

評価指標をどのように決めていきますか

澤野 博・Unit代表、フィジカルコーチ

測定した数値から、どのようなことを読み取るのか。今回はLTなどの運動生理学的な指標について、スポーツ現場の立場から解説している。



どのような測定でも数値で能力やトレーニング指標を表します。

それでは乳酸の漸増負荷試験の場合は、どの数値を評価やトレーニングに利用すればよいのでしょうか。乳酸関連の報告を見ると、LTあるいはOBLAの文字が必ずといってよいほど出てきます。そもそもこれらはどのような指標なのでしょう。

LTとは

LTはLactate Thresholdの略語で、日本語にすると乳酸作業性閾値とい

うこととなります。実はこのLTは歴史的に見ても定義が定まっていません。しかしさまざまな報告を見ると、前提となるべきLTに関して定義づけがきちんと行われておらず、漠然と利用しているものも多く見受けられます。

ただ現在の日本における定義としては「乳酸値が急激に上昇を開始する点」とし、1～3 mmol/lくらいの運動強度と考えられているのが一般的ではないでしょうか。中には「乳酸が蓄積を始める点」としているも

のもあります。

何をもって急激な上昇とするかは意見の分かれるところですが、科学的分析というのであれば、誰が行っても同じ結果にならなければいけません。

実はLTを決定するために、この分析を行うことが一番大変なのです。急激な上昇をどのように判断するのか。グラフを見て、「この辺かな？」ということであれば、せっかく測定した精度が台なしになります。その時点で科学的分析ではなくなってしまいます。

このLTを簡単に算出することができるとソフトウェアがあります。アークレイ株式会社が開発した「MEQNET LT Manager」です。Websiteで無償でダウンロードができます(https://www.arkray.co.jp/cgi-bin/lt_enquete/ltmanager.html)。しかしこのソフトでも回帰方程式で直線を選択したときのみLTが計算され、それ以外のときは計算されません。なぜならこのソフトに組み込まれている2次や3次方程式だけでなく、曲線で構成される回帰方程式では、増加量が連続して変化するため、急激に上昇する点を決定できません。

上記のことからわかるように、LTの定義から考えると回帰直線の組み合わせで分析を行ったとき、あるいはプロットしたグラフから視覚

■ATPの利用先

みなさんは体内で生成されたATPはどこで利用されていると思いますか。筋じゃないのと思った方、もちろんそうなのですが、実はそれだけではないのです。27%がタンパク質の合成に、24%が $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{ATPase}$ に、9%が糖新生成に、6%が $\text{Ca}^{2+}\text{ATPase}$ に、3%が尿素生成に、そしてたった5%が筋収縮に関連するミオシンATPaseに利用されているのです。実は筋収縮以外のいろい

ろなところでATPは利用されているのです。とくに $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{ATPase}$ は細胞膜にあるナトリウム-カリウムポンプといって細胞内からナトリウムを排出し、カリウムを排出する役目を果たしています。これは細胞が興奮したときに細胞内に流入したナトリウムを排出して、もとの状態に戻したりする役目があります。

■酸素はどこで必要?

有酸素性代謝と無酸素性代謝の違いは、酸素を利用するかしないかの違いです。無酸素性エネルギー代謝は周りにいくら酸素があっても、それを利用せずにATPをつくり出すということになります。

さてそれでは有酸素性エネルギー代謝は酸素を利用してATPをつくり出す

のですが、酸素はどの部分で必要とされるのでしょうか。TCA回路と見た方、残念です。生化学の本を見てもらえばわかりますが、TCA回路に酸素が関与する記述はありません。それではどこにあるのでしょうか。単純なようですが、結構答えられない人も多いんですね。答えは本欄の最後で。

