

令和 5 年 4 月 11 日現在

機関番号：33934

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K09538

研究課題名（和文）術者の視線データを指標とした手術トレーニング方法と視線計測装置の開発

研究課題名（英文）Gaze behaviors as an objective measure of surgical training, and development of gaze measurement device.

研究代表者

山本 雅也（YAMAMOTO, Masaya）

愛知工科大学・工学部・准教授（移行）

研究者番号：60824133

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は脳動脈瘤に対する血管内治療を行う医師の視線情報を血管内治療のトレーニングに応用することを目的とした。実験環境を構築し、熟練医と訓練医3組の視線データを取得し解析を行ったところ、熟練医と訓練医の視線情報（眼の配り方）に少なくとも以下の2点の相違があることを発見した。1つ目に訓練医は情報に対し、視線を切り替える頻度が低かった。2つ目に熟練医は治療の対象となる動脈瘤だけでなく視線を分散して動かしている割合が高かった。これらの結果が一部の調査対象のみで発生した事象ではなく、多くの医師で発生するものかを調査し、血管内治療のトレーニングへ応用することが今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来では熟練医の暗黙知となっており定性的な技術伝承が主流であった血管内治療のトレーニングを、視線情報により治療の「コツ」を定量的に示し、新しい知見として得られることが本研究の学術的な意義である。この知見を脳血管内治療のトレーニングへ応用することで、訓練医は視覚的な情報を効率よく得る方法を定量的に確認することが可能となる。技術トレーニングを行う際、熟練者の視線情報を参考にするとトレーニング効果が向上することが他分野で報告されており、本分野においても同様の結果が現れることを期待している。訓練医が短時間で高い技術を身につけることは、医療の質と安全性をさらに向上させるという点で社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to apply the gaze behaviors as an objective measure of neuroendovascular of cerebral aneurysms to therapy training. We constructed an experimental environment and analyzed gaze data obtained from three pairs of specialists and trainees neurosurgeons. First, trainees were less likely to switch their gaze in response to information, and second, specialists were more likely to disperse their gaze beyond the aneurysm being therapy. Future work is needed to determine if these results are not just an occurrence in a subset of the study population, but occur in many neurosurgeons, and to apply them to training for neuroendovascular therapy.

研究分野：生体計測 生体情報工学 ヒューマンファクター 人間工学

キーワード：眼球運動装置開発 視線解析 脳神経外科 血管内治療 外科手技トレーニング 医療トレーニング 視線計測 高次認知処理分析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 術者の視線データを指標としたトレーニング方法の開発の背景

ヒトの高次認知処理を解明するにあたって、行動観察のみを指標として分析することは大変困難である。そんな高次認知処理を分析する手法の一つとして、視線計測は19世紀末頃から試みられており、エキスパート（熟練者）とノービス（初学者）の視覚探索方法に差があるという知見が得られている。

動作における認知・判断・行動の過程において、どのように眼に情報を入れ脳で瞬間的に対応するかが動作の速さや正確さのポイントとなるため、指標としての視線は高次認知処理を妨げず非侵襲な測定が可能であるため優れた指標として知られている。

一方、計測装置が高価な点やデータ取得や解析に技術を要することから視線計測の社会実装は未だ一般的とは言い難い現状があり、医療分野でも脳動脈瘤に対して血管内治療を行う医師の視線情報を取得・解析し治療の「コツ」に該当する知見の検討は十分なされていない。

#### (2) 血管内治療の環境下に特化した視線計測装置の開発の背景

また、視線を計測する装置はコンピュータの処理速度、センサ技術、画像処理技術の向上などに伴い、従来と比較して価格は下がり信頼性は向上している。しかしながら、現時点において、国内外老舗メーカーの計測装置は高価な装置が主流であるため導入は容易ではない。

### 2. 研究の目的

#### (1) 術者の視線データを指標としたトレーニング方法の開発の目的

本研究では、脳動脈瘤に対する血管内治療を行う熟練医と訓練医合計3組の視線データを取得し、両者を比較することで視覚情報を得る観点での治療の「コツ」を知見として得ること、さらにトレーニングに応用するための要件を明らかにすることを目的とする。

