

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：11101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20240

研究課題名（和文）核医学領域におけるヒトの見え方に基づいた画質評価法の確立

研究課題名（英文）Establishment of image quality assessment methods based on human perception in nuclear medicine

研究代表者

細川 翔太（HOSOKAWA, Shota）

弘前大学・保健学研究科・助教

研究者番号：20790554

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：人の視覚的注意の引き起こし易さを示す指標として顕著性がある。現在では顕著性をコンピュータによって計算で求める手法が多く提案されている。本研究では顕著性を用いて医療画像、特に核医学画像に適応可能であるかを検証した。モンテカルロシミュレーションにより様々な条件下を想定した核医学画像を作成し、顕著性や従来の指標による物理的な評価を行った。また、評価者の主観的な視覚評価と、無意識下での視線情報（デバイスから取得）と、物理的な指標の結果を比較した。従来の指標よりも顕著性の方が視覚評価、視線情報との相関が高く、信号の視認性をよく反映した指標であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の医療画像では画質の向上が図られることから非線形的な処理が使われることも多いが、これにより従来使用されてきた物理的な画質評価指標（コントラストやノイズ）が視覚評価の結果と解離する問題があった。本課題は人の見え方に基づいた顕著性が画質評価に有用であるという仮説を立て、検証した。さまざまな条件下で作成された核医学画像に対し、視覚評価やデバイスから取得した観察者の視線情報と比較することで顕著性が画質評価に有用であることを明らかにした。顕著性を画質評価指標に加えることにより、画質を正しく評価可能であり、再構成条件の最適化、患者の被ばく量の低下、検査時間の短縮など診療に貢献されると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Saliency is an indicator that demonstrates how easily human visual attention can be drawn. Currently, many methods have been proposed for calculating saliency using computers. In this study, we examined whether saliency could be applicable to medical images, particularly nuclear medicine images. Using Monte Carlo simulations, nuclear medicine images under various conditions were created, and evaluated both by saliency and traditional physical metrics. Furthermore, we compared subjective visual assessments by evaluators, unconscious gaze data (obtained from devices), and results of physical metrics. It became clear that saliency correlates better with visual evaluations and gaze data than traditional metrics do, effectively reflecting the visibility of signals.

研究分野：核医学

キーワード：画質評価 顕著性

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本邦において、2002年に18F-Fluorodeoxyglucose - positron emission tomography (FDG - PET)が保険適応となった。この頃より computed tomography (CT) と一体化になった PET - CT 装置が多く施設で導入されるようになった。それからおよそ15~20年経った現在では既に装置を買い替えた施設と、導入した当初の装置を使用し続けている施設が混在している状態である。2010年前後から画質の標準化が問題視されていたが、現在はその差がさらに拡大していると予想される。

画質を把握することは最適な撮像条件や補正条件を検討するうえで重要であるが、近年のPET画像は作成までに多くの処理が施されている。その中には非線形的なものも含まれることから、信号量と画質の関係は非常に複雑になっている。これにより従来用いられてきたノイズやコントラストといった物理的な画質評価指標と、最も重要な視覚評価の結果が乖離する問題が生じている。

これまでPET画像の画質評価には有効なカウント量を示す noise equivalent count (NEC) が広く用いられてきた。しかしながら、装置の性能が大きく異なる場合には NEC による比較は意味を持たない。非線形的な処理が施された最終的な画像に対する総合的な評価指標が必要であり、その指標は視覚評価との相関が高いことが求められる。

2. 研究の目的

顕著性とはヒトの視覚的注意の引き起こし易さを計算によって求めたものである。顕著性を画像として表す顕著性マップをコンピュータで計算可能としたソフトウェアが公開されている。近年では顕著性マップを作成する多くの手法が提案されているが、Ittiらの計算アルゴリズムは最も基本的で多くの実績があり有効性が認められている。本研究では Itti らのソフトウェアを使用して顕著性を算出し、画質評価指標として有用であるかを検討する。視覚評価結果に対して、従来の物理学的指標と顕著性による画質評価の性能を比較して有用性を示すことを目的としている。

