Q&A Shiggekky 第 83 回

「運動すると、なぜミトコンドリアが増えるの？」

— Exercise × AMPK × PGC-1α × Recovery Capacity —

MITO RISING Perspective | 2026 年 10 月 30 日

武本重毅（Shigeki Takemoto, MD, PhD）
聚楽内科クリニック／MitoQure

運動とは、単にエネルギーを消費することではない。身体に「もっと働けるようになろう」という適応のきっかけを与えることである。

前回、第 82 回では、傷んだミトコンドリアを取り除く Mitophagy（マイトファジー）と、必要なミトコンドリアを増やす Mitochondrial Biogenesis（ミトコンドリア新生）についてお話ししました。

そこで、新しい疑問が生まれます。

私たちの日常生活の中で、ミトコンドリアを増やす仕組みに働きかけるものは何でしょうか？

その代表的なものの一つが、運動です。

ウォーキング、ジョギング、自転車、水泳、そして筋力トレーニング。

運動すると筋肉はエネルギーを消費します。しかし、その刺激を繰り返すことで、筋肉は次の運動に対応できるように変化していきます。

その中心にあるのが、

AMPK → PGC-1α → Mitochondrial Biogenesis

という、ミトコンドリア適応に関わる重要な経路です。

ただし、これは代表的な経路を簡略化したもので、運動によるミトコンドリア適応はAMPK だけで決まるわけではありません。

Q. 運動すると、なぜミトコンドリアが増えるのでしょう？

A. 筋肉がエネルギーを必要とすることで、細胞内のエネルギー状態やカルシウムシグナルなどが変化し、ミトコンドリアの機能を高める適応プログラムが働くからです。

例えば、普段あまり歩かない人が、毎日ウォーキングを始めたとします。

最初は少し歩いただけで疲れてしまうかもしれません。

しかし、適切な運動を継続すると、以前より長く歩けるようになることがあります。

もちろん、その理由は筋力、心肺機能、神経系などの変化も含むため、ミトコンドリアだけでは説明できません。

それでも、骨格筋のミトコンドリア適応は重要な要素です。

筋肉は繰り返されるエネルギー需要に応じて、酸化的代謝能力を高めようとします。

その結果、ミトコンドリアの構成タンパク質や酵素が増え、呼吸機能が改善することがあります。

つまり、

運動によってエネルギーを使うことが、次のエネルギー需要に備える刺激になる

のです。

① AMPK｜細胞は、どうやってエネルギー不足に気づくの？

運動すると、筋肉では ATP が消費されます。

ATP は、細胞が生命活動を行うためのエネルギー通貨です。

筋肉が収縮すると ATP が使われ、ATP の再合成が必要になります。

そのとき、細胞内の AMP や ADP と ATP の比率が変化することがあります。

このエネルギー状態の変化を感知する重要な仕組みが、

AMPK

AMP-activated Protein Kinase

です。

AMPK は、細胞のエネルギー状態を調節する重要な酵素です。

エネルギー需要が高まると、条件に応じて AMPK が活性化し、ATP を消費する経路と産生する経路のバランスを調節します。

例えば、骨格筋では糖取り込みや脂肪酸酸化などの調節に関係します。

そして、ミトコンドリア新生に関わる転写プログラムにも影響します。

一般向けには、

AMPK は、細胞のエネルギー状態を見守るセンサー

と考えると分かりやすいでしょう。

ただし、AMPK は単に「ATP が減ったら ON になるスイッチ」ではありません。上流キナーゼや細胞内環境などによる複雑な調節を受けています。

② PGC-1α ｜運動の刺激を、ミトコンドリア新生へつなげる

AMPK がエネルギー状態の変化を感知する仕組みの一つだとすると、その先でミトコンドリア関連遺伝子の発現を調節する重要な因子が、

PGC-1α

Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha

です。

前回も紹介しましたが、PGC-1α は DNA へ直接結合する転写因子ではありません。

複数の転写因子の働きを助ける、転写共役因子です。

運動によって AMPK、CaMK、p38 MAPK などのシグナル経路が働くと、PGC-1α の発現や活性が調節されます。

その結果、NRF1、GABP（Nuclear Respiratory Factor 2）などと関連する転写プログラムを通じて、ミトコンドリアの構成成分や呼吸鎖関連タンパク質の産生が調節されます。

さらに、TFAM などを介して、ミトコンドリア DNA の維持や転写も支えられます。

この仕組みを簡略化すると、次のようになります。



代表的な調節経路の概念図。各経路は並行して働き、細胞の状態によって応答が異なります。

ここで大切なのは、

運動によるミトコンドリア新生は、筋肉が受けた刺激に対する適応反応である

ということです。

③ 運動は、ミトコンドリアを「増やす」だけではない

ここは第 81 回、第 82 回とつながる重要な部分です。

運動によって変化するのは、ミトコンドリアの数だけではありません。

ミトコンドリアの分裂・融合、品質管理、代謝酵素、呼吸機能なども調節されます。

つまり、運動による適応には、少なくとも次のような側面があります。

仕組み	運動との関係
Fission / Fusion	ミトコンドリアの形態とネットワークの調節
Mitophagy	損傷したミトコンドリアの品質管理
Biogenesis	ミトコンドリア構成成分の産生・補充
Oxidative Metabolism	酸化的 ATP 産生能力の適応
Metabolic Flexibility	エネルギー基質の利用を調節する能力

