

報道機関 各位

国立大学法人電気通信大学

筋肉の再生を支える「エネルギー工場の拠点」を発見 ：再生中の筋細胞内でミトコンドリアが核の周囲に集結し、効率的な修復を誘導

【ポイント】

- * 骨格筋の再生時に特徴的なミトコンドリアの配置を発見
- * 筋力低下の予防や効率的なリハビリプログラムの提案につながる成果
- * 生体組織内のオルガネラ（細胞小器官）の動態を詳細に把握する光熱変換顕微鏡技術を独自開発

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻博士後期課程3年の村上礼也氏、同研究科共通教育部の狩野豊教授、東京科学大学病院高気圧治療部の柳下和慶教授、カンザス州立大学らの共同研究グループは、激しい運動（伸張性収縮（ECC）（※1））によって損傷した骨格筋が再生する過程で、細胞内のミトコンドリアが劇的な配置転換を行うことを明らかにしました。

本研究では、独自開発の「レーザー光熱変換顕微鏡（PTM）」と「透過型電子顕微鏡（TEM）」を組み合わせることで、再生中の筋線維において、ミトコンドリアが細胞の中心にある核（中心核）の周囲に高密度に集積していることを世界で初めて可視化しました。この発見は、筋肉の効率的な修復メカニズムの解明や、新たなリハビリテーション手法の開発、筋疾患の治療法向上に貢献することが期待されます。

【背景】

骨格筋は高い再生能力を持つ組織であり、過度な運動による損傷後には、衛星細胞（筋幹細胞）の活性化を経て新しい筋線維が形成されます。再生初期の筋線維には、細胞の中央に核が位置する「中心核」（※2）という特徴的な構造が見られますが、この再生プロセスを支えるエネルギー供給システム（ミトコンドリアの配置や構造）がどのように変化しているのかは、これまで詳しく分かっていませんでした。

【手法・成果】

本研究グループは、ラットの伸張性収縮損傷モデルを用い、損傷から7日後の再生筋肉を詳細に分析しました。

1. ミトコンドリアネットワークの断片化と再配置：成熟した正常な筋肉では、ミトコンドリアは規則正しく縦列状のネットワークを形成していますが、再生中の筋肉ではこの構造が消失し、断片化したミトコンドリアが散在していることが判明しました。
2. 中心核の周囲への集積（バイोजェニック・ホットスポット）：3次元的な画像解析の結果、ミトコンドリアが「細胞中心核」の周囲（0.1～1.0 μm以内）に特異的に密集していることを発見しました。

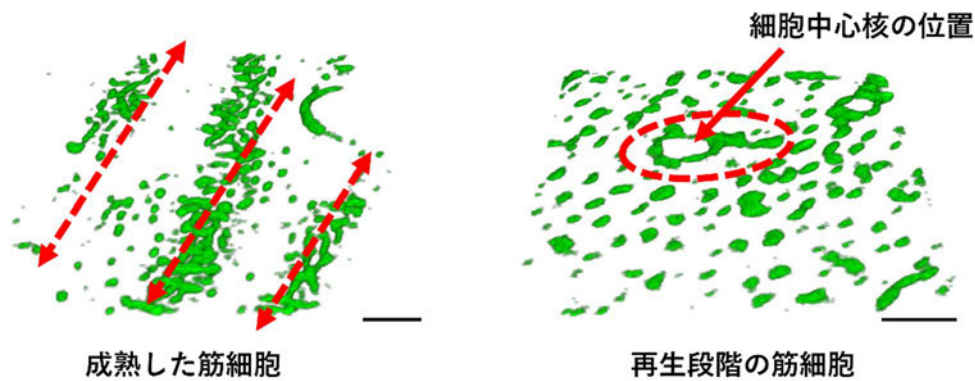


図1 レーザーPT顕微鏡による横断画像によるミトコンドリアの観察

正常な骨格筋細胞の横断像（左）では、ミトコンドリアが縦列状に配置される。一方、再生期の骨格筋細胞の横断像では、ミトコンドリアが散在し、細胞中心核の周囲（破線）に特異的な密集が観察される。

- 未成熟なミトコンドリアの存在：電子顕微鏡による超微形態解析により、核のすぐそばにあるミトコンドリアは「クリステ（内部構造）」（※3）の密度が低く、構造的に未成熟であることがわかりました。これは、これらのミトコンドリアが核の近くで新たに産生された（バイオジェネシス）ばかりのものを示唆しています。

