

陸上競技連盟公認大会に陸連登録者として出場する場合は、主催者側に「スペシャルドリンク」を依頼することができます。参考までに陸連登録者は、道路の自動販売機でドリンクを買ったり沿道の応援者から補食をもらったりすると「失格」になります（陸連非登録者は失格対象にはなりません）。

- ④ 関節や靭帯に不安がある場合は事前に入念に「お手入れ（治療や処置）」をしてください。痙攣を防ぐ圧迫性のある靴下や機能サポーターなども準備する方が良いかもしれません。置き針（円皮鍼）の類も市販されていますがそのうえからサポーターを使用すると摩擦で炎症を誘発します（機能タイツ程度では大丈夫です）。
- ⑤ レース当日の天気予報をチェックして、オーバーヒート対策や低体温症対策も考えておきましょう。帽子やサングラス、タイツやアームウォーマー、スタート時に被るポンチョや大きなビニール袋（透明でないとナンバーカードが見えなくて役員から注意されることがあります）も必要に応じて準備します。
- ⑥ 最後の5Kmは「自分との闘い」が待っています。テーマ曲を準備したり「弱気な自分」を応援する「別の自分」をイメージしておいてください。ゴールできれば「ちょっと情けなかった過去の自分にバイバイ！」できるのですから。

参考になる書籍：

ランニング学会編：「ランニングリテラシー」大修館書店（2011年）
八田秀雄；乳酸を使いこなすランニング、大修館書店（2011年）

フルマラソン チャレンジする前に 知っておきたい ランニングの生理学



山崎 健

（新日本スポーツ連盟附属スポーツ科学研究所所長：ランニング学会公認指導員）

長距離は得意？

長距離種目はおよそ 3000m以上でフルマラソンの 42.195Km (100Km 以上のレースもあります) まで多種目にわたります。また競技時間も、トップクラスでも 7 分台から 2 時間数分台 (100Km ウルトマラソン世界記録は 6 時間 01 分) までの幅があります。当然、ランニングを継続するためのエネルギー生産システムも異なっています。つまり「長距離が得意」とはとっても様々なパターンがあることとなり、日本記録／世界記録保持者が 3000m からフルマラソンまで同一選手ではない所以です。

運動実施とエネルギー

私たちが運動を長時間継続するためにはエネルギーが必要です。私たちの筋肉の収縮 (運動) のためのエネルギー生産システムは、①バッテリー (ハイパワー系) と②ガソリン (ミドルパワー系) と③ソーラーパネル (ローパワー系) の複合したいわば「ハイブリッドエンジン」に例えることができます。①バッテリーは大きな力が出ますが長持ちしません。②ガソリンエンジンはスポーツ活動の主要なエネルギー源ですがこちらも「有限」です。③ソーラーパネルは大きなパワーはありませんが継続してエネルギーを発揮することができます。また、筋肉には、大きな力を出せないが長続きする「遅筋系筋線維」と、器用で大きな力が出せるが長続きしない「速筋系筋線維 (普通の速筋と超速筋の二種類)」があり、協働して「速く動く」のか「そこそこ速く動く」のか「動き続ける」のかという「運動の性格」を決めています。つまり「3 つのエネルギー生産系」と「3 つの筋線維」からなる「3×3 システム (図 1)」として機能しているのです。

要です。「1 割増し」というのはあまり現実的ではないのですがピッチアップを知覚するにはその位の極端な課題が必要です。この「ピッチアップ」の感覚がつかめたら 2 時間走で 1 時間経過した時点でランニングパターンを切り替える (ギアチェンジ) のです。

「ピッチを上げてスピードを維持する感覚」がつかめればあなたも一流ランナーの仲間入りです。

レースへの準備

それなりの練習が消化できてレースが近づいてきたら、万全を期すために幾つかの準備をする必要があります。

- ① まず重要なのがペース配分の決定です。80%強度のランニングスピードを確認してください。30Km までは余裕をもって走ります。
- ② レース 1 週間前からはご飯や麺などの炭水化物食を意識して取ってください。そして 3 日ほど前からは不安でも練習量を減らして筋グリコーゲンを温存します。また、レース当日はスタート 2~3 時間前までに炭水化物食などを中心とした朝食をとります (朝ごはん抜きでの出場は NG)。また、最初の給水所までは 5Km 程あることが普通ですので、スタート時には 500ml 位のスポーツドリンクをもって並びます (現在はルールで認められています)。
- ③ トラブルへの対策も重要です。ジェネラルラルドリンク (主催者の用意する水) だけでは 42.195Km のエネルギーとミネラルの補給は不十分です。水分だけを摂取していると「低ナトリウム血症 (熱痙攣)」を招きリタイアを余儀なくされます。いわゆるスポーツドリンクや塩分補充、バナナなどの補食の準備がされているのかの確認が必要です。準備されていないようであれば自分で準備することとなります。

