

[研究助成 (A)]

医療事故回避に貢献する医用画像技術構築のための
生体計測に基づく間接的画像評価

2251010



研究代表者 (助成金受領者)	東北大学 大学院工学研究科	准教授	菊池 洋平
共同研究者	東北工業大学 工学部	教授	三浦 直樹
	東北大学 大学院工学研究科	准教授	狩川 大輔
	東北大学 加齢医学研究所	助教	竹本 あゆみ
	秋田県立循環器・脳脊髄センター	主任研究員	篠原 祐樹
	秋田県立循環器・脳脊髄センター	主任研究員	佐々木 文昭

[研究の目的]

近年、医療 AI や高度画像処理技術の発展により、医用画像技術は急速に多様化している。低線量画像に対する深層学習ベースのノイズ低減や画像補正技術の実用化が進む一方で、画像視認性に起因する医療事故・過誤は依然として重要な課題である。

本研究では、従来の画像の画素値に基づいた定量的な画像評価に加え、人間の反応を利用した「人間を介した間接的画像評価」という概念を提案した(図1)。従来の画像評価では、コントラストなどの数値指標を中心として画像品質を評価してきた。しかし、実際の医療現場では、画像を閲覧する人間の認知・判断過程が介

在するため、これらのみでは捉えられない潜在的な視認性問題が存在する可能性がある。

例えば、血管内治療(IVR)領域では、“ワイヤ先端の視認不良”や“穿通枝迷入の誤認”など、画像視認性に関連した事故要因が報告されている[1]。このような臨床的課題を背景として、本研究では模擬IVR透視画像を用いた視覚課題を構築した認知実験を行った。画像視認性に起因する問題には、行動成績として明確に顕在化するものだけでなく、実際の診療環境において長期間蓄積した結果として事故へ寄与する潜在的な問題も存在すると考えられる。実験で得られた行動成績を顕在的指標、眼球運動およびfMRIを潜在的指標として位置付け、生体計測情報による高感度の画像評価手法の成立可能性を検証した。

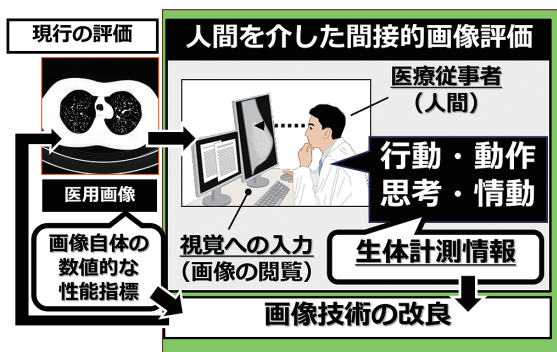


図1 医療安全のための高感度画像評価

[研究の内容、成果]

1. 模擬IVR画像を用いた眼球運動計測/fMRI実験

画像視認性の変化が人間へ与える影響を定量的に評価するため、模擬IVR透視画像を用いた実験系を構築した(図2)。視覚刺激として、人体の透視画像内を移動するワイヤ(ガイド

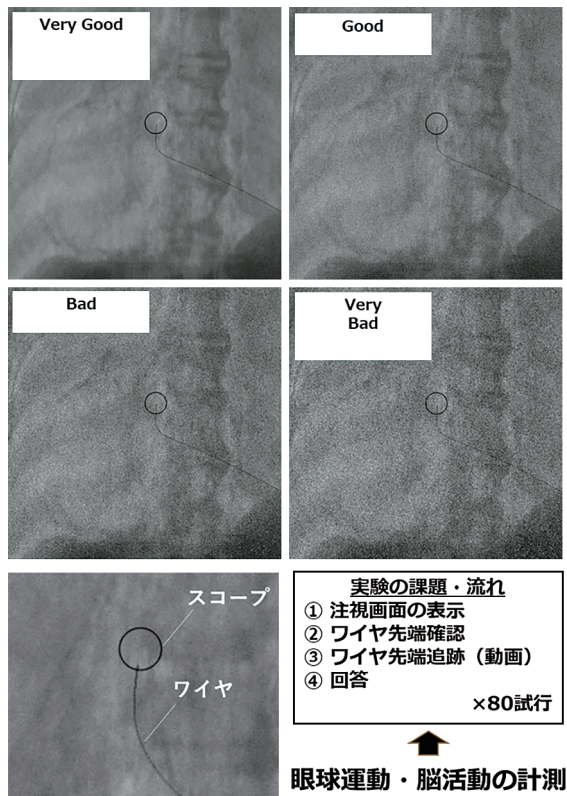


図2 模擬透視画像課題および生体計測の概要

ワイヤーを想定)の先端を含むIVRの模擬動画を作成した。ワイヤ先端の視認性(CNR: Contrast to Noise ratio)が異なる4条件(Very Good (CNR = 3)/Good (CNR = 1.4)/Bad (CNR = 1)/Very Bad (CNR = 0.7))を設定し、段階的な視認性変化が人間へ与える影響を評価できるようにした。被験者はワイヤ先端を追跡する課題を実行し、課題終了後に所定の設問への回答を行った。ワイヤ先端は人体の呼吸等を模擬した体動により移動し、先端周辺には位置が固定された円形の枠(スコープ)が表示されている。設問は「動画再生中に先端がスコープ外に出た／出ていない」を判断するものである。