3. 研究の方法

視覚的注意はさまざまな因子によって引き起こされることが知られている。Ittiらの計算アルゴリズムでは静止画の色(color)、輝度(intensity)、方位(orientation)によって顕著性を算出しており、動画ではその他にちらつき(flicker)や動き(motion)が加えられている。このうち輝度、方位、およびちらつきが画質評価に有用ではないかと仮説を立てた。

なお本研究では PET 画像に加え、同じく核医学画像である single photon emission CT (SPECT) 画像を対象とした。

(1) SPECT 画像での検討

SPECT 画像に対して輝度および方位の特徴量により信号の描出能および描出形状の正確さを評価した。SPECT 画像を用いた検討ではそれぞれ モンテカルロシミュレーション、自作ファントムを実機で撮像することによって画像を取得した。モンテカルロシミュレーションには Prominence Processor ver. 3.1 および GATE を使用した。以下に Prominence Processor を用いた検討を記載する。

モンテカルロシミュレーションより作成した SPECT 画像

撮像条件は field of view (FOV)が30×30 cm、マトリックスサイズが256×256、ステップ角度は2 - 20 deg/step (360°収集)、カウント量は20k - 200kとした。ファントムは直方体の形状で30×30×10 cmのサイズとした。信号は陰性信号(27.6×13.8 mm)を配置した(図1)。図1左は陰性信号を1個、図1右は陰性信号を12個配置し、1個の信号Aを45°傾けて配置した。再構成条件は ordered subset expectation maximization (OSEM)を用い、更新回数50回(iteration: 5、subset: 10)とした。平滑化にはバターワースフィルタ(order: 8、cutoff: 0.5 cycles/cm)とした。それぞれの画像にて輝度および方位にて顕著性を算出した。

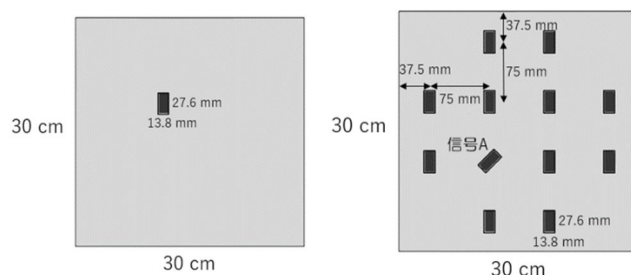


図1. 信号の配置

臨床機で撮像した自作ファントム画像

モンテカルロシミュレーションで模擬したファントムをアクリルにて自作した(図2)。ファントムはスライスを変更することで信号の視認性、描出形状の正確さを評価可能となる構造とした。視認性を評価する陰性信号は円柱1個、描出形状を評価する陰性信号は12個配置し、1個だけ方向を90°変えて配置した。内部は99mTc溶液で満たしバックグラウンドの放射能濃度は18 kBq/mlとした。円形軌道で360°収集をし、FOVは30×30 cm、マトリックスサイズは256×256、ステップ角度は4°、各projectionからは20~160 kcounts得た。画像再構成にはFBP法を用い、バターワースフィルタ(order: 8、Cutoff: 0.5 cycles/cm)で平滑化した。DICOM画像をJPEG画像に変換した。JPEG画像から顕著性マップを求め、信号部の顕著性(Zスコア)を算出した。



図2. 自作ファントム

(2) PET 画像での検討

SPECT 画像は直方体のファントムを用いて基礎的な検討を行ったが、PET では実際の臨床画像を想定して National Electrical Manufacturers Association (NEMA) 規格の Body phantom を用い、陽性像の信号を配置した。PET 画像はモンテカルロシミュレーションおよび臨床機から得られた。シミュレーションではファントム中心から半径 28.6 mm、57.2 mm、85.8 mm の距離において各 6 か所に配置し、撮像時間は 10 秒区切りで 180 秒まで変化させた。3 つの再構成条件を用い、計 972 枚の PET 画像を作成した。この画像を用いて顕著性(輝度、ちらつき)および従来の画質評価指標の算出と、視線追跡デバイス(Tobii 社製 Eyetracker 4c)から得られた視線情報を比較した。

