



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	マウス後肢リンパ浮腫モデルにおける新たな評価法としての3Dスキャナーの有用性に関する研究
Author(s)	徐, 東經
Description	配架番号 : 2992
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医学)
Dissertation Number	甲第16899号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16899
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99744
Type	doctoral thesis
File Information	SEO_Dongkyung_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（医 学） 氏 名 徐 東 經

学 位 論 文 題 名

マウス後肢リンパ浮腫モデルにおける新たな評価法としての 3D スキャナーの有用性に関する研究
(A Study on the Utility of 3D Scanners as a Novel Evaluation Tool in a Mouse Hindlimb Lymphedema Model)

【背景と目的】

マウスモデルにおけるリンパ浮腫の評価には、これまで主に接触式の手法（ノギスによる足底厚測定や糸による周径測定）が広く用いられてきた。しかしこれらの方法は、測定者の技術や習慣に依存するため客観性に欠け、再現性に乏しい点が課題とされていた。一方、非接触型の画像評価技術（CT や MRI）は客観性と精度に優れるものの、機器のコストの高さや操作の煩雑さ、放射線被曝の問題があった。

本研究では、これらの課題を克服することを目的とし、民生用 3D スキャナーを用いたマウス後肢リンパ浮腫モデルの新しい評価法を検討した。特に、専用設計した回転型スキャン装置とオープンソースソフトウェア（3D Slicer）を組み合わせることで、従来の方法と比較して測定者間のばらつきが少なく、再現性・操作性に優れた定量評価法の確立を目指した。加えて、最も正確とされている μ CT を参照としつつ、3D スキャナーによる面積・体積測定の妥当性、操作時間、トレーニング効果なども多角的に解析した。

【材料と方法】

本研究では、マウス後肢リンパ浮腫モデルにおける新規定量評価法の確立を目的として、市販の 3D スキャナーを用いたスキャン方法と解析手順の検討を行った。生後 8 週齢、雄の C57BL/6N マウスを用いた。リンパ浮腫モデルとして当科で開発したシリコンプリントを用いた後肢リンパ浮腫モデルを用いた。

3D スキャンは、3D プリンターで作製した専用のスキャナー固定装置を用いて行った。装置はスキャナー本体、回転モーター、マウス用台座などを留置できるように構成されており、一定の速度（3～4 rpm）でマウス後肢を 360 度回転させることにより、全周囲からのデータ取得を可能とした。スキャンデータはスキャナー制作会社が提供するソフトウェアを用いて仮想データに変換後、フリーソフトである 3D Slicer に読み込んで解析を行った（スキャン法）。

比較検討は、従来の広く用いられる測定法である、糸による周径測定法（シルク法）およびノギスによる足底厚測定法（ノギス法）との比較を行うことにした。

Gold-standard である μ CT により測定した計測値を真値とみなした。

3D スキャン及び従来の方法は個体あたり 3 回ずつ測定を行い、 μ CT は 1 回のみ測定を行った。測定過程はビデオで録画し、測定時間の解析に用いた。

これら各手法における観察者内の再現性、観察者間の再現性、手法間の精度、測定時間、トレーニング効果の評価を行った。統計学的手法として、観察者内の再現性の評価のため ICC（Intraclass Correlation Coefficient）、観察者間の再現性の評価のため箱ヒゲ図、手法間の精度評価のために Bland-Altman 解析、測定者の熟練度に対する解析のために線型回帰解析を行った。断面積及び容積に対する精度の評価のため、 μ CT での測定値と 3D スキャナーでの測定値を Bland-Altman 解析を用いた。

評価対象となったマウスは、浮腫の重症度に応じて 3 群（正常、軽度、中等度）に分類し、各群での測

定精度および再現性も分析対象とした。さらに、スキャン処理に必要な時間、再現性に及ぼす影響についても多角的に検討した。

【結果】

測定者内信頼性に対する ICC 値は 0.75～0.99 の範囲で、‘良好’から‘極めて高い’信頼性を示した。直接的な測定者間信頼性の評価は困難だったが、CT を基準とした測定精度の比較により、測定者ごとの誤差傾向を確認した。従来の方では一部測定者で周径の過小・過大評価が見られたのに対し、3D スキャン法では平均誤差がゼロに近く、信頼区間も狭かった。CT と比較した各手法の精度とばらつきを評価した結果、シルク法・ノギス法では誤差幅が広く、再現性に乏しい一方、スキャン法では誤差が小さく信頼区間も狭いことが確認された。特に浮腫が重度になるにつれ、従来法は誤差が増加したのに対し、スキャン法はすべての重症度において比較的一貫した再現性を示した。新規パラメーター（断面積・体積）の可能性として、CT との比較により、断面積では平均誤差 0.55mm^2 、体積では平均誤差 -15.85mm^3 であった。平均測定時間は、シルク法 68 秒、ノギス法 18 秒、スキャン法 45 秒であった。スキャン法はノギス法よりは長いですが、再現性の高い安定した測定が可能であった。トレーニングによる測定時間や精度の向上は全手法で限定的であった。

【考察】

本研究では、マウス後肢リンパ浮腫モデルに対する新たな定量的評価法として、3D スキャナーを用いた非接触型測定法の有用性を検証した。従来の評価法（ノギス法・シルク法）は、簡便である一方、測定者依存性や再現性の低さ、浮腫の重症度による測定精度の低下など、数多くの課題を抱えていた。今回使用した 3D スキャナーは、民生用でありながらも高精度のスキャンを可能とした。さらに、新しいパラメーターとして、断面積や体積などの空間的データも高精度に計測できた。

スキャン法は、従来法と比較して測定誤差が小さく、再現性が高く、手技の熟練度や測定者の個性や習慣に依存せず、測定者間および測定回数間のばらつきを最小限に抑えることが可能であり、浮腫評価の標準化に寄与する。さらに、一度のスキャンで数多くのパラメーターを測定可能であり、リンパ浮腫の経時変化を観察するのに適した方法と考える。

本研究で提案した 3D スキャナーを用いた手法は、低コスト・高精度・非侵襲という条件を満たし、リンパ浮腫モデルにおける新たな標準評価法としての可能性を有している。今後は、本手法は他の小動物や臨床への応用に拡張し、さらなる有効性の検証が期待される。

【結論】

スキャン法は、高い精度、優れた再現性、測定者依存性の低減、そして複数の評価指標を一度のスキャンで取得可能といった多くの利点を備えている。さらに、この技術は非侵襲的であり、特別なトレーニングをほとんど必要とせず、放射線被曝のリスクもないため、従来の手法と比較してより安全かつ利用しやすい。浮腫の重症度にかかわらず、詳細かつ一貫性のある体積評価を可能とする点からも、3D スキャナーはリンパ浮腫研究における信頼性の高い優れた評価ツールとしての可能性を示している。