2時間走を行うと、直後から筋グリコーゲンレベルが低下し、それを補うためにグリコーゲン蓄積が始まります。ランニング後30分以内に炭水化物とタンパク質の摂取が重要で、グリコーゲンの回復には2週間ほどかかります（グリコーゲンローディングといいます）。

1時間経ったら走り方を変えよう

2時間走を経験したら、次の段階では「ストライド走」から「ピッチ走」へのギアチェンジの習得が課題となります。（山崎「科学の力で速くなる！：ハイブリッド2時間走」、ランナーズ、2013年4月号）

まず1時間走ります。そして意識的にストライドを縮めてピッチアップを意識します。3×3 システムのところでも述べたように「ストライドが広い」ということは「ギアが重い」ことと同じで特定の筋線維にだけ負担がかかります。「ピッチをあげる」ということはストライドが狭くなるためギア軽減で「キック力の負担軽減」が可能となりより多くの筋線維の参画が可能となります。

ストライドを短くするメリットは接地位置の改善にもつながります。疲労感のある状態でストライドを維持しようとすると、振り出した脚を戻せないまま接地してしまい「踵接地（ヒールストライク）」になりブレーキがかかってエネルギーの無駄使いが起きます。ストライドを縮めていれば接地位置はより腰の下の位置に近づき「フラット接地」に近くなりブレーキが少なくなります。

具体的な練習課題は、例えば100mを6分のペース（36秒）や7分（40秒）で走り、その時の歩数を数えます。次にその歩数の1割増しの歩数で同じタイムで走るようにトライします。当然ストライドは狭くなりますのでピッチアップをすることが必

動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II d/x
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

定本ら（1987年）の図を山崎が改変

図1 3種類のエネルギー供給系と3種類の筋線維（3×3 システム）

ATP-PCr系はハイパワー系、解糖系はミドルパワー系、有酸素系はローパワー系
 Type I は遅筋系、Type II aは速筋系、Type II d/x は超速筋系の筋線維
 運動の継続によりどのシステムの組合せを「主役（◎）」にするのが変わってゆく

足を踏んでいる時は「超速筋系線維」が主役でそのままのギアでは登りることができないので、ギアを軽くして他の筋線維も参加できるようにしているのです。長距離ランニングで、この「ギアチェンジ」に相当するものが「ストライド走法」から「ピッチ走法」への切り替え（巧みなランニングスキル）で、実は、短距離スプリントも長距離ランニングも「ストライドとピッチの適切なコントロール」がパフォーマンスを高める最も重要な課題なのです。

「乳酸シャトル」という考え方

もう一つの重要なキーワードが、「乳酸シャトル（八田、2009）」という概念です。超速系筋線維は、ミトコンドリアという「有酸素性エネルギー生産機構」があまりありません。ところが同じ筋

長い坂道を、変速機付きのロードバイクで時速15Kmを維持して登っていくケースを考えてください。重いギア

のままだと途中で力尽きますので自分の脚力に合わせてギアを軽くしながら回転数を上げて登っていきます。重たいギアでペダル

肉内の速筋系筋線維や遅筋系筋線維はミトコンドリアが比較的豊富です。そこで同じ筋肉内の超速筋系筋線維で処理しきれない「乳酸」を速筋系筋線維や遅筋系筋線維が受け取ってエネルギーに変換してくれる（シャトル便）ようなのです。

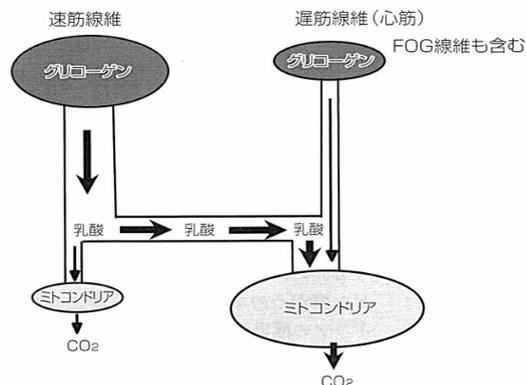


図2 乳酸シャトル
（八田秀雄「乳酸と運動生理・生化学」、2009）

速筋線維も遅筋線維も同じ筋肉を構成して協働して動いています。超速筋線維だけが大きな力を出しているようでは他の筋線維は参画できませんのでお互い仲良く協働して動けるように「ギアチェンジ」が必要なのです。私たちの身体は、前半と後半で、巧みに動きを変えながら乳酸をエネルギーに変えるという優れたメカニズムを持っているようです。

