

## 4. 骨格筋のMRS/CSI

柳澤 修 早稲田大学スポーツ科学学術院

### 骨格筋を対象とした 31P-MRS

#### 1. 31P-MRS について

31P-MRSは、骨格筋のリン酸エネルギー代謝の評価に用いられている。天然存在比が100%である31Pは、MRS測定に対して比較的感度が高い核種として知られている。さらに、31Pは核スピン量子数が1/2であることから、信号の線幅が狭く、スペクトルの解析にも都合が良い。生体において、31Pは生命活動に必須となるアデノシン三リン酸 (adenosine triphosphate : ATP) やクレアチンリン酸 (phosphocreatine : PCr) といった高エネルギーリン酸化合物に含まれており、筋のエネルギー代謝を評価する上で重要な核種である。

ヒト骨格筋から得られた31Pスペクトルを図1に示す。通常、31Pスペクトルでは、PCrのケミカルシフトを0ppmで表示し、その両側に3つのピークを持つATP (γ-ATP, α-ATP, β-ATP) と無機リン酸 (inorganic phosphate : Pi) のピークが示される。さらに、測定条件が良好な場合、ホスホジエステル (phosphodiester : PDE) やホスホモノエステル (phosphomonoester : PME) のピークも確認することができる。31P-MRSは、これらの物質の相対的含有量の変化を基に筋のエネルギー代謝を評価するが、主として分析対象となるのはPCrとPiの変化である。

#### 2. 31P-MRSを用いた骨格筋のエネルギー代謝評価

1) 運動と骨格筋のATP代謝について  
骨格筋が収縮する場合、筋内に存在するATPが直接的に利用される。筋中のATPは、アデノシン二リン酸 (adenosine diphosphate : ADP) とPiに分解され、その時に発生する化学エネルギーが筋収縮に利用される。筋中にもともとあるATP量は微量であるため、運動の継続とほぼ同時にATPを再合成しなければならない。その経路の1つに、PCrの分解によってATPを再合成するATP-PCr系がある。ATP-PCr系はPCrがクレアチン (creatine : Cr) とPiに分解するときに発生するエネルギーを用いてATPを再合成する。



この反応は、クレアチンキナーゼにより触媒され、通常は平衡状態にある。筋中のATP量は、よほどの高強度運動でないかぎり、運動中にほとんど変化しない。これは運動中のATPの消費と再合成がほぼ釣り合っていることを意味する。したがって、最大下の運動では、ATPのシグナル (通常、β-ATPで評価) はほとんど変化しないことから、観察の対象は主としてPCrとPiにおけるシグナルの増減となる (図1)。運動によって、PCrのシグナルは低下 (シグナル面積の減少) する一方で、Piのシグナルは上昇 (シグナル面積の増加) する。運動後、両シグナルは速やかに運動前のレベルに回復するが、両シグナルの回復時定数には高い相関関係 (r = 0.997) がある<sup>1)</sup>。

MRSのスペクトル自体は、相対的な信号強度 (濃度) である。そのため、このままでは運動などによる筋エネルギー

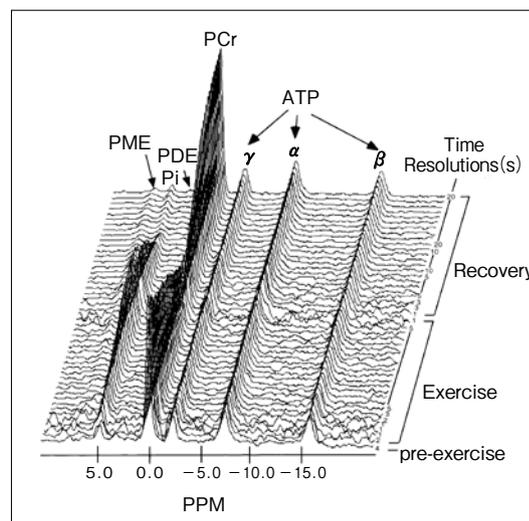


図1 運動がヒト骨格筋の31Pスペクトルに及ぼす影響  
運動によって、PCrのシグナルは減少し、Piのシグナルは増加する。運動後、両シグナルは速やかに運動前のレベルに回復する。なお、運動中にATPのシグナルはほとんど変化しない。  
(参考文献1)より引用)