本研究では生体計測のモダリティとして、それぞれ、アイトラッカーとMRI装置を用いた2つの実験を行った。前者ではワイヤ先端を追跡しながら課題を遂行し、その際の視線情報を記録した。また、後者ではfMRI環境下で同様の課題を実施し、課題遂行中の脳活動を計測した。被験者から見た課題内容は共通であり、異

なるのは取得する生体情報のみである。この設計により、同一の視認性変化に対して、行動、眼球運動、および脳活動という異なるレベルの反応を比較することが可能である。本研究において重要な考え方は、各指標が異なる感度を持つ評価指標として機能するという点である。一般に、画像の不都合が大きい場合には行動成績(回答の正答率、等)に明瞭な影響が現れる。しかし、不都合が小さい場合には、少なくとも実験的アプローチの調査規模では、その影響は行動成績に現れにくい。実際の医療現場では、このような小さな不都合が多数の症例や長期間の診療の中で蓄積し、結果として医療事故や医療過誤へ進展する可能性がある。そのため、本研究では行動成績を顕在的指標、眼球運動を中間的指標、fMRIを高感度指標として位置付け、各特徴を比較した。本研究は東北大学の倫理承認に基づいて実施された。

2. 解析①：行動(被験者数：28名)

MRI実験時の回答に対して行動の解析を行った。False Alarm率(“先端がスコープ外に出た／出なかった”の誤答率)を評価指標とした結果、視認性低下に伴いFalse Alarm率が増加する傾向が確認された(図3)。特にVery Bad条件では最も高いFalse Alarm率を示し、画像視認性の低下が課題遂行に影響することが確認された。この結果は、本研究で設定した視認性操作が実際に被験者への課題遂行に影響していたことを示すものである。一方で、視認性変化のすべてが行動成績へ明瞭に反映さ

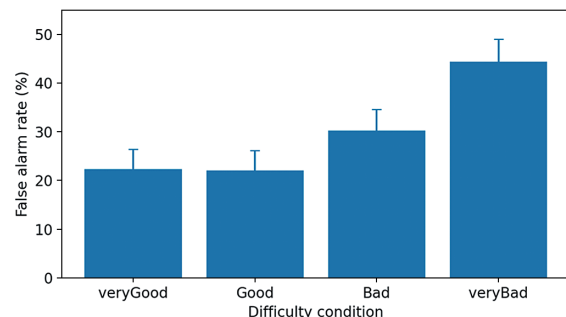


図3 行動成績解析：誤回答率の結果 (N = 28)

れるわけではなく、比較的軽度な視認性低下条件では、行動成績のみからその影響を評価することの難しさも示唆された。

3. 解析②：眼球運動（視線）

眼球運動の指標として本研究では AOI (Area of Interest：関心領域) Dwell Ratio, および, Gaze Spread を主要指標として解析した。AOI Dwell Ratio はターゲット近傍への視線集中の程度を表し, Gaze Spread は視線分布の広がりを表す指標である。解析の結果, 視認性低下に伴いこれらの指標に変化が認められた。AOI Dwell Ratio では視認性が良好な条件間 (Very Good vs Good) における条件依存性が比較的明瞭に観察された。これらは前述の行動分析における False alarm 率では差が見られなかった条件群であり, Good は Very Good と比較して潜在的な不都合を含むと考えられる。これらから視認性低下ではターゲット周辺への注視割合が増加し, 被験者が視認性低下を補うためにより強く対象へ注意を向けている可能性が推測される。また Gaze Spread にも視認性悪化に伴う緩やかな低下傾向の相関が観察され, 探索様式そのものが変化していることが

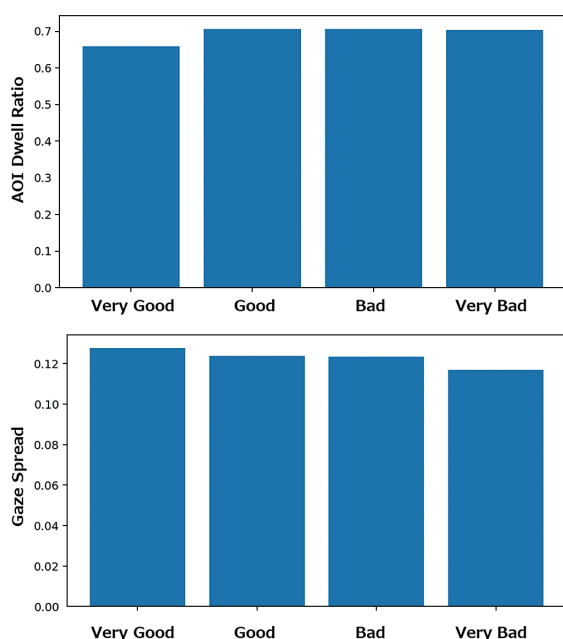


図4 視線追跡解析結果 (Mean, N = 20)

