

正視覚力推進研究所活動実績報告書

2020年11月1日～2021年10月31日

2021年11月30日

所長 海老澤嘉伸

我々は、非接触かつ遠隔で瞳孔を検出する技術を構築してきた。それを元に、人間の健康状態、特に、目の健康状態を日々の生活の中から、感知できる装置やシステム、ネットワークの構築を目指して研究を行う予定で発足された。進展があった研究のうち一部について紹介・報告する。

I 研究活動

1. 遠隔眼底状態検出装置の構成と眼底血中酸素飽和度計測

糖尿病性網膜症などの眼底の異常は、眼底の血中酸素飽和度の低下を生じさせる。一般的な眼底検査装置は、覗き窓を覗くように、拘束性が高い状態で、眼底の血管の詳細な状態が計測・診断される。近年、2波長以上の異なる波長の光を眼底に照射し、得られる画像の2波長間の輝度の差から眼底の動脈・静脈・その他の部位の血中酸素飽和度を得るための装置が開発されている。それらは、血管の詳細な情報が得られるため大変有益であるが、日常のヘルスケアには不向きである。

これまで、我々は、不可視な近赤外線 LED 光源（中心波長が 850nm と 940nm）を時間的に隣り合うフレームで顔に照射して、ビデオカメラ画像を解析して、標準的には 50 cm 程度の距離から瞳孔位置/視線を検出する装置の開発をしてきた。瞳孔像をビデオカメラで捉える際に、眼球の表面に焦点を合わせて撮影する。その場合は、眼底には焦点が合わず、眼底のぼけた画像が、瞳孔が光った画像として撮影することができ、瞳孔領域内の輝度平均を計測することにより、眼底の一部の領域の反射光をマクロ的に計測できる。

今回開発した眼底状態計測装置でも、50 cm 程度の距離にある光学系により遠隔から瞳孔輝度を計測する。図 1 に示すように、酸素化ヘモグロビン (HbO₂) と脱酸素化ヘモグロビン(Hb)の吸光係数 対 波長特

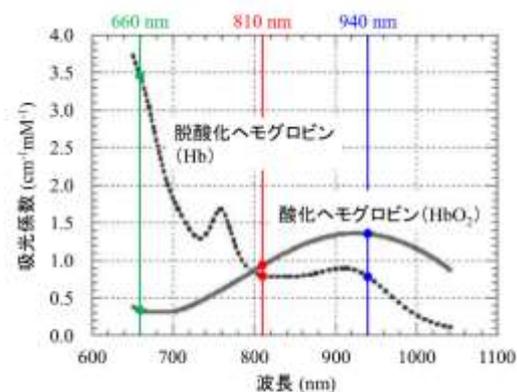


図1 HbO₂とHbの吸光度特性

性は異なる (図 1)。本装置では、従来の 850nm の代わりに、より波長は短いが不可視である 810nm を用い、もう一方は従来通り 940nm の波長の LED 光源を用いた。HbO₂ の Hb の量の比が変化すると、瞳孔輝度比が変化すると仮定して、眼底の血中酸素飽和度に相当する値を計測できるかを確かめるため、次のような実験を行った。

指先の酸素飽和度 (SpO₂) を同時に計測しながら、被験者に 1 分程度呼吸を止めてもらい、再度、呼吸を開始してもらった。この際、瞳孔面積が変化すると、それにより瞳孔輝度が変化するため、それぞれの瞳孔輝度を瞳孔面積で正規化したのち 2 波長間の瞳孔輝度比を求めた。現時点では、頭部や眼球回転による画像中の瞳孔移動が精度を低下させる恐れがあるため、今回は 1 秒間に 2000 コマの撮影ができる高速度カメラを用いて、810nm と 940nm だけでなく、環境光の影響を除外するため無照明の画像をほぼ同時に撮影した。

SpO₂ は、呼吸を止めてからしばらくして数値が低下し、呼吸を再度開始してからしばらくして急激に数値が戻る傾向が見られた。高 SpO₂ の区間と低 SpO₂ の区間を分けて瞳孔輝度比の平均と標準偏差

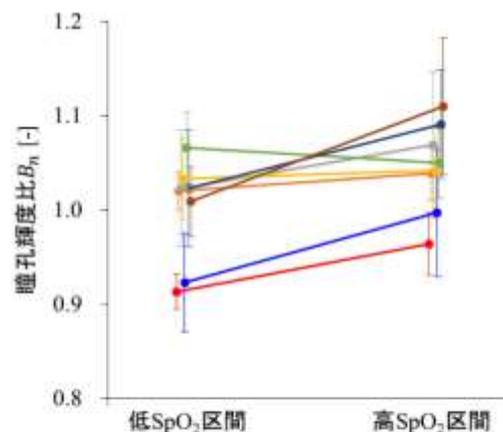


図2 実験結果: 低 SpO₂ 区間と高 SpO₂ 区間での瞳孔輝度比の変化

を求めた。被験者は健常な大学生 4 名で、各学生 2 回ずつの計 8 回の試行をしてもらった。8 回の試行のうち、他とは逆方向の小さな変化を示す 1 回の試行を除いて、同一方向へ変化する結果が得られた (図 2)。この結果は、呼吸を止めて眼底の酸素飽和度が低下することによって生じると予測される瞳孔輝度比の変化傾向に一致した。

なお、本研究内容は、2021 年 11 月 11 日に実施された科学技術振興機構と静岡大学が主催した新技術説明会にて発表した (https://shingi.jst.go.jp/list/list_2021/2021_sizuoka.html)。

