

乳酸のこと、 きちんと説明できますか

澤野 博・Unit代表、フィジカルコーチ

乳酸について、その意味、活用方法について改めて考えていく新連載。今回は基礎的な話題が中心である。



はじめに

皆さんはどのように乳酸値を利用していますか。体力測定でしょうか、トレーニング結果や疲労度の検証、それともトレーニング強度の設定、あるいはその他の用途でしょうか。

もしかすると中には、一般的な体力測定すら行っていない、科学的トレーニングアレルギーをお持ちのコーチもいらっしゃるかもしれません。

そのような方も含めて、もう一度乳酸値というものを、きちんと理解し、研究対象としてではなく、自分の武器として、競技力向上のためにどのように活用してゆけるかを考えていきたいと思います。

そもそも乳酸って何？

一般の人に、乳酸を測定している

と言うと、だいたい同じような反応があります。「疲れているかどうかわかるやつでしょ」とか「ああ最近健康診断で引っかかってね」などです。

そうした場合、皆さんはどのように対応していますか。私の場合は「それは全く違いますよ」とか「それは乳酸じゃなくて尿酸値でしょ」など漫才師顔負けのつっこみをすることもしばしばです。

一般の人が持つ乳酸のイメージは、メディアなどで繰り返し流されている誤解をそのまま信じているレベルではないでしょうか。残念ながら実は競技者も同じようなレベルでしかない場合がほとんどです。

その人たちに「じゃああ乳酸って何なの？」と聞かれたら、皆さんはどのように答えますか。まさかこの期に及んで「疲労度を示すものです」などと答えてはいませんか。そうでなくても教科書通り「無酸素性エネルギー代謝のときに…」と回答しても、相手の頭の上にクエスチョンマーク（？）が浮かび上がるの

は間違いありません。

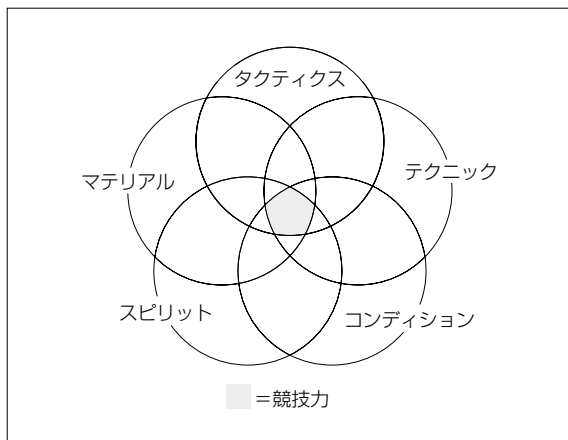
難しいことを難しく言うことは非常に簡単です。自分が理解していなくても、教科書を丸暗記してそのまま相手に伝えればよいのです。しかしそれはスポーツに限らず、専門家としてどうなのでしょう。もし自分の専門外のことを、その筋の専門家に聞いて、専門用語を連発されたら皆さんはどのように感じるでしょうか。相手のレベルに合わせて説明ができて初めて専門家として認められるのではないのでしょうか。

今回はこの乳酸に関して、その答えを見つける手助けになるように、基本的なものも含めて乳酸をさまざまな角度から見てみようと思います。

物質としての乳酸

少し難しい話になってしまいますが、高校の化学のおさらいと思って下さい。

乳酸は1780年にスウェーデンの科学者であるCarl Wilhelm Scheeleが、牛乳の発酵飲料の中に発見したと言われています。また1922年にドイツ人のOtto Fritz Meyerhofがイギリス人のArchibald Vivian Hillとの共同研究、「筋中における酸素消費と乳酸代謝の関係」でノーベル生理学・医学賞を受賞しています。彼らの研究により解糖系がほぼ解明され、無酸素性エネルギー代謝の副産物と