#### (2) 血管内治療の環境下に特化した視線計測装置の開発の目的

脳動脈瘤に対する血管内治療の環境下に特化して、ロバスト且つ低コストな視線計測装置を開発することで、社会実装を促進させることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 術者の視線データを指標としたトレーニング方法の開発の方法

手術室の環境において医療行為を妨げず、且つ安定した視線計測が可能となるような環境を構築した。視線計測装置と制御PCを耐ノイズ性の高いケーブルで接続し医師の行動が制限されないようケーブル配置を行った。次に、視線データの精度向上を目的とし医師が手術中に情報を得るモニタの周囲にARタグを配置した。（図1）

以上の条件下で、手術シミュレータ（脳血管モデル）に設定した脳動脈瘤を対象に熟練医と訓練医をペアにし、それぞれが術者と助手の役割を行う過程の視線計測を合計3組行った。

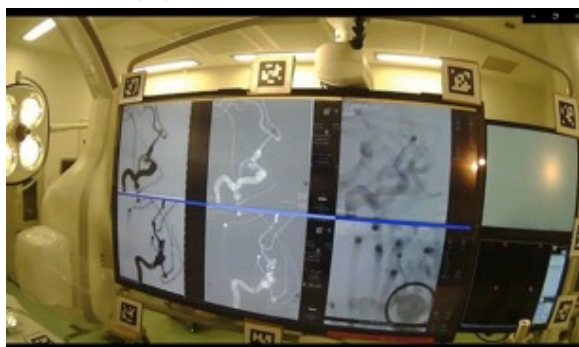


図1 モニタ周囲に設置したARタグ

#### (2) 血管内治療の環境下に特化した視線計測装置の開発の方法

はじめに一般的な視線計測装置のリバースエンジニアリングを行い、カメラで取得した眼の画像に画像処理を施し視線位置の算出までの手法を確立した。ロバスト且つ低コストを達成するため、数万円で購入可能なデプスカメラを用い、距離情報と画像処理を組み合わせることでカメラの能力を補う方法の検討を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 術者の視線データを指標としたトレーニング方法の開発の研究成果

手術室において手術情報を映し出すモニタは図1の左から順に造影画像、造影と透視を合成させたロードマップ画像、透視画像（ネイティブ画像）の順で並んでおり、上段3つは正面から撮影した画像、下段の3つは側面から撮影画像が表示されるよう合計6画面が配置してある。さらに右側に上下2段配置してあるモニタは今回使用していない。先行研究では経験の浅い術者が主に手元を見下ろしている時間が多く手術情報が映し出されるモニタから長時間視線が外れてしまうという報告<sup>①</sup>があった。本研究において手術の「マイクロカテーテルの誘導」と「コイルの挿入」の工程に着目し術者の視線データを解析したところ、実験参加者6名のうち最も経験が浅い者でも長時間手元を見下ろすことなく、手技を完了できる熟練度であったことを確認できた。

本実験によって得られた視線データ解析した結果を図2に示した。図2中のAは実験参加者の

役割ごとの視線の切り替え頻度を示し、Bは視線の平均停留時間、CDEはそれぞれ各実験参加者が術者になったときのロードマップ対ネイティブ(2C)、側面对正面(2D)、動脈瘤対マイクロカテーテル(2E)の視線停留時間比率を示したものである。

