



Title	左心室肥大を想定した計算力学モデルによる心筋ストレッチと収縮エネルギーの評価と新規臨床指標の提案
Author(s)	森下, 孝臣
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/88092">https://doi.org/10.18910/88092</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 森 下 孝 臣 )	
論文題名	左心室肥大を想定した計算力学モデルによる心筋ストレインと収縮エネルギーの評価と新規臨床指標の提案
論文内容の要旨	
<p>左心室駆出率 (LVEF) が50%を超えている状態で心不全症状を呈すると、駆出率が保存された心不全 (HFpEF) と診断される。HFpEFの有病率は、心不全の全患者の半分以上を超え、さらに心不全全体の有病率と同様に、世界中で増加している。HFpEFに関する多くの実験および臨床的観察にもかかわらず、心筋動態、特に心筋のストレイン分布や心筋のエネルギーに関して、未だ完全には解明されていない。この問題を解決するために、固定された収縮末期および拡張末期心内容積で、心筋壁厚や心筋線維のスティフネスなど条件を変化させ、心周期中の心筋ストレインの半径方向分布を、連続体モデルに基づく数値解析により求めた。この心筋モデルは、心筋線維方向に沿ったアクティブな収縮応力が心筋電位の変化に依存することを考慮した。様々な生理的条件下で計算を行った結果、壁厚が増加するにつれて半径方向および円周方向のストレインの両方が減少した。これは心肥大を反映するものと考えられる。また、心筋の収縮エネルギーは心肥大で大きくなることを示した。さらに、左心室拡張期内圧の上昇は円周方向ストレインの低下を引き起こし、線維スティフネスの上昇は半径方向のストレインの低下に寄与した。さらに、収縮ポテンシャルエネルギーは円周方向ストレインとよく相関した。心臓ストレインは、心臓機能を推定するための実用的な機械的指標として使用されてきたが、ストレインを測定する心エコー検査や磁気共鳴画像法 (MRI) には特殊な機器が必要であり、正確な測定には熟練を要する。そのため臨床での測定は依然として困難である。したがって、心臓機能を推定するには、ベッドサイドでより簡単に計算できる修正された指標が必要である。そこで、上記の数値解析の結果に基づき、ストレインを推定するための指標として、LVEFと心外膜内の内部容積の収縮率の積である修正駆出率 (mEF) を提案した。計算されたピーク円周方向ストレインと収縮ポテンシャルエネルギーは、LVEFよりもmEFによってより適切に推定された。mEFは臨床試験結果とも整合した。mEFは画像診断法や測定機器に関係なく、心筋および心不全の収縮ポテンシャルエネルギーの低下を示す有用で実用的な指標となる可能性が示唆された。</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (森下 孝臣)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 和田 成生
	副 査	教 授 大城 理
	副 査	教 授 杉山 和靖

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、興奮伝播による心筋の収縮と心筋繊維の配向および心筋組織の粘弾性特性を考慮した心壁の力学モデルを構築し、収縮と拡張を繰り返す円筒形状の心壁内に生じるひずみおよび心筋の収縮エネルギーを連続体理論に基づいて数値的に解析することで、左心室駆出率が変化しない心不全の力学状態を把握し、それを簡便に評価する診断指標を提案したものである。計算解析の結果、左心室駆出率が正常値を維持した状態でも、心壁の肥厚に伴い、心壁内で測定される円周方向および半径方向のひずみが低下するが、心筋全体の収縮エネルギーは増大することが示された。また、左心室拡張期内圧の上昇は円周方向ひずみの低下を、線維スティフネスの上昇は半径方向ひずみの低下を引き起こすことを明らかにした。これらの結果は心壁の厚さを考慮し、連続体の変形を満足するひずみ分布から求められたものであり、臨床診断において医用画像から計測される心壁ひずみの特徴量の理解をさらに深めるものである。また、いずれの条件下においても、心筋の収縮エネルギーは心収縮期の周方向ひずみのピーク値との間に強い相関があることを見出した。従来の臨床指標である左心室駆出率は心内腔容積で評価されるため、心壁の変形成分が含まれていない。そこで、左心室壁外側の容積変化率と左心室駆出率との積で表される新しい指標を提案し、左心室駆出率が変化しない心不全の様々な条件下において、その指標に周方向ひずみが反映されることを計算解析で確認した。さらに、これまでに報告されている臨床データに基づいて分析した結果、提案した修正指標により周方向のひずみを評価し、心不全の診断に利用可能であることを示した。臨床現場において心壁の正確なひずみ計測は困難であるが、左心室の容積変化に基づく本提案指標は比較的計測が容易であり、臨床的意義も高い。以上、本論文は、医療と工学を結ぶ医工学の発展に寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。