

食品成分の持久力増強作用評価

京都大学農学部食品工学教室
栄養化学研究室 伏木 亨

食品が運動能力に与える影響の総合的な解析は、実験動物を用いることによって可能となるもののひとつである。しかし、動物を用いた評価方法は必ずしも確立されてはならず、測定値のばらつきに失望した経験をもつ研究者も少なくない。

基本的な運動能力は実際はそれほどゆるぐものではない。100メートルを15.0秒で走るひとは何回測定しても15秒程度であり、絶対に12秒になったりはしない。動物実験となると突然測定値がバラバラになるのは明らかに測定系の条件設定の問題である。運動するという意志を持たない実験動物をどのようにして運動状態に追い込むか、また、無理に運動させることがどの程度のストレスなのか、それは致命的な問題なのかなど、整理すべき点は残されているが、なにより、総合的なパフォーマンスを評価できることは他にはない利点である。

本講では、まず運動を生化学的に概説したのち、動物を使った運動の方法と、持久力への食品の影響の実際を我々の研究室のデータを中心に紹介し、食品の評価方法としての可能性を考えてみたい。

(1) 運動能力を評価する意義

運動は今日大変興味をもたれている。それは、単に肥満や成人病が話題になっているからだけではなく、より快適で積極的なライフスタイルを求める自然の動きである。運動能力には多くの種類があることは衆知のことであり、瞬発力と持久力とがよく知られている。アーノルド・シュワルツネッガーのような筋骨隆々の身体はそれ自身美しいと感じる人もあり、またこのような身体は瞬発力が発達している。スポーツ選手のなかにはなんとかして筋肉をつけたいと願っている人も多い。一方、持久力は、効率よく体脂肪をもやしてエネルギーとする能力である。裏返せば、脂肪の蓄積を抑制し肥満を予防する作用と同じ生理的基盤を有している。やや極端な例であるが、マラソンランナーは食事制限などしていないのに、絶対に肥満していない事実は、体脂肪の燃焼と持久力が表裏一体のものであることを如実に表している。

瞬発力は筋肉量と運動神経に大きく依存する。したがって、筋肉を増やすことが重要である。数秒間の運動は、筋肉のクレアチンリン酸に蓄えられているエネルギーによってまかなわれる。数秒後以降はグリコーゲンの出番となる。瞬発力が筋肉の最大パワーであるのにくらべ、持久力はエネルギー供給に関連する総合的な代謝によって獲得される。したがって複雑な因子が動的に関与しており、筋肉量や酵素活性などの静的な解析だけでは明らかになりにくい。最も確実なのは、実際に動物の運動能力を測定することである。

(2) 電気刺激による定量的な筋肉増加系の確立と、筋肉増強効果の評価系への応用

筋肉の増加は、健康的な生活に対してあまり直接的には寄与しないが、筋肉の増加を求めるスポーツ選手は多い。我々が設定した電気刺激系は2日に1度、筋肉に最大筋力に近い収縮を短時間行わせるものであり、刺激しない方の足に比べ、2週間でラットの後ろ足筋（腓腹筋）を再現性よく約9%増加させる。

1. 男性ホルモンアンタゴニストによる筋肉増強抑制効果

この筋肉増加には明らかに男性ホルモンが関与している。電気刺激によって男性ホルモン受容体の数が増加する。また男性ホルモン受容体のアンタゴニストの存在下では電気刺激しても筋肉の増加は著しく僅かである。このような系を用いて、摂取している食品の筋肉増強効果を定量的に求めることが可能になった。従来報告では、分枝鎖アミノ酸などに筋肉の代謝回転を遅くさせて筋肉の増強を促す効果があることが報告されており、本評価系の適用を計画中である。