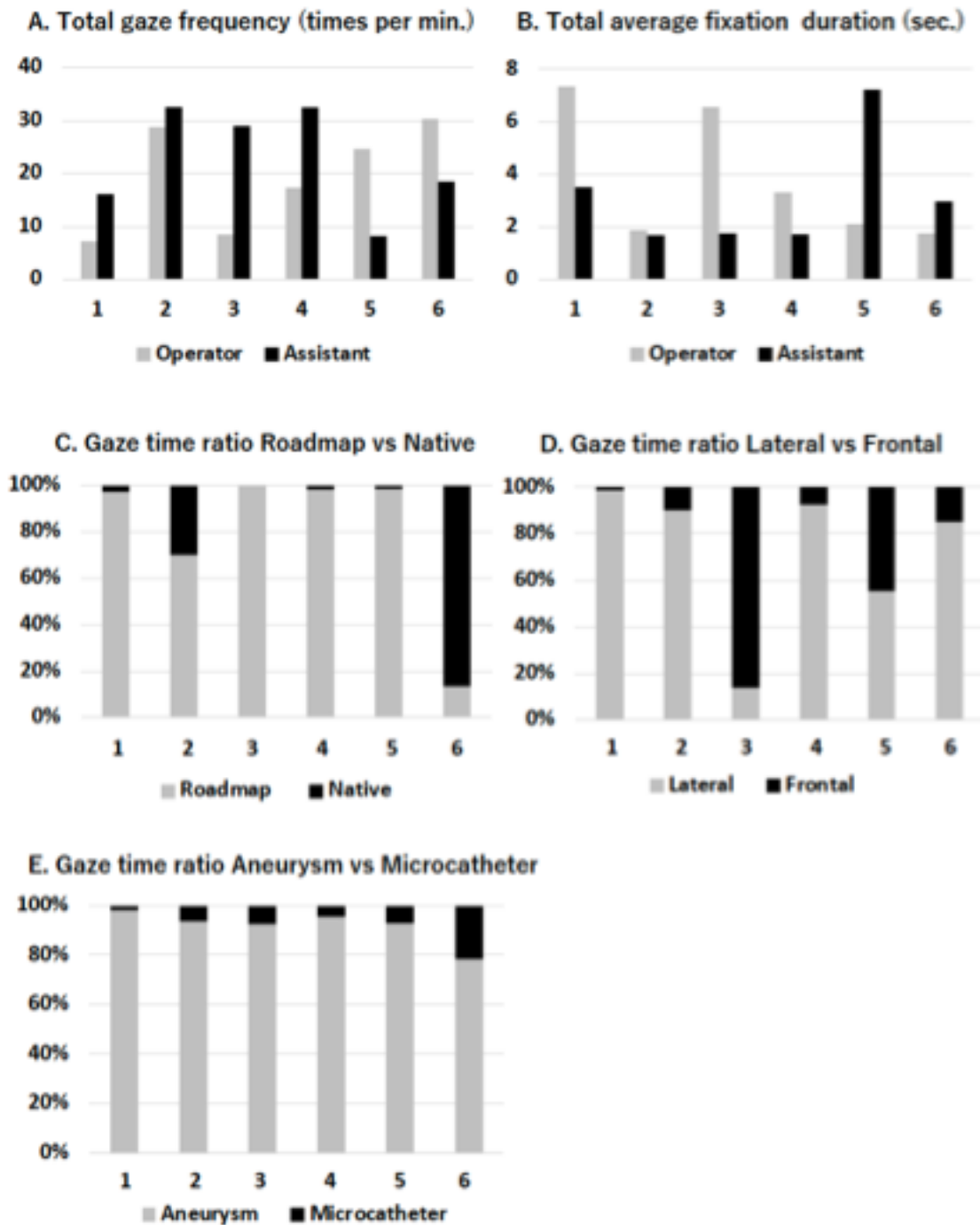


図 2 視線データ解析した結果

以上の結果から以下の考察を行った。

「マイクロカテーテルの誘導」中に熟練医の視線移動の多くは訓練医と比較して正面画像と側面画像の間を切り替える頻度が高い傾向にあった。本実験で使用した脳血管モデルは目的の動脈瘤に到達するまでに複数の動脈瘤が存在し、正面画像で確認しやすい動脈瘤と側面画像で確認しやすい動脈瘤が存在した。このことから、熟練医の視線移動は安全にマイクロカテーテルをナビゲートするため、マイクロカテーテルの誘導中に親動脈の走行や動脈瘤の観察に意識を頻繁に切り替える治療戦略の表れであると考えられる。