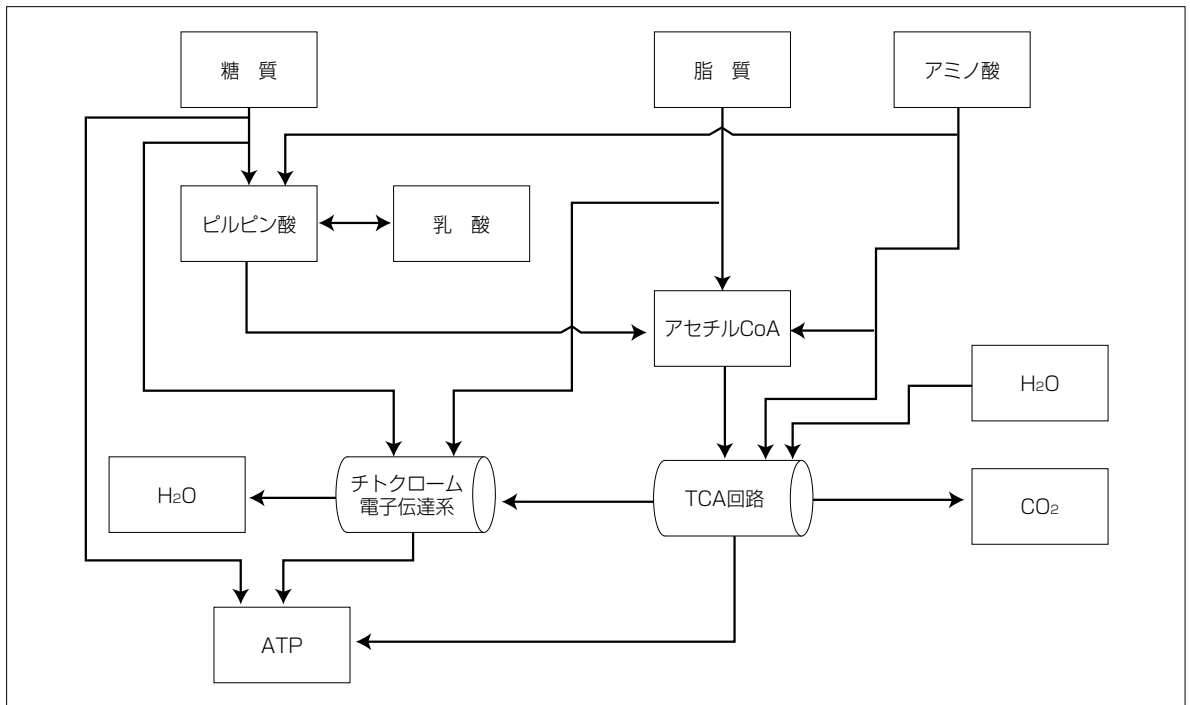


図 TCA回路を含めた中間代謝の概念図

的に屈曲点を決定したときに出現する指標なのです。それゆえにきちっとした定義せずにLTという言葉だけを利用してしまうと、それを受け取る側は混乱してしまいます。

OBLAとは

OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) は「血中乳酸蓄積開始点」となり、これは 4 mmol/l のことを示しています。LT と異なり、こちらはもともと数値で定義されているため、LT ほどの混乱はありません。しかしその決定した際の回帰式により評価数値が変わってくるのは、LT と同様です。

これは同一データから導き出した 2 つの異なる回帰式に乳酸値 4 mmol/l を代入してみればわかることです。回帰式が異なれば、そこから導き出される数値は異なってきますよね。

実測値からどのように OBLA を導き出したかということも、数値と同

様に重要な事項なのです。

AT (AnT) とは

AT (Anaerobic Threshold) は無酸素性作業閾値と訳されています。定義としては無酸素性エネルギー代謝を中心としたエネルギー産生機構が働き始める点というようになるのでしょうか。無酸素という言葉から「酸素がない状態」と連想しやすいのですが、体内で酸素がなくなることはあり得ない状態ですので、「酸素を必要としない」と考えたほうがよいのではないかと思います。そもそも無酸素と和訳されたのは、有酸素の意味の Aerobic に反対の意味を表す接頭語 An がついているため、有の反対の無が使われ始めたのではないかと思います。無酸素性作業閾値の AT (AnT) と区別するために有酸素性作業閾値 (Aerobic Threshold) は AeT や AerT としています。

種目間、海外での解釈の違い

今までのことで、これらの言葉は OBLA を除いて、数値化されている定義ではないことはおわかりいただけたと思います。それゆえ、国外においてや、国内でも種目によっては $LT \equiv AeT$ と考えていたり、 $LT \equiv OBLA \equiv AnT$ と考えていたり本当にさまざまです。とくに後者の考え方は、LT の定義は必ずしも低強度である必要はなく、急激に上昇する点ということから、OBLA の定義とほぼ同義語と考えることができるためではないかと思います。

