

造影5相CTにおけるTotalSegmentator肝セグメンテーションの相依存性と体積バイアス：肝移植ドナー10例の検討

若林直人, 木村理奈, 常田慧徳, 平田健司, 渡邊史郎, 工藤與亮
北海道大学大学院画像診断学教室

【背景】

- 近年のAIセグメンテーションにより、CT/MRIから臓器領域を自動抽出し体積を定量化することが容易になってきている (Wasserthal et al., 2023, Radiology: AI)。代表的なオープンソースツールであるTotalSegmentator (TS) は、体幹部CTにおいて多数の解剖学的構造を一括で自動セグメンテーション可能なモデルとして報告され、臨床画像からの定量化を現実的にした (Wasserthal et al., 2023, Radiology: AI)。一方、従来の手動セグメンテーションは時間コストが大きく、臨床・大規模研究での継続運用は現実的ではなかった (Gross et al., 2024, Eur Radiol)。AIにより同一ルールで再現性高く体積を算出でき、診療・研究のワークフローに「定量値」を組み込みやすくなっている。臓器体積の定量は肝臓に限らず心臓・腎臓・脾臓・骨格筋など多臓器で利用され、臨床的意義が解明されつつある (Mai et al., 2023, J Cachexia Sarcopenia Muscle)。
- 多臓器で体積定量が普及しつつある中で、肝臓は「体積」が治療方針や予後に直結しやすい代表的臓器である。CTは日常診療で反復撮像されることが多く、AIによる肝体積定量を臨床に組み込みやすい。肝体積定量は、肝切除・肝移植における術前計画 (切除量、残肝容積、移植片容積)、術後の肝再生評価 (体積の経時変化の追跡)、慢性肝疾患の縦断評価 (病態進行や治療反応の定量化) など幅広い臨床場面で価値を持つ。
- 一方、造影dynamic CTでは相によりコントラストや肝境界の視認性が変化するため、AIセグメンテーション精度や体積推定に相依存性 (ロバスト性の差) や系統誤差 (体積バイアス) が生じうる。したがって、AI肝セグメンテーションを臨床応用するには、造影相の違いに対するロバスト性評価と体積バイアスの検証が前提となる。

【目的】

肝移植ドナー候補の5相dynamic CT (非造影：NC/早期動脈相：EA/後期動脈相：LA/門脈相：PV/平衡相：EP) において、TotalSegmentator (TS) の肝セグメンテーション精度と体積誤差を相別に評価し、造影相依存性を検証する。

【方法】

対象：肝移植ドナー候補10例

画像：5相dynamic CT (非造影：NC/早期動脈相：EA/後期動脈相：LA/門脈相：PV/平衡相：EP)

Ground Truth (GT)：放射線診断専門医による手動肝セグメンテーション

AI：TotalSegmentator v2.12.0

評価：TSとGTをDSC/ASD/体積誤差で比較

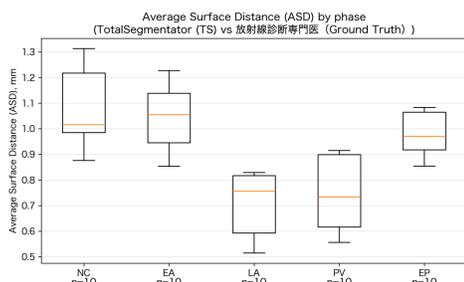
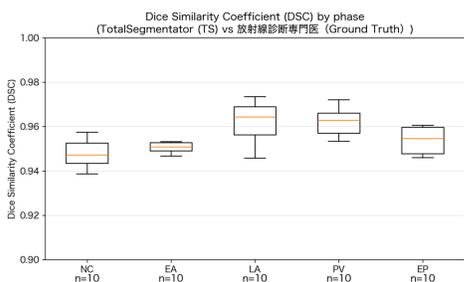
DSC (Dice Similarity Coefficient)

ASD (Average Surface Distance)

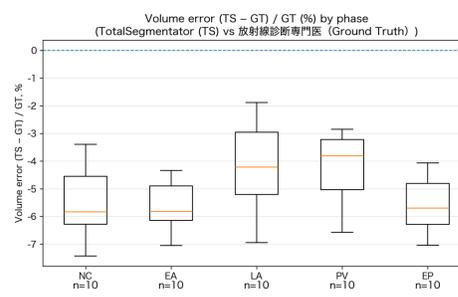
体積誤差 (Volume error, %)

