



Title	AIセグメンテーションによる肝臓の形態解析と体積の経時的変化に関する研究
Author(s)	木村, 理奈
Description	配架番号 : 2987
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医学)
Dissertation Number	甲第16894号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16894
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99739
Type	doctoral thesis
File Information	KIMURA_Rina_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 木村 理奈

学 位 論 文 題 名

AI セグメンテーションによる肝臓の形態解析と体積の経時的変化に関する研究
(A Study on Hepatic Morphology and Longitudinal Volume Changes Using AI-Based Segmentation)

【背景と目的】CT 画像における臓器領域の自動抽出はセグメンテーションと呼ばれ、臓器の正確な三次元体積を測定することが可能となり、手術計画、移植ドナー評価、治療効果判定など臨床の様々な場面で重要な指標となる。臓器体積は臓器機能と密接に関連し、特に肝臓に関して多くの報告がなされている。一方で、従来の手動セグメンテーションは膨大な時間を要し、さらに観察者間・観察者内でのばらつきが大きい。これに対して近年、人工知能 (artificial intelligence : AI) が急速に発展し、自動セグメンテーションの精度と効率は大幅に向上している。

本研究では肝体積の測定を通じた疾患理解を目指し、第一章では AI モデルの性能評価として、肝体積の測定精度を様々な CT 造影相で比較検討した。次に肝臓は加齢により体積が徐々に低下するとされているが、長期間の縦断的研究は少ないため、第二章では第一章で検証した AI モデルを用いて肝疾患を持たない肝体積を測定し、加齢による肝体積の経時的変化を調べた。これをベースラインとして第三章では種々の肝疾患を持つ症例において肝体積を縦断的に計測し、加齢に対する上乗せ影響を検討した。

○第一章

【対象と方法】2017 年 1 月から 2021 年 12 月に当院で術前 CT 検査を受けた生体肝移植ドナー 34 例を対象とした。CT は非造影、早期動脈相、後期動脈相、門脈相、平衡相の 5 相が撮像された。米国 NIH が開発し GitHub 上で公開されている AI モデルを使用し、肝臓のセグメンテーションを実施した。Part1 ではランダムに抽出した 10 例の 5 相を対象とした。AI モデルでセグメンテーションを行い、放射線科医 A、B の 2 名が AI 推定結果を修正したセグメントを基準に、セグメント一致度をダイス類似度係数 (dice similarity coefficient : DSC) で評価した。また、放射線科医 2 名による解析で高い一致度が得られたため、Part2 では後期動脈相 34 例を対象とし、AI モデルと放射線科医 A のみのセグメントの一致度を評価した。Part3 では AI モデルのみを用いて 34 例 5 相全ての体積を算出し、造影相間の一致度を評価した。

【結果】Part1 では全測定者と全時相における平均肝体積は 1373 ± 319 mL、DSC は 0.978 以上、ICC は 0.881 以上を示し、高い相関が認められた。Part2 では後期動脈相 34 例における AI と放射線科医 A の DSC は 0.986 ± 0.017 と高い一致率が得られた。Part3 では、AI モデルが算出した各相の体積に有意差を認めず、ICC は 0.833 以上を示した。

【考察】AI モデルの性能は放射線科医のセグメンテーションと比較して DSC は 0.978 以上を示し、高い一致度を示した。また、CT の各相においてもセグメントの一致度は高く、造影 CT のどの時相でも使用可能であることが確認された。肝臓は加齢により体積が徐々に低下するとされているが、縦断的研究が行われた報告は少ない。第一章の AI モデルを用いて、第二章では肝疾患のない患者群における肝体積の縦断的研究を行うこととした。

○第二章

【対象と方法】加齢による肝体積変化の調査のため、肝疾患が無く、薬剤性肝障害を引き起こさうる化学療法歴のない症例のうち、2000 年から 2022 年の間に CT で 5 年以上の経過観察が行われた 39 例（計

527 検査)を対象とした。第一章で検証した AI ソフトを用いて CT から肝体積を自動算出し、加齢に伴う肝体積変化を縦断的に解析した。体積変化の解析には直線近似および指数関数近似を用い、それぞれ単位時間あたりの体積変化率を算出した。

【結果】観察期間は 5-20 年、中央値は 13.7 年であった。各症例の肝体積の変化率は、直線近似では $0.95 \pm 1.1\%$ /年の減少、指数関数近似では $1.1 \pm 1.3\%$ /年の減少であった。

【考察】縦断的解析の結果、肝疾患のない症例における肝体積は平均して年 1%程度減少する傾向が示された。第二章で、肝疾患がない場合でも肝体積は加齢に伴って減少していくことが明らかになったため、これを踏まえ第三章では肝疾患と肝体積の関連について検討することとした。

○第三章

【対象と方法】2004 年から 2022 年の間に肝疾患の診断で CT 検査を受け、5 年以上の経過観察が可能であった 200 例（男性 93 例、平均年齢 64 歳、観察期間中央値 2,902.5 日 [IQR: 1,577.8-4,285.3]）を抽出し、合計 3,656 件の CT 画像を対象とした。第二章で用いた AI ソフトでは正常肝では精度が高かったものの、肝疾患症例ではエラーが多く確認されたため、新たに開発されたバーゼル大学が開発したオープンソースソフトウェアである TotalSegmentator を用いた自動セグメンテーションを実施した。対象疾患は、B 型肝炎、C 型肝炎、自己免疫性肝炎、代謝機能障害関連脂肪性肝疾患／代謝機能障害関連脂肪肝炎、原発性胆汁性胆管炎、Wilson 病、アルコール性肝障害、うっ血肝、薬剤性肝炎であった。

【結果】疾患ごとの肝体積の年間変化率を算出したところ、多くの疾患で減少傾向が認められた一方、B 型肝炎／B 型肝硬変、MASH、Wilson 病では増加傾向が観察された。両側 t 検定の結果、PBC+AIH 群のみが有意な減少 ($p < 0.05$) を示したが、その他の疾患群では統計学的に有意な変化率とはいえなかった。

【考察】B 型肝炎や MASH、Wilson 病の一部の症例では炎症や代謝異常に伴う体重増加がみられた一方、多くの慢性肝疾患では線維化や肝硬変進展に伴う減少傾向を示した。しかし、本研究は症例数の不足や治療介入の影響から統計的有意差を得るには至らなかった。今後はより大規模な研究を通じて、肝体積の変化を血液検査や肝予備能評価と統合し、臨床的意義を明確にすることが求められる。

【全体の結論】

第一章では肝臓セグメンテーションを行う AI モデルの性能評価を実施し、複数の造影時相において高精度の肝臓セグメンテーションが可能であり、放射線科医の手動セグメンテーションと比較しても同等の精度を有することを示した。第二章では、この AI モデルを肝疾患のない集団に応用して縦断的解析を行い、加齢に伴い肝体積が年間 1.1%減少することを明らかにした。さらに第三章では、新たに開発された AI モデルである TotalSegmentator を用い、肝疾患症例における肝体積の推移を解析し、疾患特異的な体積変化の評価を試みた。多くの肝疾患で減少傾向が見られたが、統計的有意差は見られなかった。AI を活用することで、多数例に対して自動かつ効率的にセグメンテーションを行うことが可能となり、大規模データを基盤とした体積解析が現実的に実施できるようになった。今後は体積変化と肝機能や予後との関連を精緻に評価し、肝体積計測の臨床応用がさらに進展すると考えられる。