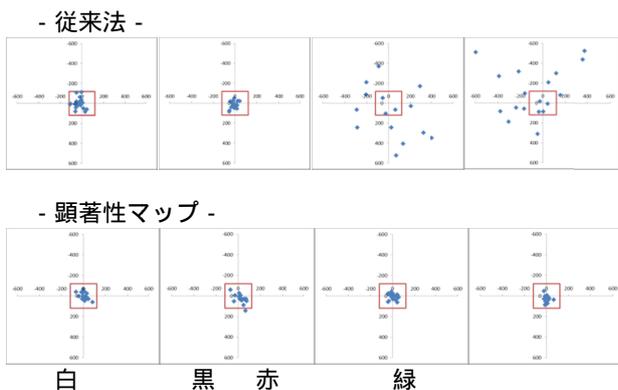


図4 .ローカリゼーションテストの結果の例

各被検者毎のずれ量の中央値を求め、それらを全被検者で平均した(図5)。図の破線は中心から視標外枠までの距離を示す。視標の組み合わせの変化に伴うずれ量の変化について1次元配置分散分析で評価したところ、従来法では $p=0.001$ となり、視標色によってずれ量が有意に変化することが確認された。一方、顕著性マップでは $p=0.911$ となり、異なる視標色でずれ量に有意な差

は見られなかった。この結果は、顕著性マップでは視標条件が変わっても、ずれ量は変化しないことを示唆する。

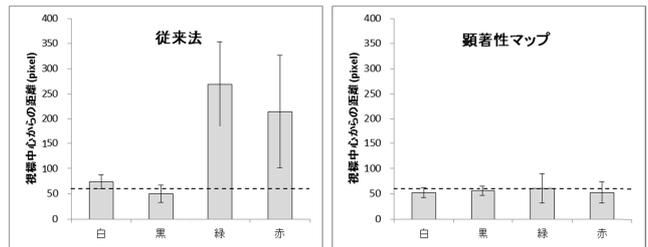


図5 .全被検者におけるローカリゼーションテストの平均

< 研究2. 電極デザインの検討 >

この研究では1枚電極と2枚電極で、ローカリゼーションテストの結果にどのような違いが見られるか評価した。ずれ量に関して評価した結果が図6の左図である。これはずれ量の平均値を試行回数毎に分けて示した図で、青が二枚電極の結果を、緑が一枚電極の結果を表している。線形混合モデルによる解析の結果、試行回数増加に伴う経時変化について両者の差は認められなかった($p=0.368$)。またずれ量の平均値についても両者で有意な差は認められなかった($p=0.076$)

次に所用時間に関する解析結果を図6の右図に示した。両者に経時変化の違いは認められなかったが($p=0.095$)、その平均値については2枚電極の方が1枚電極に比べて有意に短かった($p<0.001$)。

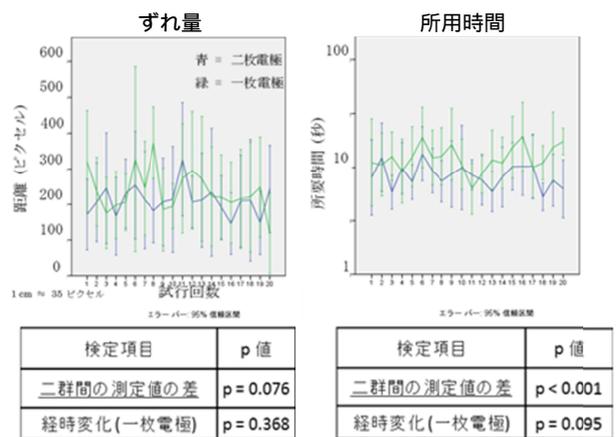


図6 .各電極デザインにおけるローカリゼーションテストの結果。左図：ずれ量の経時変化。右図：所用時間の経時変化。

D . 考察

試作した人工視覚シミュレーターにより、健常被験者を対象とした試験で、画像処理方法の評価および電極デザインの評価を行なうことができ

た。このことから、今回構築した人工視覚シミュレーターの有効性が実証された。本研究を通して新たな知見を得ることができた。

まず、研究1の結果は、視標色や背景色などの環境が変化した場合でも、顕著性マップを用いると高い視認性を維持可能であることを示している。既述の通り、顕著性マップはカラーチャンネルを有している。背景と視標の輝度に差が無くとも、互いの色に差があったため、視標と背景の境界部分が特徴抽出され(図3)、高い視認性を維持することができたのではないかと考えられる。顕著性マップには、運動チャンネルや方向チャンネルなど、一次視覚野の視覚情報処理を模した特徴抽出機能を有する。このような処理により、心理物理的に注意を引く領域のみを強調し、不要な背景情報を消去する事ができるのだと考えられる。

顕著性マップは特に屋外での歩行時に特に有効であると予想される。屋外では、背景が複雑かつ経時的に変化することが多く、従来法では背景の刺激が障害物の視認性を下げる可能性があるが、背景環境の変化によらず顕著性マップでは一定の視認性を維持できると予測される。