【結果】

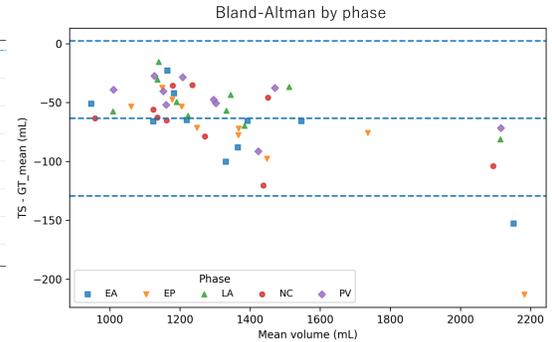
結果①：DSC (Dice Similarity Coefficient) 結果②：ASD (Average Surface Distance)



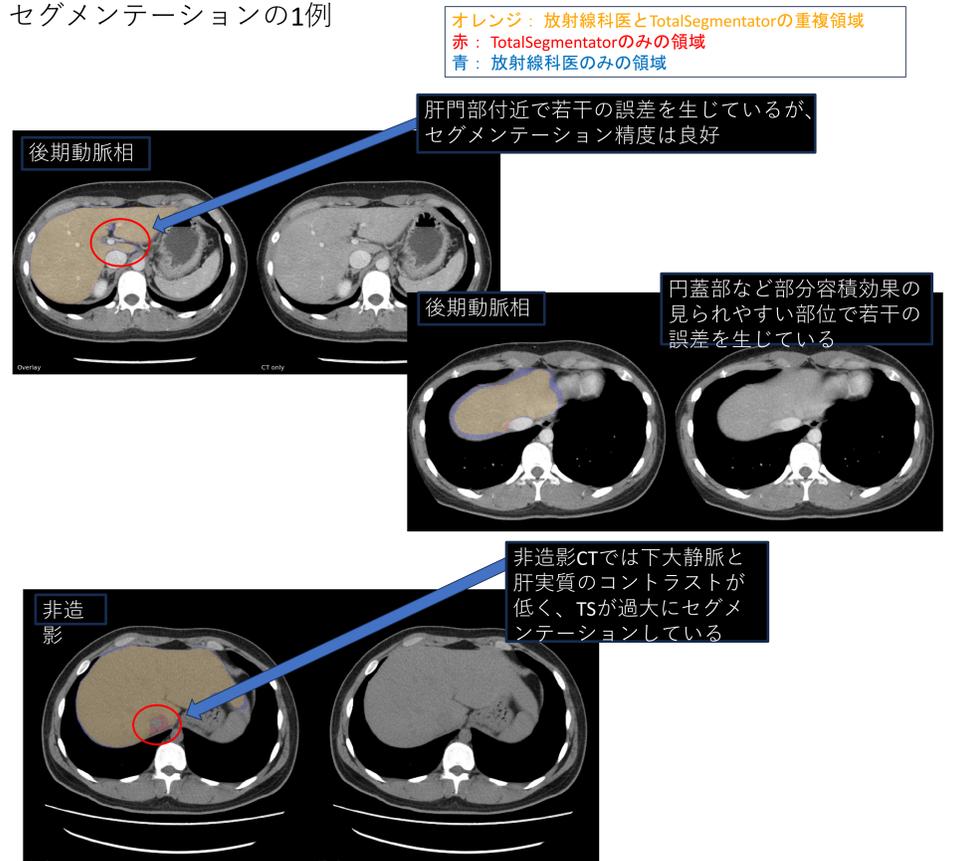
結果③：体積誤差 (TS-GT, %)



結果④：体積のBland-Altman



セグメンテーションの1例



【考察】

- DSCは全相で概ね0.95前後と良好だが、LA/PVで高値、EPでばらつきが大きい
- ASD中央値は0.73~1.05 mmで相により境界誤差の出やすさが異なる
- 体積は全相で過小評価 (体積誤差：-4.21~-5.90%) であり、閾値判断や縦断比較ではバイアス管理が必要
- 実症例では、誤差は「境界コントラスト低下 (下大静脈など)」と「部分容積効果 (円蓋部など)」に集中した

【結論】

- TotalSegmentatorの肝セグメンテーションは5相CTでDSCは概ね0.95前後
- 相依存性としてLA/PVで高値、EPでばらつきが大きかった
- 体積は全相で系統的に過小評価 (-4.2~-5.9%) を示した
- 5相dynamic CTでTSの精度は概ね高いが、相によりばらつきが異なる
- 体積は一貫して過小評価であり、運用上バイアス管理が必要
- 誤差は低コントラスト境界と部分容積効果を生じる部位で生じやすい