言葉の背景にあるもの

LT や OBLA、AnT など本来、運動生理学的背景から生まれてきた言葉です。LT は乳酸性エネルギー代謝 (解糖系あるいは無酸素性エネルギー代謝) が活発になり始める点ということですし、OBLA は運動中の血中乳酸値がプラトーを維持できる

表 I、IIa、IIbの筋の特徴

特徴	タイプI	タイプIIa	タイプIIb
収縮速度	遅い	速い	速い
力発揮	低い	中間	高い
パワー	低い	高い	高い
持久力	高い	中間/低い	低い
好気性酵素	高い	中間/低い	低い
嫌気性酵素	低い	高い	高い
疲労しやすさ	低い	中間/高い	高い
毛細血管密度	高い	中間	低い
筋線維の直径	小さい	中間	大きい
ミトコンドリア密度	高い	中間	低い
ATP分解酵素の活性	低い	高い	高い
ミオグロビン	高い	低い	低い
色	赤	白(中間)	白

NSCA ストレングストレーニング&コンディショニング第2版より

最高レベル、AnTは無酸素性エネルギー代謝が始まる点、AeTは有酸素性エネルギー代謝の限界点ということになっていました。

しかし現在ではこれらの言葉が本当にその点を指していると考えずに、その背景を無視して言葉だけが一人歩きしている状態ではないかと思えます。

混乱からの脱却

現場で指導しているわれわれにとって大切なことは、それらの言葉に惑わされることなく、その言葉が示しているものを正確に見極めることです。これらの言葉尻をとらえてあれやこれや考えても、競技力が伸びるわけではありません。われわれがすべきことは、血中乳酸値を漸増負荷試験で測定したならば、前回と比較してどのように変化し、今後どのようなトレーニングを行ってゆくべきかを考えなければいけません。

人によって解釈が異なる定義を使うよりは、OBLAのように4mmol/lと具体的な数値を決定し、それをみなさんが考える能力の指標とし、トレーニングで使用する指標と考えてゆくほうがよいのではないかと思

ます。

もちろん新しい言葉をつくり出してもよいですし、多少本来の意味とは異なるが、数値で再定義をして利用するというだけでもよいのではないかと思います。ただしその再定義をする際には、○×式と勝手に名づけるのではなく、生化学や生理学に基づいた理論構築が必要です。もちろんその際に先人の知恵を積極的に利用しても、全く問題ありません。

指導現場から考える

まず評価指標を設定する前に、みなさんは持久力系のトレーニングをどのように指導していますか。まずそこを整理してみましょう。

何の体力測定もせず、心拍数計も利用せずに距離や時間だけで負荷をコントロールする。もしそのような指導をされている状態であれば、乳酸を測定する前にすべきことはたくさんあります。

持久力向上のためのトレーニングは、いくつかの運動強度を組み合わせで行うのが一般的だと思います。なぜその強度で行っているのか、そしてそれは生化学的、生理学的にはどのような背景があり、どのような

トレーニング効果が期待できるのかをまとめてみて下さい。

これは持久力系だけでなく、レジスタンス系であっても同様に考えなければいけないことです。レジスタンス系であれば筋肥大なのか最大筋力なのか目的があるように、持久力系にも目的はあるはずです。

たとえばLSDと呼ばれているトレーニングがあります。Long Slow Distanceという名前の通り、長距離をゆっくりと走るものですが、このトレーニングを行うことにより、生体内でどのような反応が起き、競技力向上にどのように貢献できるのでしょうか。

このように一つ一つのトレーニングにおいて生化学的、生理学的背景をはっきりさせることが、評価指標を設定する第一歩になります。

筋活動と乳酸の関係

すべての身体運動は筋収縮によって行われています。その筋収縮のエネルギー源はアデノシン三リン酸(ATP)であることは、みなさんご存じだと思います。われわれの身体は糖質、脂質、タンパク質からいかに効率的にアデノシン三リン酸をつくり出し、それを筋収縮も含めた、さまざまなことに利用するようできています。

それではなぜ筋収縮の強さ、つまり運動強度が高くなると、乳酸値は高くなるのでしょうか。それは活動する筋の種類が関係してくるためと思われるます。

運動強度が強くなるということはそれだけ筋活動量が増えます。筋は運動強度が高くなるにつれてタイプI、タイプIIa、タイプIIbと活動を始めます。タイプIはミトコンドリア密度が高く、タイプIIbはミトコンドリア密度が低い。逆にタイプ