「コイル挿入」中は1名の実験参加者を除き、経験症例数が増えるにつれてコイルへの視線移動の総数が増加し、視線が停留する平均時間は減少する傾向がみられた。この結果は庄島らの研究<sup>2)</sup>によるものと一致した。脳動脈瘤に対する血管内治療のコイル塞栓術はコイル挿入時に、挿入したコイルの形状、マイクロカテーテルの先端の位置、マイクロカテーテルのたわみ等の状況が刻々と変化する手技である。このことから、熟練医の視線移動は停留時間を短くし注意すべきポイントに移動することで刻々とした変化に対応する治療戦略の表れであると考えられる。一方で、初学者の視線移動は停留時間が長く、注意すべきポイントへの移動頻度が低いことから刻々と

した変化に対応できず、装置の挙動を見落とし誤操作し易いと考えることができる。

本研究により以下の課題が明確となった。

- ・実験前に眼球計測装置のキャリブレーションを必要とするなど通常の治療行為を除いた実験のための時間が多く必要であったため、実験協力者に研究関係者を含んでいた。
- ・本治療には患部透視のため X 線の照射が必須であり、通常医師は保護メガネを装着して治療に臨む。この保護メガネは視力矯正用眼鏡の上から装着可能なオーバーグラスと呼ばれる構造となっており、視力矯正用眼鏡が必要な医師も問題なく装着して治療を行えるが、この状況でさらに眼球計測装置を装着すると眼の周りの装備品は合計 3 つとなり、保護メガネと視力矯正用眼鏡と計測装置の間で干渉が発生するため計測誤差が大きくなる。
- ・熟練医師固有の傾向は確認できたが、統計評価可能なデータ数の実験が叶わなかったため、この傾向が一般的な結果といえるかが未確認である。

現在、上記の課題の対策を施し、エキスパート（熟練者）とノービス（初学者）の視覚探索方法の統計学的検討を進め普遍的な傾向の確認を進めている。

## (2) 血管内治療の環境下に特化した視線計測装置の開発の研究成果

一般的な視線計測装置はカメラで眼の画像を取得したのち、8 つの工程を経てカメラに映る眼の中にある瞳孔の中心座標を算出する。本研究では、低コストの計測装置を開発することが目的であるため、市販のカメラを調査し良性能低価格の「インテル®RealSense™デプスカメラ D435」を選定し画像の取得テストを行なった。

デプスカメラで取得できる上半身画像から眼の位置を推定(図 3)し、画像処理の負担を軽減させるためグレースケール処理により画像データ量の削減を行なった。次に眼の画像を切り抜くため Haar-like 検出機能を用い眼の領域を推定し、該当する領域を切り抜いた(図 4)。次に眼の中にある瞳孔の位置情報を抽出するため、二値化処理により瞳孔と瞳孔以外の箇所を分別を行なったところ上瞼の淵がくっきりと残ってしまい、後の処理が困難になる結果となった(図 5)。

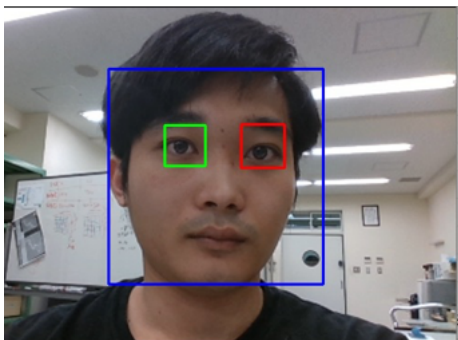


図 3 上半身画像から眼の位置を推定

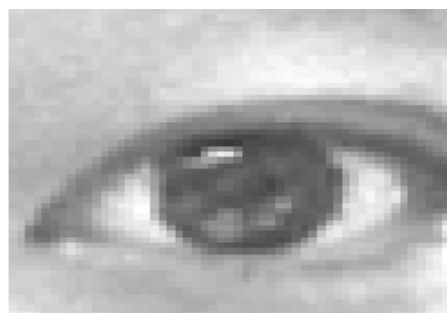


図 4 推定した眼の位置を切り抜き



図 5 切り抜き画像の二値化

本研究のねらいは市販のカメラで取得できる眼の画像の質が落ちたとしても、デプスセンサで得られる距離情報等を用いて補正等を行うことで計測精度やロバスト性を高めることを検討していたが、画像を取得する段階で IR（赤外線）カメラを用いないと、後の画像処理に大きな影響があり補正等を試みる段階に進めないことがわかった。