(3) 持久運動能力測定系の確立と食品成分の影響の評価

運動が極端に激しくなくて長く続くならば脂肪酸の利用がおこる。生化学的に言えば、十分な酸素供給のもとでミトコンドリアによる好气的エネルギー生産を利用してグリコーゲンの消費を抑えることが持久力につながる。持久力はミトコンドリアでの脂肪酸のβ酸化、TCAサイクル、電子伝達系を最大に利用するエネルギー生産によって維持されており、このようなミトコンドリアを大量に有する筋肉（一般に遅筋と呼ばれる）を持つことが重要である。さらに、心肺機能と毛細血管の発達による酸素の供給の強化も必須である。

1. 流水プールを用いたマウスの運動系の整備

持久力を再現性よく、かつデータのばらつきなく測定できるシステムを確立することは難しい。特に、すべての実験動物が休まず運動し続け、疲労限界が判定しやすいことが最も重要である。今までのところ、ポンプで表面に流れを作ったプールが最も良好であった。マウスは流れに逆らって泳ぎ続ける。静水では運動にならない。トレッドミルランニングは運動強度を自由に变化させることができるという利点を持っているが、動物がさぼりやすい。回転かごによる自発運動はストレスが少ないといわれているが、疲労限界のような重要なデータが得られない。自発的な運動が何を意味しているのかも明かではない場合がある。

流水プールにおいて、水温は30-35度の範囲が最も遊泳時間が長く、それ以下ではストレスが強い。運動終点は、マウスが7秒間息継ぎのために水面にあがれない点とした。ラットでは、それまで水面に顔を出して泳ぎ続けていたものが急に水面下に沈む頻度が高くなった点とした。ラットに比べマウスの方が終点が判定しやすく実験は容易である。

2. 過剰量のカフェインによる疲労促進

カフェインは少量ならば持久運動を促進すると言われているが、過剰に投与すると疲労を促進する。これは中枢性の疲労と考えられており覚醒剤と逆の作用で

はないかと思われる。マウスに過剰量のカフェインを皮下注射すると、用量依存的に限界水泳時間が短縮された。この効果はラットでも観察された。

3. オクタコサノールの効果

オクタコサノールは、その作用機序は明かではないが持久力を増加させるという報告がある。マウスに3日間経口投与すると、約50%も限界水泳時間が伸びた。また、この結果は3回繰り返したが再現性があった。

4. MCTの効果

中鎖脂肪酸トリグリセリド(MCT)は長鎖のそれに比較して、体脂肪になりにくく、優先的にエネルギーに使われる。MCTを長期間摂取すると、筋肉ミトコンドリアの諸酵素活性が上昇し、ケトン体の利用系酵素の誘導もおこり、有意に限界水泳時間が伸びた。これは、食品によって脂肪酸利用系を誘導する(食品によって代謝系を鍛える)ことが持久力の増強につながることを示唆する実験結果である。

5. ニコチンアミドの効果

ATP生産にはニコチンアミドが関与しており、マウスの運動後にはニコチンアミドの血液中濃度が低下することが見いだされた(柴田ら、投稿中)。そこであらかじめニコチンアミドをマウスに投与すると限界遊泳時間が長くなった。運動による特殊な代謝変動を是正することによって持久力の低下が防げることが示唆された。

6. 持久運動の糖尿病予防効果と食品の関与

運動中は筋肉が激しく糖を吸収する。トレーニングによって筋肉、特に持久性の筋肉は糖の吸収能力を増す。糖尿病の運動療法はこのような効果を期待している。このとき筋肉のグルコース輸送担体(Glut4)の数が増すことが報告されている。糖質分解酵素阻害剤の効果は知られているが、食品によるGlut4レベルの変化についてはほとんど報告はない。Glut4を指標にして、定量的な持久運動を負荷した時の耐糖能改善を促進する食品のスクリーニングが可能である。

以上、いくつかの実験例を紹介したが、食品成分についてはまだ実験例が多くはない。食品成分がどれほど持久力に影響を及ぼすかについては、いくつかの有効なものが見つかってはいるが、さらに多方面の食品成分に関してデータが蓄積されなければならない段階であり、その意味でも、統一的な評価法の整備は急務である。