研究2の結果、電極基板を1枚から2枚に増やし人工視覚の視野を広げることによって、対象物の視認に至るまでの時間短縮に繋がることが示唆された。電極デザインを1枚から2枚へと増やすことで、人工視覚の視野を獲得することができれば、障害物の回避など歩行時の安全性が高まることが期待される。

E . 結論

今回、人工視覚シミュレーターを構築した。このシステムを用いて画像処理方法の検討を行なったところ、顕著性マップを用いることで背景ノイズを軽減でき、高い視認性を維持できることが分かった。また、電極デザインの検討を行なったところ、多極電極の枚数を増やし視野を広げることで、対象物の視認にかかる時間を短縮できることが分かった。

F . 健康危険情報

該当する危険なし

G . 研究発表

1. 論文発表

原著論文

Kanda H, Mihashi T, Miyoshi T, Hirohara Y, Morimoto T, Terasawa Y, Fujikado T: Evaluation of electrochemically treated bulk electrodes for a retinal prosthesis by examination of retinal intrinsic signals in cats. Jpn J Ophthalmol 58(4), pp.309-319, Jul 2014

Fujikado T, Kamei M, Sakaguchi H, Kanda H, Morimoto T, Nishida K, Kishima H, Maruo T, Oosawa K, Ozawa M, Nishida K: Feasibility of 2nd generation STS retinal prosthesis in dogs. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.2013 Jul pp.3119-3121, Jul 2013

総説

神田寛行, 不二門尚: 電気信号を用いた神経機能再建、脳 2 1 18(1), pp.84-88, 2015年1月

神田寛行, 不二門尚: 【Brain Machine Interfaceの現状と展望】10.視覚 BMI、別冊医学のあゆみ pp.67-73, 2014年1月

神田寛行, 不二門尚: 【Brain Machine Interface (BMI)の現状と展望】10.視覚 BMI、医学のあゆみ 246(4) pp.324-330, 2013年7月

2. 学会発表

Kanda H, Morimoto T, Terasawa Y, Nakano Y, Nishida K, Fujikado T.: Evaluation of long-term implantation of an inactive 49-channel electrode. The Association for Research in Vision and Ophthalmology 2014, Orland USA, May 2014

Kanda H, Kanda T, Nagai Y, Asada M, Fujikado T.: Feasibility of a Saliency Map for a 49-channel Retinal Prosthesis. 8th Biennial World Research Congress on the Relationship between Neurobiology and Nano-Electronics Focusing on Artificial Vision, Detroit USA, Sep. 2014

Kanda H, Nagatani H, Fujikado T.: Evaluation of the Accommodation Response While Viewing Stereoscopic. XII Meeting of the ISA 2014, Kyoto Japan, Dec. 2014

Kanda H.: Research and development of STS type retinal prosthesis. International Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics 大阪, 2014年12月

Kanda Hiroyuki, Morimoto Takeshi, Fujikado Takashi, Nakano Yukari, Terasawa Yasuo: Evaluating the Relationship between Retinal Damage and Electrical Stimulation Intensity with Suprachoroidal-Transretinal Stimulation. 3rd International Conference on medicalbionics Engineering Solutinos for Neural Disorders, Silverwater Resort, Phillip Island, Australia, Nov 2013

Kanda Hiroyuki, Morimoto Takeshi, Terasawa Yasuo, Nakano Yukari, Nishida Kohji, Fujikado Takashi:

Evaluation of safety of porous surface electrodes for STS Retinal prosthesis. ARVO2013 Seattle, USA, May 2013

Fujikado Takashi, Kamei M, Sakaguchi H, Kanda H, Morimoto T, Nishida K, Kishima H, Maruo T, Oosawa K, Ozawa M, Nishida K: Feasibility of 2nd Generation STS Retinal Prosthesis in dogs. Artificial Vision 2013: The International Symposium on Visual Prosthetics, Aachen, Germany, Nov 2013

Morimoto Takeshi, Endo T, Kanda H, Nishida K, Fujikado T: Evaluation of residual retinal preservation by using transcorneal electrical stimulation and optical coherence tomography in patients with advanced retinitis pigmentosa, candidates for retinal prosthesis. Artificial Vision 2013: The International Symposium on Visual Prosthetics, Aachen, Germany, Nov 2013

Endo Takao, Fujikado Takashi, Kanda Hiroyuki, Morimoto Takeshi, Kitazawa Shigeru, Nishida Koji: Evaluation of localization test under simulated very low vision conditions. ARVO2013 Seattle, USA, May 2013

神田寛行、森本壮、寺澤靖雄、中野由香梨、西田幸二、不二門尚：多孔化処理を施した人工網膜用刺激電極の安全性評価、第 117 回日本眼科学会 東京、2013 年 4 月

遠藤高生、不二門尚、神田寛行、森本壮、北澤茂、西田幸二：超低視力者における到達運動の Localization test による評価、第 117 回日本眼科学会 東京、2013 年 4 月

H . 知的財産権の出願・登録状況
(予定を含む。)

1. 特許取得
なし