競技力構成要素のタ・テ・コ・ス・マ

して乳酸が産生されることを証明しました。

乳酸の正式名称は2-ヒドロキシプロパン酸、分子式は $C_3H_6O_3$ で分子量90.08、つまり1molで90.08gとなります。水溶液は酸という名の通り、酸性を示します。ただし強酸ではないので、100%電離はせずにコロイドの状態で存在します。

スポーツの世界では現在はmol(モル)を利用して測定をしていますので、乳酸の測定単位であるmmol/lは1リットル中に何mmolの乳酸があるかということになります。モルとは原子や分子などの数を表す単位であり、1molに含まれる粒子の数は 6.022×10^{23} 個になります。

たとえば1mmol/lの場合は、1リットル中に0.09008gの乳酸があるということになります。

生体内で生成されるのはL型の乳酸で、融点は52.8℃になります。またこの乳酸が多数結合したものは、ポリ乳酸として、微生物などにより二酸化炭素と水に分解される、生分解性プラスチックとして研究実用化が進んでいます。

また乳酸と乳酸塩と似たような言葉があります。よく混同されるこの2つの違いは何でしょう。実は乳酸は乳酸イオンと水素イオンが結合した乳酸そのもの。乳酸塩はカルシウムイオンやナトリウムイオンなど、その他のイオンが結合したもののなです。ですから、本来はたとえば、乳酸カルシウムや乳酸ナトリウムなど個別の名称があるのですが、それらを総称して乳酸塩としているのです。

この乳酸カルシウムなどは食品添加物としても利用されています。

乳酸の産生と分解について

生体内ではさまざまな機構を利用

■乳酸測定との出会い

今から約15年ほど前、全日本スキー連盟が海外からある一人のコーチを招聘しました。彼はそれまで行われていた体力測定とは全く異なることをしていました。それが乳酸測定です。

比較的そのような情報が入りやすい会社に勤務していた私は、彼や、彼にさまざまなことを教えているスポーツ医学のドクターであるDr. Pansoldがどのような理論でそのトレーニングを行っているかだんだん興味を持つようになり、それまで勤めていた会社を辞め、単身オーストリアのOlympiastützpunkt Obertauern(オーバータウエルンオリ

ンピック支援拠点)に籍を置くことにしました。

その施設では、乳酸を測定することは研究のためではなく、競技者をどのように強化していくのかということに利用されていました。

その施設には本当にさまざまな競技者、しかも金メダリストもいるような中で、トレーニングにどのように利用できるかということを学びました。

そこで身につけた体力トレーニングにおける乳酸利用の基本的な考え方が、現在の私のトレーニング指導の基礎になっています。

してアデノシン3リン酸(ATP)を産生しています。このATPは生命維持活動において非常に重要な役割を果たしています。

そのなかで糖質(グルコース)からATPを産生する際の副産物としてピルビン酸が産生されます。このピルビン酸がピルビン酸トランスポーターによりミトコンドリア内に運ばれるとアセチルCoAとなり、有酸素性エネルギー代謝でATPを産生します。またLDH(乳酸脱水素酵素)による反応が起こると乳酸となります。通常はLDHによって乳酸が生成されます。

その機構は解糖系とか無酸素性エネルギー代謝と呼ばれています。グルコース1分子からATPが2分子、ピルビン酸が2分子産生されます。

無酸素性とありますが、酸素がない状態での代謝ではなく、酸素を必要としない代謝ということは皆さんご存じのことでしょう。

つまり糖質が利用されれば量ともかく、乳酸は必然的に産生されるのです。この反応は細胞質内で行われています。

反対に乳酸の分解についてはピルビン酸、アセチルCoAと酵素の力によって変化し、TCAサイクル、およ

びチトクローム電子伝達系内でATPをつくり出すことで終了します。その際に出る副産物は二酸化炭素と水です。乳酸1分子から18分子のATPをつくり出すことができます。

