

氏名	ズン ナムフォン DUONG NAM PHONG
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博 1 2 1 3 号
学位授与の日付	令和 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	Study on Objective Evaluation of Aesthetic Outcome in Breast Reconstruction Surgery Using 2D and 3D Images (2D・3D 画像を用いた乳房再建術の客観的整容性評価に関する研究)
審査委員	(主査) 准教授 福澤 理行 教授 梅原 大祐 教授 水野 修 自治医科大学 准教授 素輪 善弘

論文内容の要旨

乳房再建手術は、乳がん治療における乳房切除術または乳腺腫瘍摘出術で変形した乳房の形状回復を目的とし、その成功は、自然さ・対称性・全体的な調和などの外観要因に基づく整容性によって評価される。現在は、形成外科専門医の目視観察によるスコアリングが一般的だが、主観評価であるため、評価者間の偏りや変動が課題となっている。2D および 3D の胸部画像を用いた客観評価や機械学習による予測も試みられているが、臨床症例における胸部画像は入手困難であり、データセットの作製方法も未確立であるため、その臨床応用は未だ限られている。

そこで、本論文では、限られた症例数下でも予測モデルの学習を実現するため、2D・3D 胸部画像に個別設計された 2 種類の整容性評価フレームワークを提案し、日本の形成外科でよく用いられる観点別整容性スコアに即した整容性予測モデルを試作した。また、整容性スコアの評価者間変動に関する分析も試みた。提案フレームワークの特徴は、胸部画像そのものではなく、2D 胸部画像から生成した 2D 乳房外観フィンガープリント、3D 胸部画像から抽出した左右乳房の 3D 幾何特徴量群、という前処理後の中間データを整容性予測モデルに入力する点にある。約 170 症例を対象とした実験により、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた整容性予測モデルに最適な 2D フィンガープリントと、整容性の回帰モデルに適用可能な 3D 特徴量とが、それぞれ評価観点毎に存在することが示された。8 種類の評価観点毎の予測結果の合計から得られた総合整容性の予測スコアは、2D・3D の両方で専門医平均スコアと強い相関 ($r \approx 0.9$) を示した。整容性スコアの評価者間変動については、ランダムに選択された 2 症例の一対比較の優劣と、整容性スコアの専門医間平均値に不一致が見られた症例に着目することにより、8 評価観点のうち 6 観点において、評価者間変動に特異的に関連する 3D 特徴量が明らかとなった。これらの特徴量は、整容性スコアと高い相関を示す 3D 特徴量とは異なっており、教師ラベルとして整容性スコアを用いるデータセットでは、評価者間変動への明示的な考慮が必要であることが示唆された。

以上の通り、提案フレームワークを用いて、限られた症例数下でも一定性能の整容性予測モデルの開発が実現し、胸部画像を用いた再建乳房整容性評価への有効性が認められた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、形成外科専門医の目視観察によって評価されてきた乳房再建手術の整容性スコアについて、2D および 3D の胸部画像を用いて予測する手法に関する研究である。CT や MRI など診療に付随して常に撮像される医用画像とは異なり、目視での術後評価である乳房整容性評価では、臨床症例における胸部画像の入手は困難であり、データセットの作製方法も未確立であることが予測モデル学習の障害となっていた。

提案手法は、胸部画像そのものではなく、2D フィンガープリントや 3D 幾何特徴量群という前処理後の中間データを予測モデルに入力することによって、限られた症例数下でも予測モデルの学習を実現する点に学術的新規性があり、胸部画像の収集から前処理や予測モデル学習までを網羅したフレームワークを独自に提案・構築した点に臨床研究上の実用性があると考えられる。

本フレームワークを用いて、複数の医療機関から提供を受けた約 170 症例の胸部画像から作製された、2D フィンガープリントと 3D 幾何特徴量群のデータセットは、我が国の乳房整容性評価研究においては特筆すべきボリュームであると言える。2D フィンガープリントと CNN モデル、3D 幾何特徴量群と回帰モデルのそれぞれの組み合わせによる整容性予測モデルは、総合整容性スコアが専門医平均スコアと強い相関($r \approx 0.9$)を示しており、教師データである整容性スコアの評価者間変動が無視できない点を考慮すれば、整容性予測モデルとして一定の性能を達成したと考えられる。また、本論文では、整容性スコアの評価者間変動についても、一対比較の優劣との不一致症例に着目することで、評価者間変動に特異的に関連する 3D 特徴量も発見している。この結果は、整容性スコアを教師ラベルとするデータセットにおいて、評価者間変動を考慮することの重要性を示唆している。

以上の通り、本論文の提案手法は、限られた症例数下でも整容性予測モデルの学習を実現した点で、乳房整容性の画像評価における一定の学術的貢献を示したものと評価できる。

本論文は、以下に示す 2 編の査読付き国際会議プロシーディングを基礎としており、このうち 1 編は申請者が筆頭著者である。

1. T. Sono, N. P. Duong, Y. Sowa, M. Fukuzawa, A clinically-oriented 2D image-analysis system for appearance appearance-based aesthetic outcome evaluation of breast reconstruction surgery, CTU Journal of Innovation and Sustainable Development, 17 (Special issue: ISDS), 37-46, 2025. DOI: 10.22144/ctujoisd.2025.051
2. N. P. Duong, T. Sono, Y. Sowa, M. Fukuzawa, Retrospective Contribution Analysis of Intrinsic 3D Breast Features for Esthetic Outcome Evaluation of Breast Reconstruction Surgery, In: Thai-Nghe, N., Do, TN., Benferhat, S. (eds) Intelligent Systems and Data Science. ISDS 2025. Communications in Computer and Information Science, vol 2714. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-95-3358-9_11