(1)、(2)において各画質評価はガイドラインに基づいて行った。

4. 研究成果

(1) SPECT 画像での検討

モンテカルロシミュレーションより作成した SPECT 画像

信号の視認性を評価する SPECT 画像における各評価結果を図 3 に示す。

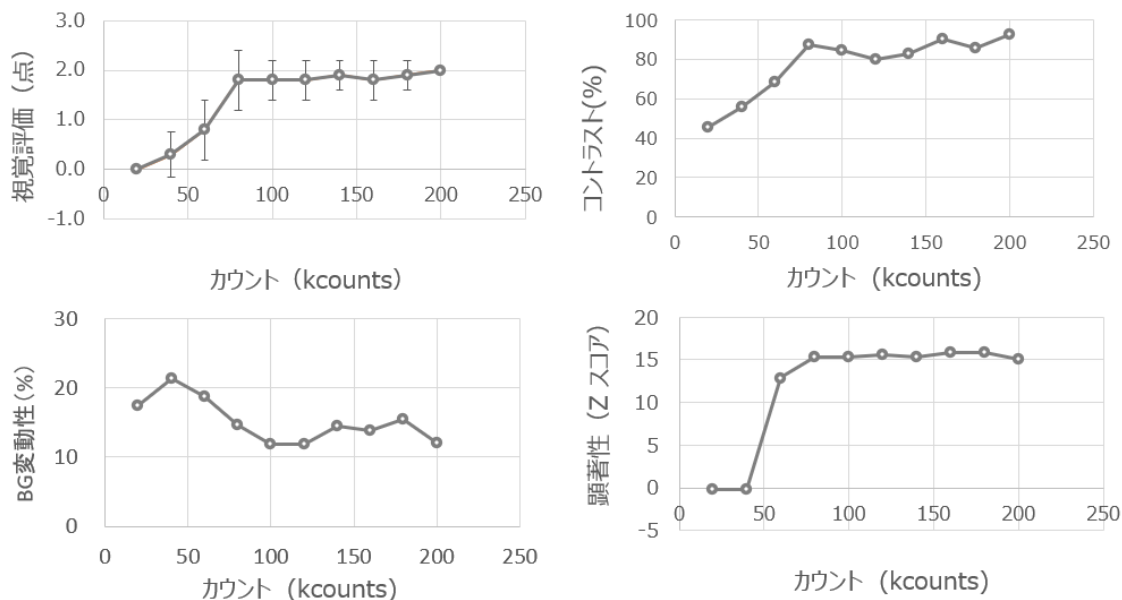


図3. 視認性を評価する SPECT 画像における各評価指標の結果

視覚評価はある程度のカウントに達した後に視覚評価の点数は飽和した。コントラストは視覚評価同様に 80 kcounts が得られた後は値が一定になっている。顕著性は 60 kcounts で急激に上昇しておりその後は同じく一定になった。このデータからはコントラストも顕著性も画質評価指標として有用であることが示された。バックグラウンド変動性はカウントが増えるほど低値を示しており、視覚評価の変化とは一致しなかった。