これらはすべての運動で同じ程度に起こるわけではありません。

運動の種類、強度、時間、トレーニング歴、年齢、栄養状態などによって異なります。

そして重要なのは、**運動の最中に起こる一時的な変化と、運動を繰り返すことで起こる長期的な適応を区別する**ことです。

④ 運動しているときではなく、回復しているときに何が起こるの？

ここから Recovery Capacity Theory へ近づいていきます。

運動は筋肉にとって、一種の生理的ストレスです。

筋収縮によってエネルギー需要が高まり、カルシウムシグナルや酸化還元状態などが変化します。

運動を終えたあとも、筋肉ではタンパク質合成、代謝調節、細胞内構造の再編成などが続きます。

つまり、運動の効果は運動している時間だけで完結しません。

Stress → Response → Recovery → Adaptation

という時間的な流れがあります。

ただし、回復と適応は完全に別々の段階ではなく、重なり合って進みます。

適切な刺激と十分な回復が繰り返されることで、身体は以前より高い負荷に対応できるようになることがあります。

これが、トレーニングによる適応です。

一方で、刺激が過剰であったり、睡眠や栄養、休息が不十分だったりすると、期待した適応が得られない場合があります。

運動は、ただ頑張ればよいわけではありません。

刺激を与えることと、その刺激から回復することの両方が重要なのです。

⑤ 高齢者でも、運動によってミトコンドリアは適応するの？

これは非常に大切な問いです。

加齢に伴い、骨格筋のミトコンドリア機能や運動への適応応答が変化することがあります。

しかし、高齢になったらミトコンドリアが増えなくなる、というわけではありません。

高齢者でも、有酸素運動や筋力トレーニングによって、骨格筋の酸化的代謝能力や身体機能が改善することが示されています。

ただし、改善の程度には個人差があります。

また、筋力トレーニングによる筋力増加と、ミトコンドリア新生の増加は、必ずしも同じ意味ではありません。

ここで私は、老化を考えるうえで次の視点が重要だと思います。

何歳だから運動できないのか、ではない。

その身体が、どの程度の刺激に適応できるのか

そして、

その適応能力を、どのように安全に維持・改善できるのか

ということです。

高齢者や慢性疾患のある方では、運動負荷を個別に調整し、転倒、心血管リスク、過度の疲労などに注意する必要があります。

MITO RISING Perspective

運動は「エネルギーを消費する行為」から「回復力を育てる刺激」へ

私は、Recovery Capacity を、

損傷やストレスに応答し、修復し、恒常性を回復し、次の環境へ適応する能力

として考えています。

この視点から見ると、運動は非常に興味深い生命現象です。

運動は、一時的に身体へ負荷を与えます。

しかし、適切な負荷と回復が繰り返されることで、身体はその刺激に適応していきます。

ここで重要なのは、単なる筋力や持久力の向上だけではありません。

ストレスに対して、身体がどのように反応し、どれだけ回復し、どのような適応を獲得するのか

ということです。

私は、これを Recovery Capacity Theory の中で次のように整理したいと思います。



このモデルから、今後の研究課題も見えてきます。

例えば、同じ運動負荷を与えたとき、

筋肉の酸素消費や代謝状態はどう変化するのか。

運動後、心拍数や身体機能はどのくらいの時間で回復するのか。

繰り返し運動したとき、ミトコンドリア呼吸や酸化的代謝能力はどのように適応するのか。

こうした指標を時間軸に沿って評価することで、将来的には運動に対する Recovery Capacity を客観的に測定する研究へ発展させられる可能性があります。

ただし、心拍回復や PGC−1α 発現だけでミトコンドリアの回復力を判定することはできません。分子・生理・身体機能を組み合わせた検証が必要です。

第 83 回で一番伝えたいこと

今回を一文にするなら、

Exercise does more than consume energy. It signals the body to adapt, rebuild, and become better prepared for future demands.

日本語なら、

運動とは、単にエネルギーを消費することではない。

身体に適切な刺激を与え、次の負荷に対応できるように変化するきっかけをつくることである。

そして、MITO RISING の言葉にするなら、

Exercise creates the stimulus.

Recovery enables adaptation.

Adaptation builds resilience.

私は、この考え方が、運動を単なる体力づくりではなく、回復力を支える生活習慣として理解するための重要な視点になると思っています。

次回｜Q&A Shiggekky　第 84 回

「運動したあと、なぜ休むことが大切なの？」

— Exercise × Recovery × Mitochondrial Adaptation —

運動は、身体に適応の刺激を与えます。

しかし、運動を続けるだけで身体が強くなるわけではありません。

運動後には、エネルギーの補充、タンパク質の合成、細胞内の修復、代謝の再構成などが進みます。

次回は、**運動と休息がどのように協調して身体の適応を支えるのか**を考えます。

Training provides the stimulus. Recovery makes adaptation possible.

運動すること。

休むこと。

そして、再び動けるようになること。

この一連の流れを、Recovery Capacity という視点から見ていきましょう。

MITO RISING | THE AGE OF RECOVERY

Aging is not time. It is the loss of Recovery Capacity.

老化とは、単なる時間の経過ではない。回復する力が失われていくこと。

© 2026 Shigeki Takemoto / MitoQure