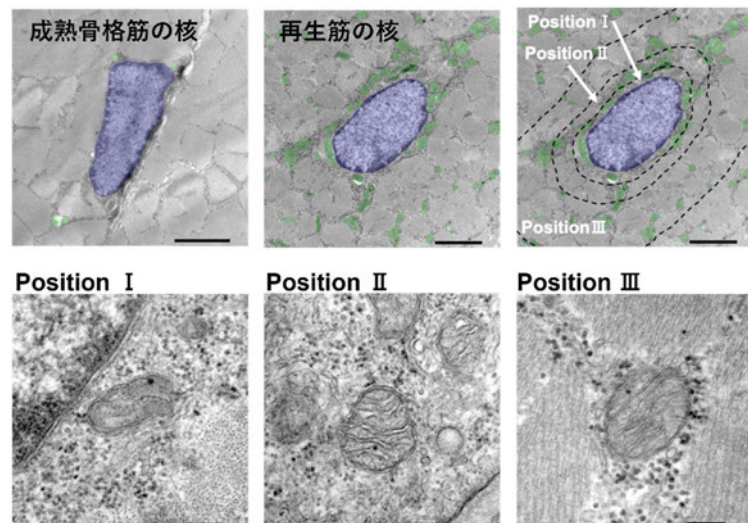


図2 電子顕微鏡による再生筋ミトコンドリアのクリステ構造

核（青色）のすぐそば（Position I）にあるミトコンドリアは「クリステ（内部構造）」の密度が低く、構造的に未成熟であるが、離れる（Position III）とクリステ構造が発達する。

【研究の意義】

筋肉の再生には膨大なタンパク質合成が必要であり、それには多大なエネルギー（ATP）を要します。今回の発見により、再生中の筋細胞は、タンパク質合成の司令塔である「核」のすぐ近くにエネルギー工場（ミトコンドリア）を集結させるため核の近くでミトコンドリアを盛んに産生し、効率的に修復作業を行っている可能性が示されました。この「バイオジェニック・ホットスポット（産生拠点）」の特定は、筋再生の代謝制御を理解する上で極めて重要な知見です。

【今後の期待】

本研究で活用された光熱変換顕微鏡技術は、生体組織内のオルガネラ（細胞小器官）の動態を詳細に把握する強力なツールとなります。今後は、この配置転換がどのようなシグナルで制御されているのか、また加齢や疾患によってこの修復拠点の形成が阻害されるのかを調査することで、筋力低下の予防や効率的なリハビリプログラムの提案に繋げていく予定です。

(論文情報)

タイトル: Mitochondrial Localization Around Central Nuclei in Regenerating Skeletal Muscle Following Eccentric Contraction in Rat Model

著者: Reiya Murakami, Ayaka Tabuchi, Takayoshi Kobayashi, Kazuyoshi Yagishita, Daisuke Hoshino, David C. Poole, Yutaka Kano

掲載誌: American Journal of Physiology-Cell Physiology (2026)

DOI: 10.1152/ajpcell.00115.2026

Published online: 3 April 2026

(外部資金情報)

本成果は、主に以下の研究助成を受けて行われました。

JSPS 科研費 JP25K22751, JP24K02827, JP23K18417, JP20H04074

(用語説明)

※1: 伸張性収縮 (ECC)

筋肉が引き伸ばされながら力を発揮する動作。重い荷物を下ろす動作などで生じ、筋肉痛や微細損傷の原因となりやすい。

※2: 中心核

再生中の筋線維に見られる特徴的な核の配置。成熟すると通常、核は細胞の端 (辺縁部) へ移動する。

※3: クリステ (内部構造)

ミトコンドリア内部のひだ状の構造。この密度が高いほどエネルギー産生能力が高いとされる。

【連絡先】

<研究内容に関すること>

電気通信大学大学院情報理工学研究科共通教育部 / 大学院情報理工学研究科基盤理工学専攻 / 脳・医工学研究センター

【職名】教授

【氏名】狩野 豊

Tel: 042-443-5586 E-Mail: y-kano@uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学総務部総務企画課広報係

Tel: 042-443-5019 Fax: 042-443-5887

E-Mail: kouhou-k@office.uec.ac.jp