乳酸はLDHによってピルビン酸になり、それ以降は前述にある経路を通り、TCAサイクルおよびチトクローム電子伝達系はすべてミトコンドリア内での反応となります。

乳酸を利用するにあたって

乳酸を利用するからといって特別なことはありません。通常のトレーニング同様、測定→評価分析→フィードバック→トレーニング→測定という基本的な手順を踏む必要があります。

あくまでトレーニングをするための手法の1つですから、目的とするトレーニングによって目標乳酸値は変わってきます。この基本的な考えを持たずに、ただ測定だけ行っても全く意味がありません。

また体力測定に乳酸値を利用する利点は、結果を利用してトレーニング強度を決定できることです。理論によって違いはありますが、一般的には、測定結果をもとに、いくつかの強度に分けてトレーニングを行って

■乳酸菌との関係

乳酸菌という菌は存在しません。実は発酵により糖類から乳酸を産生するものを総称して乳酸菌と呼ばれているのです。

ヨーグルトをはじめとするさまざまな発酵乳製品や乳製品の中に存在しており、一般的にいわれているビフィズス菌 (*Bifidobacterium bifidum*) などはこの仲間になります。酸である乳酸を

産生するために、食品を酸性に傾け、ほかの微生物が繁殖できない状況にすることで、自ら繁殖しやすい環境にするのと同時に、食品の長期保存を可能にしています。

また人体においても常在菌として腸内はもちろん、口内などにも観察されます。

いきます。

数値でトレーニング管理ができるということは、競技者にも理解しやすく、自分が行っているトレーニングがどのような種類のトレーニングかをきちんと把握することができます。トレーニングを理解して行うことや、個人の能力に合わせて、目的にあった負荷を決定できるということは、トレーニングの原則から見ても、その効果をよりいっそう増強させるものになります。このことは皆さんも指導をしている中で経験があると思います。

運動強度と乳酸値の関係

運動強度が高くなれば、それだけATPが必要とされます。問題はそのATPをどこからつくり出すかという

ことになります。普段は脂質代謝が主な原料となり、ATPをつくり出していますが、運動強度が高くなると糖質が利用される割合が、徐々に高くなります。つまり乳酸の産生量も徐々に多くなってゆくのですね。

しかしそれと同時に乳酸を分解する機構も動いています。つまり測定される乳酸値は単純に産生された値ということではなく、産生量から分解量を引いたものになります。

とはいえ、運動強度が上がるに従って指数関数的に乳酸値も上昇していきます。

エネルギー源の割合

飢餓状態などを除き、ATPをつくり出すエネルギー源は基本的には糖質と脂質になります。行動を開始し

たときは、最初に糖質が分解されると言われていますが、このように考えることはできないでしょうか。

糖質は脳も含めて体内では極めて重要な物質となります。それゆえにできるだけ温存するはずで、運動開始の時に糖を消費し、その消費した分をグリコーゲン分解なり、糖新生なりを利用して補充のために産生するのは効率が悪いのではないのでしょうか。

できるだけ効率のよい脂質を中心に利用し、どうしても足りない場合は糖質、あるいはCP系を補助として利用する。

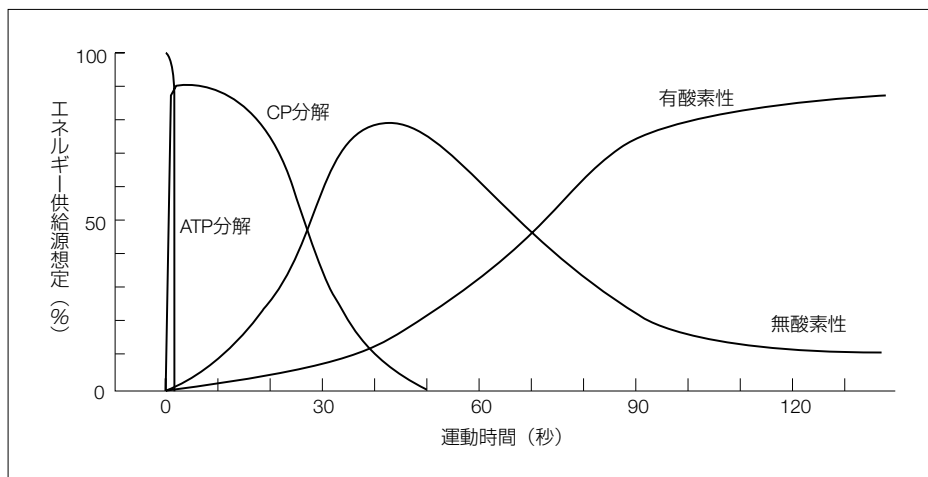
身体はその瞬間瞬間の運動強度に応じて、使用する糖質と脂質の割合を自動的に決定し、ATPを産生するのではないのでしょうか。