信号の描出形状の正確さを評価する SPECT 画像における各評価結果を図 4 に示す。

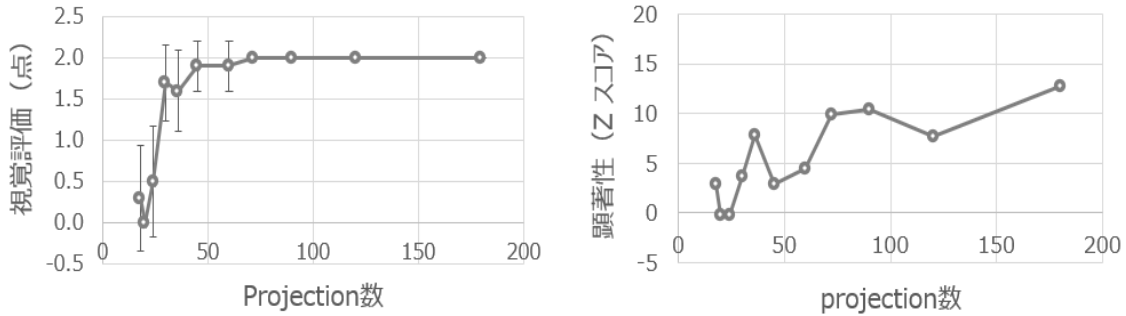


図4．描出形状の正確さを評価する SPECT 画像における視覚評価と顕著性の結果

投影方向数が少ないほど SPECT 画像には歪みを生じさせ、信号の形状が不正確となる。12 個配置した陰性信号の中で方向の異なる信号 1 個を探索する画像において顕著性は視覚評価と相関はあったが ($r = 0.75$)、傾向は異なった。評価者は少ない projection 数においても信号の方向の違いを認識でき、projection が 50 を超えると一定となった。一方で方位の特徴量から算出した顕著性は projection 数が多くなるほど高い値を示す傾向が見られた。視覚評価の代替法とはならないが、描出形状の精度をより詳細に表している可能性がある。

臨床機で撮像した自作ファントム画像

臨床機にて撮像した自作ファントムの画質評価結果（視覚評価、顕著性）を以下の図5に示す。

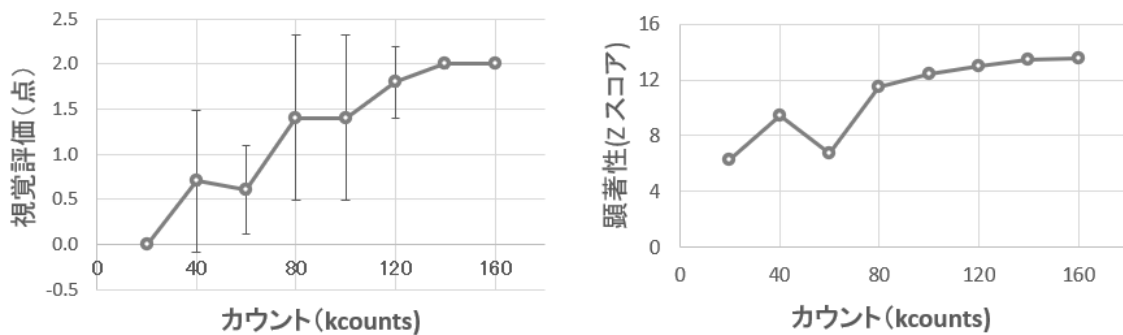


図5．信号の視認性を評価した結果（視覚評価、顕著性）

シミュレーションの結果同様に、輝度から算出された顕著性は視覚評価との高い相関 ($r = 0.99$)が見られた。また、信号の描出形状の正確さに置いても高い相関が見られた（図6）。

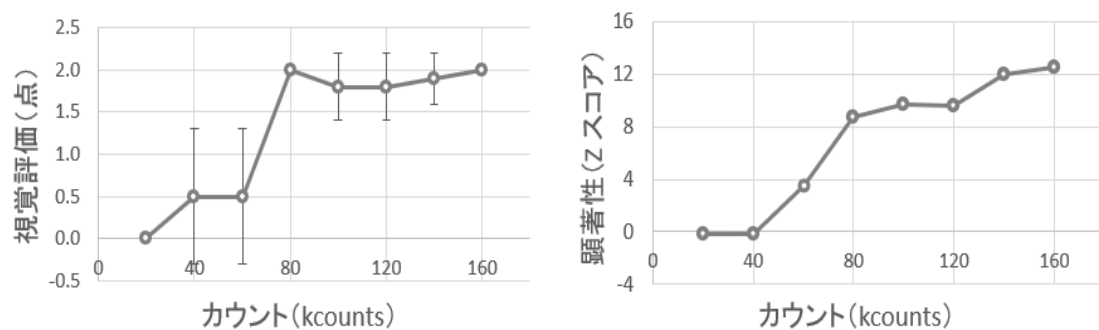


図6．信号の視認性を評価した結果（視覚評価、顕著性）

これらのことから顕著性が画質評価に有用であることが示された。しかしながら、この検討は顕著性の計算の都合上、画像一面にファントムが描出されるように直方体ファントムを使用している点が臨床条件と異なる。

