

公益財団法人 立松財団 御中

様式 2021A1,A2,B

2026年 3月 16日

所属:名古屋工業大学

氏名: 氏原 嘉洋



2024年度助成

研究経過・終了報告書

※ゴシック文字で記入下さい。

研究テーマ	ナノメカニクスによる心筋細胞の特殊膜微細構造の力学的基盤の解明
研究の結果	<p>心臓の拍動は、心筋細胞の周期的な収縮・弛緩によって生じる。この効率的な収縮・弛緩には、細胞内に規則正しく配列したサルコメア(収縮装置)に加え、その周期に対応して形成される細胞膜表面の周期的構造が重要である。具体的には、サルコメアのZ線に対応して膜表面には溝状構造(Z-groove)が形成され、その間に山稜(crest)が配列する。これらの構造の崩壊は心不全などの病態と関連するが、その力学的性質や維持機構には未解明の点が多い。本研究では、原子間力顕微鏡(AFM)によるナノスケール力学計測を用い、心筋細胞膜の微細構造を形態と力学の両面から解析した。生細胞AFM計測では、膜表面にサルコメア周期に対応した周期的な高さ変化が観察された。この周期的高さ変化は、共焦点レーザー顕微鏡では捉えられないナノスケール構造であり、電子顕微鏡で報告されている所見と定性的に一致した。弾性率にも周期性が認められ、Z-grooveが相対的に高い弾性を示すなど、膜が力学的に不均一な構造を有することが示された。これらの形態および弾性分布に関与する因子として細胞骨格に着目した。細胞骨格の重合状態を操作すると膜形態や弾性分布に変化が認められたが、その変化は細胞間および部位間で様ではなかった。これは、膜微細構造の力学特性が局所的かつ多因子的な制御を受けている可能性を示唆する。このような局所力学の背景を理解するため、走査型超音波顕微鏡(SAM)による細胞内部の力学分布の観察と、共焦点レーザー顕微鏡による細胞骨格構造の観察を併用した。その結果、細胞骨格の重合状態に応じて細胞内部の力学分布と骨格配置に変化が認められ、細胞骨格構造と細胞内力学状態との対応が本計測系において確認された。また、化学固定標本と生細胞を比較すると、膜表面形状および弾性率に顕著な差異が認められた。電子顕微鏡は微細形態の解像に優れる一方で生理的状态の観察が難しく、共焦点顕微鏡や電子顕微鏡では直接的な力学量の取得も困難である。これらの結果は、心筋細胞膜の構造と機能を理解するうえで、生理的状态に近い生細胞を対象としたナノメカニクス計測が重要であることを示している。本研究は、心筋細胞膜に形成される周期的微細構造の力学的基盤の一端を明らかにするとともに、生細胞ナノメカニクス計測が心筋細胞の特殊膜構造を理解するための有効なアプローチであることを示した。これらの知見は、心筋細胞膜の構造維持機構や病態に伴う構造リモデリングの理解に向けた基盤的知見となることが期待される。</p>
研究発表 (実績)	<p><学会発表></p> <ul style="list-style-type: none"> ●氏原嘉洋. 心筋細胞の膜構造にみる高機能化の二つの道—哺乳類のT管膜の力学的柔軟性と鳥類のCa²⁺制御戦略. 第48回日本分子生物学会年会, 2025年12月. 神奈川【招待講演】 ●渡邊翔太, 氏原嘉洋. 細胞骨格の破壊が音響インピーダンスに及ぼす影響. 第21回バイオ超音波顕微鏡研究会, 2025年7月. 東京 ●氏原嘉洋, 市川壮彦, 長尾耕治郎, 永井陽大, 剣持唯舞, 重松大輝, 福間剛士, 杉田修啓, 中村匡徳. ラット心室心筋細胞のT管膜の力学特性解析. APPW2025(第130回日本解剖学会・第102回日本生理学会・第98回日本薬理学会 合同大会), 2025年3月. 千葉 ●渡邊翔太, 杉田修啓, 中村匡徳, 氏原嘉洋. 走査型超音波顕微鏡による平滑筋細胞の力学特性分布計測の試み. APPW2025(第130回日本解剖学会・第102回日本生理学会・第98回日本薬理学会 合同大会). 2025年3月. 千葉 ●辻日向, 金子栄樹, 杉田修啓, 中村匡徳, 氏原嘉洋. 原子間力顕微鏡によるラット単離心筋細胞膜の微細構造観察. 日本機械学会 東海支部第56回学生員卒業研究発表講演会. 2025年3月. 愛知 ●氏原嘉洋. 心筋細胞の適応メカニズムの解明に向けた力学特性解析: バイオメカニクス/メカノバイオロジーの視点から. CVMW2024 心血管代謝週間. 2024年12月. 東京【招待講演】 <p><査読あり学術論文></p> <ul style="list-style-type: none"> ●Ujihara Y, Watanabe S, Morodomi S, Sugita S, Nakamura M: Probing mechanical properties through acoustic impedance in cultured smooth muscle cells with cytoskeletal disruption using scanning acoustic microscopy, <i>Journal of Biorheology</i>, 38(2), 112-119, 2024.

提出期限: 研究期間終了後、すみやかに助成金の「必要経費使途明細書」「領収書」と合わせて提出下さい。
年度をまたぐ場合は毎年3月末日までに、途中経過をご記入の上、報告願います。