よく見かける運動時間とエネルギー源の割合の図は、この図だけを見れば、時間が経過するに従ってエネルギー源が変わってくと見てしまうかもしれません。見方を誤るとこのような考え方になってしまいます。この図は横軸に時間を取っていますが、これは決して連続した時間経過を示しているわけではありません。しかもこの図は激運動時という状況

の限定です。運動時に時間によって人体がエネルギー源を次々と切り替えていくほうが逆に不自然ではないのでしょうか。

しかも運動時間がどのくらい継続するかということは、身体は判断ができません。その強度で運動がどれだけ続けることができるかは、持久力にかかってきます。

ただ持久力といって



激運動時のエネルギー供給源の想定

もいろいろな解釈があると思います
が、「疲労を取り去る能力」と考える
のがよいのではないかと私は考え
ます。

疲労の原因についてはさまざまで
すが、ここでは、一般的な概念とし
て話を進めたいと思います。

なお、骨格筋の疲労については、
吉岡利忠氏監修『分子の目で見た骨
格筋の疲労』（ナッパ社）などを
ご覧下さい。

持久力のトレーニングという
と、長時間走ったりすることのよう
に思われがちですが、それだけでは
ありません。

レジスタンストレーニングなど
もただトレーニングを行えばよい
というものではなく、最大筋力向上
のためであるとか、筋肥大のため
であるというように、必ず目的があ
ります。

持久力も同様でただ漠然とトレ
ニングをしていても、効率が悪く、
貴重な時間を無駄にしまいます。

持久力が高ければその運動をより
長い時間続けることができ、その分、
勝利する確率が高くなるのではない
でしょうか。

運動競技における持久力の役割

実は持久力は、一般的に言われて
いるマラソンや自転車のロード、ク
ロスカントリースキーなど、一般的
に持久系と言われている種目にお
いてのみ必要とされる能力ではあり
ません。

その他の競技種目でも技術・戦術
が勝敗の要素に大きく絡んでくる
もの、たとえばバレーボールや、バ
スケット、テニス、卓球、フェン
シングなどに関しては、試合で勝利
するためにも、もちろん必要な
のですが、どちらかというと、効
率よく技術練習をこなすために
必要になってき

■医療の世界での乳酸

医療の世界でも乳酸は測定を
されていますが、通常検査で測定
されることはあまりありません。

基準値は3.3～14.9mg/dl
です。医療の世界ではmg/dlの
単位を使用していますので、
mol換算をすると0.37～1.65
mmol/lとなります。

腹膜や肝臓などの急性炎症で
高値に

なり、死亡例では術後乳酸値が
800mg/dl (8.88mmol/l) に
も達していたという報告もあ
ります。

運動時には10mmol/lを超
えることも珍しくないですが、
身体活動を伴わない炎症でも
乳酸値は上昇してしまうので
す。

す。

技術・戦術練習において、
疲労せずに長時間続けることが
できれば、それだけ技術の向上
につながり、勝利できる確率も
高くなります。

疲労困憊にもかかわらず、
技術練習を無理やり続けること
で、指導者も競技者も練習の
充実感はありません。

しかしそれらは効果的で正確な
技術・戦術の習得になるのでは
しょうか。正確な技術・戦術
練習を5分しか続けられないの
と、30分続けられるのでは、
どちらのほうが技術・戦術の
向上に有利でしょうか。