2. 広視角範囲注視点検出

頭部が大きく回転しても広範囲の視線移動があっても、注視点が高精度に計測する装置の開発を行った。これまで我々が開発した注視点検出装置では、ステレオ校正をしたビデオカメラ 2 台と近赤外光源を利用して、瞳孔の 3 次元座標と、各カメラ画像における瞳孔と光源の角膜表面での反射点である角膜反射像との相対位置から、視線を求め、それとディスプレイ画面との交点を注視点としてその座標を求めてきた。今回、広角度範囲での注視点の計測を可能にするために、6 台の光学系 (カメラと光源) をほぼ等間隔に並べた (図 3 参照)。まず、このようにカメラを広角度範囲に並べた場合に問題となるのは、ユーザがどの方向を見ている場合でも、一部のカメラでしか、瞳孔と角膜反射が映らないことである。そのため、ユーザ校正を行う場合に (ユーザ校正は、眼球の形状がユーザ毎に異なるため行う)、見る方向を変えながら、隣り合うカメラ 2 台ごとのカメラペアにおいて校正を行うところを、カメラがほぼ均等角度に並んでいることを利用することで中央のディスプレイ画面のほぼ中央に呈示した視標一点を、被験者に数秒注視してもらった (一点ユーザ校正) ときの中央のカメラ

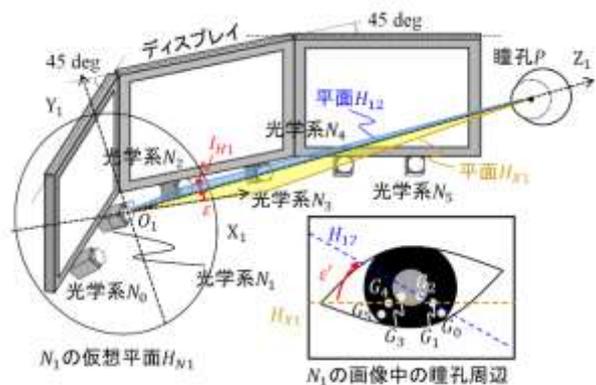


図3 光学系(カメラと光源)の配置ほか

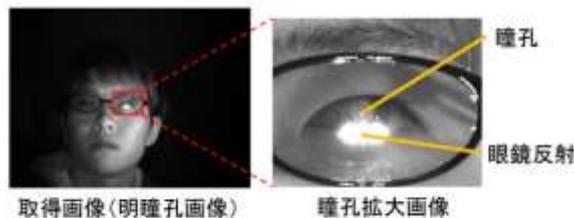


図4 光源の眼鏡反射が現れたときの画像例

ペアから求めたユーザ校正値を他の隣り合うカメラペアにも使用することで対応した。さらに、各カメラの画像においては、ユーザが眼鏡を着用していると、光源の反射像が眼鏡レンズに映り、それが瞳孔や角膜反射像を覆ってしまい、それらを検出できなくなってしまうカメラが存在する (図 4 参照)。その場合、該当カメラと隣り合うカメラとのペアでは注視点検出ができないため、一つ飛びのカメラどうしの画像から注視点を検出するようにした。同時に、前述の一点ユーザ校正の際に、一つ飛びのカメラどうしから得られるユーザ校正値を他の一つ飛びのカメラどうしの校正値として使用するようにした。他にも種々の工夫をしたが、結果的にユーザが、座標が既知な一点を数秒見るだけで校正が終わり、眼鏡をしていても左右±50 度程度までの全域にわたって視角にして平均で 1.5 度以下の精度で注視点が検出できるようになった (図 5 参照)。

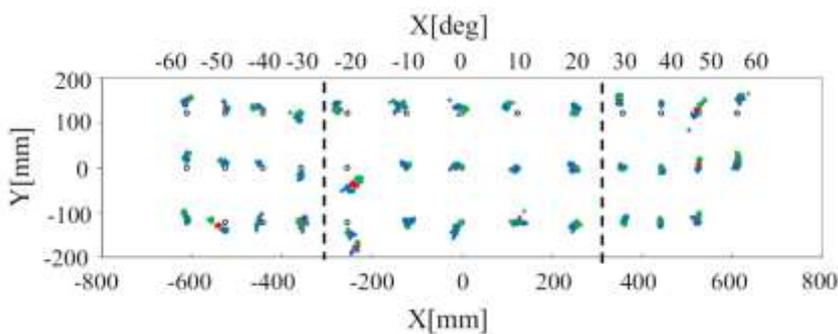


図5 ディスプレイ上の注視点検出結果例(○は視標の位置)

と隣り合うカメラとのペアでは注視点検出ができないため、一つ飛びのカメラどうしの画像から注視点を検出するようにした。同時に、前述の一点ユーザ校正の際に、一つ飛びのカメラどうしから得られるユーザ校正値を他の一つ飛びのカメラどうしの校正値として使用するようにした。他にも種々の工夫をしたが、結果的にユーザが、座標が既知な一点を数秒見るだけで校正が終わり、眼鏡をしていても左右±50 度程度までの全域にわたって視角にして平均で 1.5 度以下の精度で注視点が検出できるようになった (図 5 参照)。

II 収支報告

【共同研究費】

令和2年度 収入： 0 千円、支出： 728 千円

令和3年度 収入：1,000 千円、支出：1,207 千円

【補助金】

令和3年度 収入： 265 千円、支出： 265 千円

【学長裁量経費】

令和3年度 収入：1,000 千円