表 乳酸値と活動筋、エネルギー代謝の関係

	第1相	第2相	第3相	
	安静	"Aerobic Threshold (AeT)"	"Anaerobic Threshold (AnT)"	VO ₂ max
主な代謝過程	有酸素的	→	無酸素的	
エネルギー産出基質	脂質>糖質	→	糖質>脂質	
動員される筋線維タイプ	I	I、IIa	I、IIa、IIb	
運動強度 (%VO ₂ max)	40~60		65~90	
心拍数 (拍/分)	130~150		160~180	
血中乳酸濃度 (mmol/l)	~2		~4	

〔ATその変遷と新しい理解〕より

II bはアデノシン3リン酸フォスファターゼ(ATPase)活性が高く、タイプIは低いという報告がされています。タイプII aはそれぞれの間という形になります。

このATPaseはATP分子末端の高エネルギーリン酸結合を加水分解する酵素で、この活性が高いということは、それだけATPを分解してエネルギーを取り出しやすい、つまりタイプII bはATPを分解しやすく、それだけ強い力を発揮できるということになります。

ATPが分解されるとアデノシン二リン酸(ADP)になりますが、じつはこのADPやアデニル酸キナーゼ(筋内にあるものはミオキナーゼと呼ばれる)が2つのADPからつくり出すATPとアデノシン一リン酸(AMP)が、解糖系の律速酵素でもあるホスホフルクトキナーゼを活性化し、解糖系によるエネルギー代謝を亢進させます。そうすると乳酸が代謝物質として生成されます。

このホスホフルクトキナーゼはADP、AMPのほかにグルカゴン(血糖を上昇させるホルモン)などが活性因子、ATPやクエン酸、長鎖脂肪酸(リノール酸、リノレン酸、アラキドン酸など炭素数が12個以上のもの)などが阻害因子となります。

そのほかにもアドレナリン(エピネフリン)による解糖系によるエネルギー亢進も考えられます。このよ

うな機序で運動強度が高くなると、乳酸値が高くなってゆくののです。

ここで改めて筋活動と乳酸値の関係に着目してみましょう。運動強度が低いときはタイプIが主に活動していることとなります。その際のエネルギー産生機構を考えると、ミトコンドリア内のTCA回路および、チトクローム電子伝達系でATPが産生される有酸素性エネルギー代謝が働いていることとなります。もちろん無酸素性エネルギー代謝(解糖系)も働いています。もし運動強度が弱いときに解糖系が働かないのであれば、安静時の乳酸値は0のはずですよ。さてそこで産生された乳酸はピルビン酸に戻り、ミトコンドリア内に取り込まれオキサロ酢酸またはアセチルCoAになりTCA回路、チトクローム電子伝達系でエネルギーを得ることになります。ですから乳酸は産生されていますが、消費もされているので結果として乳酸値は低い状態になります。

反対に運動強度が高いときはどうなるのでしょうか。そのときはすべてのタイプの筋線維が活動することになります。基本的な流れは運動強度が低いときと変わりませんが、運動強度が高いためATPも多く産生する必要が出てきます。タイプIIはタイプIの倍のATP産生能力があるという報告もあります。必然的に分解される量も多くなり、それが解糖

系を亢進させ、代謝産物としての乳酸を大量に産生する。その乳酸をエネルギー源として利用したいが、TCA回路で処理できる量にも限界があるので、乳酸値が高くなってしまふ。このようになるのではないのでしょうか。

もちろん極端にどちらかということではなく、運動強度によって徐々に移行する形になってゆくの、タイプII a、タイプII bがどのくらいの乳酸値から働き始めるのかということを考えなければなりません。

MaderらによるとタイプII aが動き始めるのが2 mmol/l、タイプII bが動き始めるのが4 mmol/lと定義しています。

研究者の中にはこの数値に疑問をお持ちの方もいらっしゃいます。もちろんこのMaderの考え方が絶対ということではありません。しかし指導の現場にいるわれわれは、発表されたものの中から「これは」と思うものを選び、競技力向上に役立てればいいのであって、その疑問に反論する必要は必ずしもありません。われわれがそれを発表したのなら反論も必要ですが、われわれは利用しているだけです。その議論に巻き込まれる必要はありません。その発表が違うなと感じたら、違うものを利用すればよいのです。