技術・戦術練習も効率を考
えて行うことが必要ではない
でしょうか。そのために持久力
は欠かせないものになります。

競技中の乳酸値は高低どちらがよいのか

結局のところ、競技中の
乳酸値は高いほうがよいので
しょうか。それとも低いほう
がよいのでしょうか。これに
関して、私自身ははっきりと
結論は出ていません。種目は
違いますが、乳酸値と競技記
録の相関があるという報告も、
ないという報告も両方出ている
からです。

しかし競技記録は体力だけ
ではなく、技術や戦術、道具や
精神などの総合力であること
から、一概にどちらがよいと
はいえないのではないかと

と思います。

ただ同じ運動強度であれば、
乳酸値が低い方が、持久力が
あり、有利ではないかと考
えています。

ただこれは競技中のことであ
って、トレーニングの際は目
的とする効果が期待できる強
度でなければ、高くても低く
ても意味がありません。

未だに誤解されている疲労物質としての乳酸

情報収集をしっかりしている
コーチの間からはさすがに聞
かれなくなりましたが、いま
だに一般の人の間では、乳酸
＝疲労物質という考え方が
根強く残っています。論文検
索をしても疲労度の測定で乳
酸を利用しているものもか
なりの数が存在します。

乳酸は代謝産物であることは
間違いないですが、それが
疲労物質であるということは
現在では否定的です。

疲労には、精神的なものと肉
体的なものがあり、総合的かつ
定量的に評価することが難し
いものであります。にもか
かわらず、一般の人々の認
識が、以前の解釈と変わらない
ため、未だに乳酸が疲労物
質であるという認識になって
しまっています。

メディアでも「乳酸が溜まって
…」と言っている人もよく
います。困ったことに、その
ような人たちは名の通った
方で、影響力は非常に大きく、

それゆえになかなか乳酸＝疲労物質という構図を崩すことができません。

これに関しては、われわれ専門家がスポーツの分野だけでなく、さまざまな分野で積極的かつ正確な情報を発信してゆく必要があると思いません。

皆さんでそのような情報を見かけたら、指摘をしていきませんか。

疲労の評価と乳酸

日本疲労学会では抗疲労臨床評価ガイドラインをウェブサイトに掲載しています。その中で生化学的評価に乳酸は入っていません。

もし肉体の疲労度を測定したいのであれば、そちらのデータを利用して評価をしてゆく形を取るべきだと思います。

また乳酸から発生する水素イオン

が原因とも言われていますが、乳酸自体あまり電離をせず、もし電離したとしても、無酸素性エネルギー代謝の中ですでに行われているという考えもあります。それでは水素イオンはどこからくるかということになりますが、Robertらによると、ATPが加水分解されてADPになるときに放出されるのではないかということです。

また疲労物質でない証拠としては、高強度での運動後、疲労困憊で身体が動かない状態から、1～2分休息後に動くようになったときに乳酸の値はどのように変わっているのでしょうか。もしそれ自体が疲労の原因だとしたら、動けるようになった時点で平常値に戻っているはずですよ。

これらのことを一般の人に説明をすれば、乳酸が単純に疲労物質であ

るとは言い難いことを理解してもらえないのではないのでしょうか。

今回のまとめ

- 生化学は必要であれば説明できるように理解しておく。
- 乳酸値は疲労度ではなく運動強度だ。
- 測定ではなく、トレーニングが目的だ。
- 持久力は疲労を取り去る能力で、どんな競技でもあるに越したことはない。
- ご利用は計画的に。

■メモ

ユニット

Tel.&Fax 0422-34-5055

<http://www.team-unit.com/>

info@team-unit.com