フルマラソンの特別さ

市民ランナーの方がフルマラソンを走るとき、呼吸や心臓が苦しくて走れなくなるということはまずありません。30Km 過ぎたあたりから脚が棒のようになる「グリコーゲン枯渇」や痙攣、関節や靭帯の痛みなどでペースを維持できなくなるケースが大半です。

にランニング強度を調整して完走を目指す戦略が必要です。

例えば 80%強度が 1Km7 分ペースであると仮定すると、前半は 70%強度以上にならないようにペースを調整します。そして 3 時間半を過ぎた 30Km あたりからエネルギー補給に留意してグリコーゲン枯渇（ガス欠）を起こさないようにペースを上げていき 5 時間切りを狙います。腕時計型心拍計を準備できれば、自分の心拍数を確認しながらオーバーペースを防ぐことが可能です（スタートから“きつい”と感じているようであれば要注意）。

まずは 2 時間走から

フルマラソンでは、1km 5 分のペースでも 3 時間半、6 分のペースでは 4 時間以上走り続けることとなります。私たちの身体は、日常生活や通常のランニングではそのような長時間運動を経験していませんので、軽度の脱水やグリコーゲン枯渇などの症状でもランニングが継続できるように 2 時間走を経験し、給水や給食をしながら走り続ける経験が必要となります。給水をしないと 30 分ほどで脱水症（熱疲労）が、給食をしないと 1 時間を過ぎたあたりからエネルギー源を示す血糖値の低下が始まります。ランニングスピードはいつもより遅くします。とにかく 2 時間走り続けることが重要なのです。

また、1 時間を過ぎたあたりから筋力が低下して、靭帯などに潜在的にトラブルをかかえていると痛みが発症することがあります。事前に症状を把握して、テーピングや機能サポーター、置き針（円皮鍼）などで対処しておくためにも 2 時間走の経験が必要なのです。

特に初マラソンに挑戦する場合は、可能であれば大会 2 週間以上前に 2 回ほど（実施は 2 週間以上空けてください）経験しておくことをお勧めします。

表1 運動強度のとらえ方（糖尿病治療研究会『糖尿病運動療法のてびき』、2001）

自覚的運動強度 (RPE) 強度の感じ方, その他の感覚を参考に RPE 数をきめる		$\dot{V}O_2\max$ からみた 強度	脈拍数からみた強度 % $\dot{V}O_2\max$ に相当すると思われる脈拍数					
強度の 感じ方	その他の感覚	RPE 点数	% $\dot{V}O_2\max$	1 分間当たりの脈拍数 60 歳代 50 歳代 40 歳代 30 歳代 20 歳代				
最高に きつい	からだ全体が苦しい	・20 ・19	100%	155	165	175	185	190
非常に きつい	無理, 100%と差がないと感じ る, 若干言葉が出る, 息がつか まる	・18 ・17	90%	145	155	165	170	175
きつい	続かない, やめたい, のどがか わく, がんばるのみ	・16 ・15	80%	135	145	150	160	165
やや きつい	どこまで続くか不安, 緊張, 汗 びっしょり	・14 ・13	70%	125	135	140	145	150
やや 楽である	○いつまでも続く, 充実感, 汗 が出る	・12 ○11	60%	120	125	○130	135	135
楽である	汗が出るか出ないか, フォーム が気になる, ものたりない	・10 ・9	50%	110	110	115	120	125
非常に 楽である	楽しく気持ちよいがまるでもの たりない	・8 ・7	40%	100	100	105	110	110
最高に 楽である	じっとしているより動いたほう が楽	・6 ・5	30%	90	90	95	95	95

(体育科学センター資料および RPE より, 1987, 伊藤改変)

「きつい」から「きつい」と感じ、乳酸処理能力を超えた 90%強度では「無理」と感じるのです。この自覚的運動強度の点数は心拍数の 10 分の 1 と指摘されていますので「運動時心拍数」と「強度の感じ方」を手がかりにトレーニングを実施することが重要です。

血中乳酸濃度が高い（「きつい」と感じる）ということは、エネルギー源として糖質（グリコーゲン）を利用していることとなります。当然筋肉や肝臓のグリコーゲン量は「有限」ですので「30Km の壁」が生じない（ガソリンの無駄遣いをしない）よう

では、42.195Km を 2 時間前半（1Km3 分）で走るランナーと 6 時間前半（1km9 分）で走るランナーではこの 3×3 システムの主役は異なっているのでしょうか。

運動を長時間高強度で継続できる持久的能力は「最大酸素摂取量」と「乳酸性作業閾値」の二つが代表的な指標です。最大酸素摂取量は「有酸素系（ローパワー）」の大変有力な指標で 5000m や 10000m の記録との相関関係が高いことが指摘されています。ところがフルマラソンとの関係を見てゆくと「乳酸性作業閾値」という指標との相関関係の方が高いというデータが多いのです。

