

体力医科学に関する最近のトピック No. 14 : ミトコンドリアにもオーバートレーニングが存在する？

松永 裕（久留米大学）

ミトコンドリアは、食事によって摂取した栄養素を身体で使えるエネルギー (ATP) に変換する、エネルギー產生工場の役割を担う細胞小器官である。骨格筋のミトコンドリアは、持久的トレーニングによってその量が増加すること¹⁾、さらにはミトコンドリア量の増加が持久的運動能力の向上に関係すること²⁾が古くから知られており、スポーツ競技者がトレーニングを実施する科学的根拠の一つとして位置付けられてきた。また、ミトコンドリアは運動パフォーマンス以外に健康の維持増進とも関係が深く、例えばミトコンドリアの機能の低下が、代謝疾患の発症と関係があることも報告されている³⁾。そのため、スポーツ競技者だけではなく、一般の方においても定期的に運動を行うことが推奨されている。

では、トレーニングは行えば行うほどミトコンドリアの適応を促すのだろうか？その疑問に対し、必ずしも Yes とは言えない研究が近年報告された。Flockhart らの研究グループは、運動習慣のある一般の方を対象として軽度、中程度、過度とトレーニング量を上げていった際のミトコンドリア適応および耐糖能の変化を検討した (95% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ - 4 分 × 5 回 または 90% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ - 8 分 × 5 回の自転車エルゴメーター運動を、軽度は 2 セッション/週、中程度は 3 セッション/週、過度は 5 セッション/週で実施)⁴⁾。その結果、(1) トレーニング量の増加に伴ってミトコンドリアの量の指標は増大すること、(2) 一方で、単位ミトコンドリアあたりの呼吸能力 (ミトコンドリアの質の指標) は、中程度のトレーニングまでは上昇するものの、過度なトレーニングではむしろ減少すること、(3) 過度なトレーニングでは糖代謝機能も低下することを報告している。これは、過度なトレーニングが必ずしも良いわけではなく、いわゆるオーバートレーニングがミトコンドリアにも存在し、質を低下させる可能性を示唆するものである。

これまで運動トレーニングとミトコンドリアの適応については、質よりも量に対する評価を行った研究が多数を占めており、ミトコンドリア量を増加させるための効率的なトレーニング方法、栄養介入、物理療法などの多くの検討がなされてきた。しかし、トレーニング状況によっては量の変化と質の変化が必ずしも一致しないことを考えると、量の変化に加えてミトコンドリアの質に対する評価の重要性が今後さらに高まると考えられる。筆者らの研究においても、脱トレーニングがミトコンドリア適応に与える影響を検討した⁵⁾。その結果、脱トレーニング後にはミトコンドリアの量の指標は減少するものの、質の指標は低下が生じなかった。

今後、運動とミトコンドリアに関する研究がさらに進み、健康やスポーツパフォーマンス向上に関する新たな知見が報告されることを期待したい。

【参考文献】

- 1) Holloszy JO. Biochemical adaptations in muscle. Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem.* 242:2278-2282, 1967.
- 2) Fitts RH et al. Skeletal muscle respiratory capacity, endurance, and glycogen utilization. *Am J Physiol.* 228:1029-1033, 1975.
- 3) Putti R et al. Skeletal muscle mitochondrial bioenergetics and morphology in high fat diet induced obesity and insulin resistance: focus on dietary fat source. *Front Physiol.* 6:426, 2016.
- 4) Flockhart M et al. Excessive exercise training causes mitochondrial functional impairment and decreases glucose tolerance in healthy volunteers. *Cell Metab.* 33:957-970, 2021.
- 5) Matsunaga Y et al. Branched-chain amino acid supplementation suppresses the detraining-induced reduction of mitochondrial content in mouse skeletal muscle. *FASEB J.* 36:e22628, 2022.