この結果を受け、IR カメラを用いたテストを実施したが、市販で入手し易いレベルの IR カメラでは画素数が足りず上半身を撮影できる距離で得られる画像から瞳孔の中心座標までを求めることは大変困難であることがわかった。

### <参考文献>

①Shojima M, Okamoto Y, Niizuma K, et al. Preliminary study of eye tracking to investigate the differences in gaze behaviors depending on the experience of neuroendovascular therapy. Surg Neurol Int. 2020;11:351. DOI: 10.25259/SNI\_543\_2020

©Shojima M, Okamoto Y, Ohta M, Niizuma K, Sakai N, Tominaga T. Preliminary study of eye-tracking during the coil insertion task in a Silastic model of intracranial aneurysms. *World Neurosurg.* 2020;139:e827-e835. DOI: 10.1016 / j.wneu.2020.05.012

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takafumi Otsuka, Takashi Izumi, Masaya Yamamoto, Seshita Yusuke, Ryuta Saito, Takeshi Kohama	4. 巻 85(1)
2. 論文標題 Differences in gaze behaviors between trainees and experts during endovascular therapy for cerebral aneurysms: a preliminary study using a cerebral aneurysm model	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nagoya Journal of Medical Science	6. 最初と最後の頁 50-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18999/nagjms.85.1.50	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 泉 孝嗣, 大塚 崇史, 西堀 正洋, 塚田 哲也, 山本 雅也, 池澤 瑞香, 後藤 峻作, クロップ 明日香, 加藤 直毅, 中野 瑞生	4. 巻 5
2. 論文標題 脳血管内治療手技トレーニングへの応用を目指した術中視線動態の解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 脳血管内治療	6. 最初と最後の頁 71-71
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山本 雅也, 高野 太希, 浅井 博誉, 大塚 崇史, 泉 孝嗣, 小濱 剛	4. 巻 22
2. 論文標題 脳血管内治療手技トレーニング中の視線データ解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本コンピュータ外科学会誌	6. 最初と最後の頁 275-276
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Takafumi Otsuka, Takashi Izumi, Masaya Yamamoto, Hironori Asai, Taiki Takano, Masahiro Nishihori, Tetsuya Tsukada, Kojiro Ishikawa, Hayato Yokoyama, Eiki Imaoka, Ryuta Saito
2. 発表標題 脳血管内治療における術者の視線動態
3. 学会等名 第30回脳神経外科手術と機器学会（CNTT）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本雅也, 高野太希, 瀬下裕介, 大塚崇史, 泉孝嗣, 小濱剛
2. 発表標題 脳血管内治療手技トレーニング中の視線データ解析2
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会・第36回日本生体磁気学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬下裕介, 大塚崇史, 泉孝嗣, 小濱剛, 山本雅也
2. 発表標題 脳血管内治療手技トレーニング中の視線データ解析3
3. 学会等名 第17回空間認知と運動制御研究会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaya Yamamoto, Taiki Takano, Hironori Asai, Takafumi Otsuka, Takashi Izumi, Takeshi Kohama
2. 発表標題 脳血管内治療手技トレーニング中の視線データ解析
3. 学会等名 第29回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Izumi, Takafumi Otsuka, Masahiro Nishihori, Tetsuya Tsukada, Masaya Yamamoto, Mizuka Ikezawa, Shunsaku Goto, Naoki Kato, Mizuki Nakano
2. 発表標題 脳血管内治療手技トレーニングへの応用を目指した術中視線動態の解析
3. 学会等名 第36回NPO法人日本脳神経血管内治療学会学術集会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	泉 孝嗣  (Takashi Izumi)  (90467291)	名古屋大学・医学系研究科・准教授   (13901)	
研究 分担者	小濱 剛  (Takeshi Kohama)  (90295577)	近畿大学・生物理工学部・准教授   (34419)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------