フルマラソンの場合は、最大酸素摂取量（100%）レベルでは最後まで走れません。5Km レースなどでは、有酸素能力といながらも無酸素系といわれる「解糖系（ミドルパワー）」のエネルギー生産系も動員して走っています。そしてグリコーゲンが分解（解糖）され、処理しきれない「乳酸」が蓄積して運動継続を困難にします。いわば最初から「ラストスパート」をかけているような状態ではゴールできないのです。

フルマラソンでは、この乳酸の急激な蓄積が起こらないとされる 80%強度（血中乳酸 4 ミリモル強度といえます）以下で走らないと最後まで走りきることができません。「乳酸性作業閾値」はこの 80%強度や 60%強度（「きつい」と感じない強度）を示すもので 20km 以上のレースへのトレーニングでの重要な概念といわれています。（図 3）

ちなみに世界のトップクラスのマラソンランナーは、1Km2 分 50 秒台で走っていても 4 ミリモル以下とのデータがあります。私たちが 4 ミリモル以下で走っていますのでランニングスピードの絶対値は違うもののマラソンを走るメカニズムは同じようなのです。

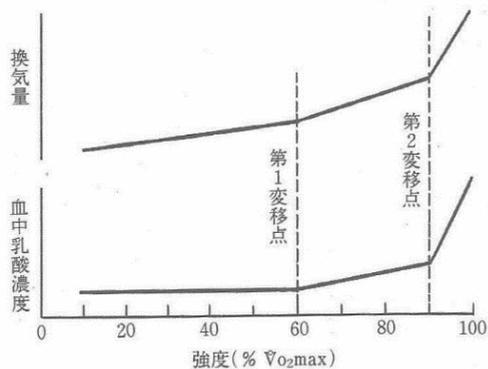


図 3 運動強度と血中乳酸濃度の模式図（加賀谷、1988）

最大酸素摂取量 60%強度を超えると乳酸がやや増加

80%強度を超えると乳酸が急激に増加（“きつくて無理”という感覚）

トレーニング効果

トレーニングの効果は、この 80%強度のランニング速度に現れます。練習を繰り返すと、同じ感覚でも最初は 9 分だったものが 7 分になりさらに 6 分でも走れるようになってきます。そして、この 80%強度の速度を改善するものが 60%強度の練習量であるという不思議な関係が指摘され、長距離ランナーのトレーニングでは全練習量の 2/3 程度をこの強度で実施することが重要であるとされています。月間 300Km の練習量では、200Km は 60%強度のランニング、100Km はインターバルトレーニングなどの強度の高いランニングとなります。レベルアップのために強度の高いランニングを 150Km に増やす場合は 60%強度のランニングは 300Km となり、月間走行距離は 450Km となります。スポーツ栄養学で指摘される PFC（たんぱく質：脂質：炭水化物）バランスを維持する重要性とよく似ています。フルマラソンで「大会 1 ヶ月前の走行距離が重要」というのもこのことと関係しているのかもしれませんが。

準備を始めよう

まず自分のランニング速度の 60%強度や 80%強度を確認する必要があります。しかし血中乳酸濃度を測定するためには特別の機器や経費がかかりまので、簡易指標として「運動時心拍数」を利用します。実は選手でも日常的に血中乳酸の測定はできませんので心拍数を手がかりとしてトレーニングを行っています。

基準は「安静時心拍数」と「最高心拍数」と「運動時心拍数」です。最高心拍数と安静時心拍数との差が 100%ですが、最高心拍数を測定することはリスクを伴いますので「220-年齢」を推定最高心拍数とします。例えば、40 歳の方で安静時心拍数が 60 拍/分であれば、キャパシティは [最高心拍「220-40」-安静時心拍 60] = 120 拍/分 (100%) なので 60%強度は「120×60% = 72 拍/分」に安静時心拍数を加えた 132 拍/分、80%強度は「96+60=156 拍/分」となります。

運動時心拍数の測定は、胸部送信機を利用する腕時計型の心拍計が一般的です。最近の安価なスマートウォッチは装着した手首からの脈拍測定（光学式）ができますが、走っていると手首で時計が動いてしまい誤差が生じます。立ち止まらなくてははいけません。脈拍を 15 秒間計って 4 倍して +10 拍の補正をすることでも測定は可能です。

ランニング時の強度の感じ方

運動生理学者のスウェーデンの Borg は、自覚的運動強度 (RPE) という概念を示し、その他の感覚との関連の重要性を指摘しています。伊藤 (1987) は運動強度と心拍数と年齢との関係を表 1 のようにまとめています。つまり 60%強度では、乳酸はあまり増加しないので「いつまでも続く」と感じ、70%強度で「や