示唆された。

これらの結果は, 眼球運動が単に「どこを見ていたか」を示すだけでなく, 画像視認性変化に対する人間の適応や補償行動を反映している可能性を示している。重要な点としては, 眼球運動指標は行動成績では差が見られなかった範囲の画質の変化を高感度に検出しえたことである。すなわち, 行動成績では差が小さい条件であっても, 眼球運動には変化が現れる可能性が示された。このことから, 眼球運動は画像視認性変化を評価するための中間的な生体計測指標として有用であると考えられた。

4. 解析③：脳活動 (fMRI)

fMRI による脳活動の解析では, Very Bad および Bad の視認性不良の条件と, 視認性最良の Very Good 条件を比較した結果, 後頭葉および視覚野を中心とした活動増加が認められた (図5の①および②)。これらの領域は視覚情報処理に関与する領域として知られており,

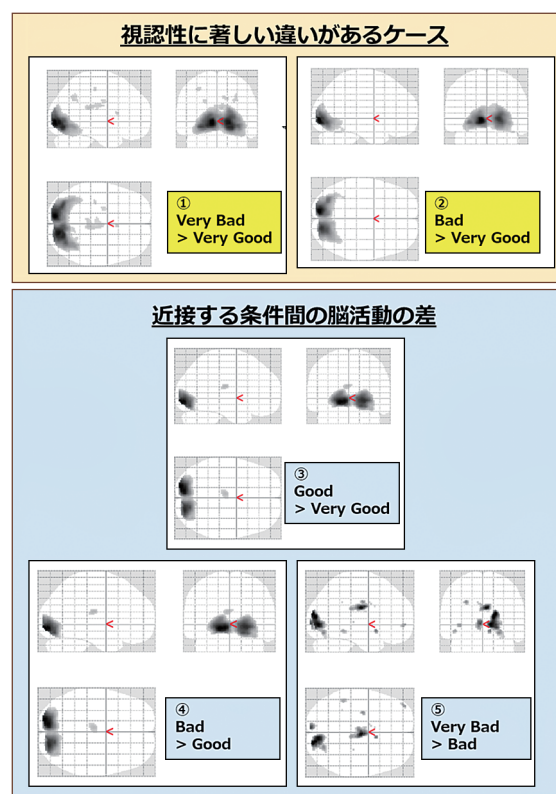


図5 課題条件間における脳活動の比較 (N = 28)

本研究で観察された活動増加は視認性低下に伴う視覚処理負荷の増大を反映している可能性が高いと考えられた。

また、同様の結果が隣接する条件間でも観察された。図5の③～⑤は、それぞれ、Good > Very Good, Bad > Good, Very Bad > Badとなる脳活動領域を示しているが、すべての条件間において当該部位の視認性悪化に伴う負荷増大が確認できる。ここから、広範な潜在的な不具合の検出可能性が示唆された。

5. 本研究の成果

本研究では、行動成績、眼球運動、およびfMRIを同一課題下で比較することにより、それぞれの評価感度の違いを検討した。その結果、行動成績は顕在化した問題を反映する指標、眼球運動は中間的な感度を有する指標、fMRIは最も高感度に視認性変化を検出する指標として位置付けられる可能性が示された。この構造は、従来の画像評価では得られなかった新しい知見である。

さらに本研究は、画像評価と医療安全を結び付ける新たな視点を提示している。従来型の性能評価では、画像そのものの品質は評価できるが、人間が実際に画像を利用する際の潜在的な不都合を評価することは困難であった。本研究で提案した人間を介した間接的画像評価では、

人間の反応そのものを評価対象として利用することにより、そのような潜在的問題を早期に検出できる可能性がある。これは、即ち、医療現場に画像モダリティの実機が導入される前の開発段階において、装置や画像技術単体の性能だけでなく、それを医師等が活用した際の“診療の質”の評価できることを示唆している。

以上の結果から、本研究で提案した手法は、画像視認性に起因する問題を顕在的指標から高感度指標まで多層的に評価できる新しい画像評価の工学的アプローチとして有望であることが示された。今後、行動指標、眼球運動指標、およびfMRI指標の統合解析を進めることで、それぞれの相補性や検出感度の違いをより詳細に明らかにできると考えられる。特に、fMRIデータに対する定量的な解析を通じては、不都合判断のバイオマーカーとして利用できる特定の領域等の脳活動が見つかる可能性もある。また、将来的には画像AIや高度画像処理技術の開発段階において、人間への影響を高感度に評価するための基盤技術として活用されることが期待される。

[参考文献]

- [1] 日本脳神経血管内治療学会法務・医療安全委員会, 東登志夫, 桑山直也: ガイドワイヤー穿通事故全国アンケート調査結果報告, 脳血管内治療, 3, 2, 87-90, 2018.