(2) PET 画像での検討

モンテカルロシミュレーションによる検討では大量の画像を取得し、連続的(短時間)に評価者に提示した。無意識のうちに信号に注意が惹かれる視線を視線トラッキングデバイスにより取得し、顕著性(輝度、ちらつき)と相関を求めた。提示した PET 画像と、得られた視線情報の例を図7に示した。ヒトの視線は無意識のうちに画像中心に戻るため、信号がファントム中心にある場合には注視率が高くなり、辺縁に信号が存在する場合に低くなることが明らかとなった。輝度から求めた顕著性と視線情報は 0.94 程度、ちらつきから求めた顕著性と視線情報は 0.8 程度の相関が認められた。顕著性は自然画像の分野で研究されてきたが、核医学のような低解像度の画像においても視線情報(視覚的注意)と良好に一致することが明らかとなった。

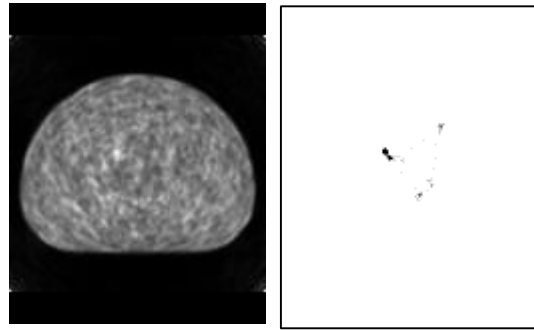


図7 . PET 画像と評価者の視線

臨床機を用いた検討では視線情報と輝度から求めた顕著性、コントラスト、バックグラウンド変動性、コントラスト/バックグラウンド変動性の相関を求めた結果、それぞれ 0.85、0.52、-0.80、0.83 であった。バックグラウンド変動性はノイズを評価しているのに対して、顕著性はその中で信号の視認性を表しており、両者は異なる情報を持っている。組み合わせることで画質評価の精度が向上することが期待できる。

最も重要な評価は読影医による視覚評価であるが、視覚評価は主観的で経験や多くの要因に影響を受ける。また、読影医を複数人準備することや、読影環境の統一など労力を要する。物理学的指標のように誰が計算しても同じ結果になり、客観的な方法で視覚評価と同じ評価が可能となれば恩恵は大きい。

これらの検討は全て均質な Body phantom を用いたものであり、信号の他に視覚的注意を惹きつける要因がない条件である。しかしながら、臨床画像を対象にした場合には、様々な構造物が存在し、画素値の変動も大きい。よって、スライス間での画素値の変化に着目する(ちらつきによる顕著性)ことで顕著性を算出可能であると考えた。しかしながら、スライス間の構造物の変化は小さいものの、それが顕著性に与える影響は大きく、また患者によって千差万別であった。これらの影響を排除するべく検討を行ったが解決には至らなかった。検討の余地として人工知能を用いた画質評価が考えられ、今後の検討課題とした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Hosokawa Shota, Takahashi Yasuyuki, Inoue Kazumasa, Nagasawa Chimo, Watanabe Yuya, Yamamoto Hiroki, Fukushi Masahiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Validation of a Saliency Map for Assessing Image Quality in Nuclear Medicine: Experimental Study Outcomes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiation	6. 最初と最後の頁 248 ~ 258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/radiation2030018	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 Hosokawa S, Takahashi Y, Inoue K, Sagara H, Kano D, Nakagami Y, Fukushi M	4. 巻 9
2. 論文標題 Simple image quality assessment using PET and CT image information	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 診療放射線学教育	6. 最初と最後の頁 21 ~ 26
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 有
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 細川翔太, 高橋康幸, 井上一雅, 杉沼愛花, 寺尾誌織, 加納大輔, 中神佳宏, 渡辺侑也, 山本裕樹, 福土政広	4. 巻 41
2. 論文標題 顕著性を用いたヒトの見え方に基づくSPECT画像の客観的画質評価の基礎的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 核医学技術	6. 最初と最後の頁 175 ~ 184
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 有
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0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------