

## 総説

乳酸はエネルギー源で、  
適応を起こすシグナルである

八田 秀雄

東京大学大学院 総合文化研究科 身体運動科学研究室

## 抄録

乳酸は古くから解糖系の最終産物で老廃物と考えられ、筋肉から肝臓へ運ばれて糖に戻されるとされてきた。しかし近年は乳酸は糖代謝の中間体であり、またエネルギー源であるとされている。乳酸は特に多くのATPを産生することが必要な運動時や運動後においては主として酸化されている。疲労は古くから乳酸蓄積のみで説明されてきたが、近年、疲労は多くの様々な要因で起こることが明らかになっている。長時間運動中や運動後には、筋グリコーゲン濃度の低下が疲労の主たる原因の1つである。そして乳酸は主として筋グリコーゲンからできるので、筋グリコーゲン濃度が低下すれば乳酸の産生も低下する。したがってマラソンランナーはレース終盤に向けてグリコーゲンが枯渇していき、同時に乳酸もよりできなくなる中で疲労していく。サッカー選手の試合中の血中乳酸濃度も後半の方が低くなる。乳酸はカリウムによる筋収縮低下を抑えることができるので、疲労を防ぐといえる。近年乳酸は組織にいろいろな適応を起こすシグナル分子であると示唆されてきている。乳酸濃度が上がると、ミトコンドリア合成が増えたり、ヒストンアセチル化により遺伝子発現変化を促進したり、血管形成や傷の修復を早めることも報告されている。したがって乳酸は老廃物ではなく酸化基質で、いろいろな適応を起こすシグナル分子と考えられる。

**キーワード** 乳酸、酸化、糖代謝、疲労

## 老廃物や疲労の素ではない

乳酸というと、これまではよく無酸素状態でできる老廃物で疲労の素といった解釈がされてきた。高校保健体育教科書でも、同様のことが書かれているものがある。本稿ではこうした解釈が誤りで、実際には乳酸は利用しやすいエネルギー源で、乳酸が多くできるいろいろな適応反応を起こすということを概説する。高校教科書も2013年から改訂されるので、教科書の中身も変わり、乳酸で疲労という説明はなくなる。本稿では新たな乳酸の姿をご理解いただければ幸いである。

## 乳酸ができる＝糖を使っている

乳酸とは何かというと端的に言えば、糖を利用する途中でできるエネルギー源である<sup>1)</sup>。運動時に限らず生きていくエネルギーは、ミトコンドリアが主として糖や脂肪を原料にして酸素も使ってATP

の形で生み出している。酸素がATPになるわけではなく、原料となる糖や脂肪が必要である。糖を分解する経路は解糖系とも呼ばれるが、必ずしもミトコンドリアでの利用可能量にマッチして精密に調整されて分解されるのではなく、分解が過剰に進んでしまうことがよくある<sup>2)</sup>。逆に言えば糖の分解は、場合によって急に進めることができる。ダッシュしたり急に強度を上げたりした際には糖の分解が進みやすい。一方ミトコンドリアでの反応量は、糖の分解よりも精密に調整されていて、糖の分解量ほどには急に上げることができない。つまりダッシュした時などは急に糖の分解が過剰に進むので、その先のミトコンドリアでは受け入れられない余りが乳酸となると考えればよい(図1)。すなわち乳酸が多くできるというのは糖を多く使っている、使おうとしているということである。