そういった意味では評価指標は、その根拠となるものはさまざまな発

表の中から選び出さなければいけません。本当に自由に設定することができます。あとはご自分の考えに合致する理論を探し出すことができるかですね。

ちなみに私は最初に出会ったのがこの理論だからということもありますが、Dr. Pansoldから受け継いだそのほかの要素から複合的に考え、この2 mmol/l、4 mmol/lを評価指標とし、トレーニング強度の指標にも利用しています。

あまり細かく運動強度を設定しても、はたしてどのくらいその強度でトレーニングができるか、その精度を考えると、このくらいの幅が適当なのではないかと思えます。

競技種目間による評価の考え方

持久力に対する考え方は、試合時間や運動形式が異なる競技種目の場合、全くといってよいほど異なるも

のになります。

しかしだからといって評価指標やトレーニング指標を変化させる必要は私はないと思います。なぜなら競技種目が異なるからといって筋活動の領域が異なるわけでもなく、トレーニングに対する生体反応が異なるわけでもないと思うからです。もちろん競技特性に応じてトレーニング形態や、内容は変化させますが、評価指標が低いからといってその競技種目がよいとか悪いとかの問題ではありません。そういう競技特性があるというだけです。

マラソンと100m走とバレーボールでどれが優れているかなど、比較すること自体がナンセンスですよ。

評価指標の落とし穴

実はこの評価指標には気をつけなければならぬ点があります。

まず1つ目は、ある評価指標が世

界トップクラスにあったからといって、世界のトップクラスになるかといえば残念ながらそうはなりません。タクティクス(戦術)・テクニック(技術)・コンディション(状態)・スピリット(精神)・マテリアル(道具)の頭文字である、「タ・テ・コ・ス・マ」すべての要素がそろって初めて世界のトップクラスになれるのです。1つの評価指標だけで喜んではいられません。

2つ目はこれで強度は指標として出せませんが、時間の指標はわからないということです。ある強度でトレーニングをしてゆく場合、1セットをどのくらいの時間に設定すればよいのかということです。もちろんできるだけ効率的にトレーニングを行いたいので、強度と時間のバランスはよく考えなければなりません。もしこれを正確に知りたいのであれば、漸増負荷試験とは違う形の体力測定を行わなければわかりませんが、これはトレーニングの際、セットの中に何回か測定し、そのときの乳酸値から推定することができます。

まとめ

- LTの文字が見えたら要確認。
- 理論的に考えることが科学的トレーニングの第一歩。
- すべてを記憶することではなく、どこから引用したかを記憶することが重要。
- 考えすぎてスパイラルに陥らないように。

■専門用語にとらわれずに指導に活かす

実は私、日本に帰ってくるまでLTやOBLAという言葉を知りませんでした。日本に帰ってきてから日本における乳酸のことを少し勉強し始めて「なんだこりゃ」というかたちで知ったのです。AeT、AnTに関しては現地いろいろと教えてもらっていましたし、指標としても利用していたので理解はしていたのですが、今思えばそれ以外の言葉は指導をするうえでは全く必要なく、数値を利用してトレーニング指導

に当たっていました。本文でも書きましたが、言葉の厳密さは大切なことです。しかしそれにとらわれてしまっただけでは本末転倒です。私たちの仕事はそれを追求することではありません。そこは研究者に任せて、出てきた研究結果を取捨選択して競技者の競技力を上げることに全力を注ぎませんか。もちろん取捨選択できる目を持ち続けるために、勉強は続けなければいけませんけどね。

■解答

本文中にも少し出ていますが、ミトコンドリアの基質(マトリックス)に存在するチトクローム電子伝達系の最終段階で利用されています。このチトクローム電子伝達系は解糖系やTCA回路などで生成されたFADH(フラビニアデニンジヌクレオチド)やNADH(ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド)から補酵素Q(コエンザイムQ、別名ユ

ビキノ。側鎖のイソプレノイド数により1~12があり、哺乳類は10が多い。つまりコエンザイムQ₁₀)、フラビンタンパク質、チトクロームなどを利用して電子(H⁺)の受け渡しを行い、ATPシンターゼによりATPを再合成します。その最後のところで電子と酸素が結合することにより、H₂Oができます。これが代謝水と呼ばれているものです。

■メモ

測定方法から分析、フィードバックの方法まで、文字では伝わりにくい内容をセミナー形式でお伝えしたいと思います。詳細は巻末のセミナー案内、または弊社ウェブサイトをご覧ください。
<http://www.team-unit.com>