B05-143 L2/RM4 乳酸は疲労原因物質ではない　Lactic acid is NOT a Fatigue Factor

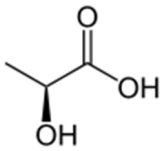
作成 20160614 改訂 171003 180717 230122 240907

乳酸値はトレーニング強度の指標になるが，疲労の原因物質ではない． 乳酸を疲労の原因物質とする誤認は，2001年頃に指摘され，2005年頃には「速筋で作られ遅筋に供給されるエネルギー源」と，生理学分野では，正された． しかしスポーツ指導者レベルではまだ誤ったイメージが残っている．

1 整理：乳酸に関する正しい知識

- ☐ 糖質(グリコーゲン)が蓄積されている瞬発系の筋肉(速筋)で糖質を分解してエネルギーが作られ，乳酸が生成される．
- ☐ 生成された乳酸は，持久系の筋肉(遅筋)で，酸素を使って分解され，エネルギーを生成する．
- ☐ 乳酸は，筋肉だけでなく脳の重要なエネルギー源でもある．
- ☐ 乳酸は疲労の「原因物質」ではない． 乳酸の増加は一過性で，何もせずとも1時間で低下するが，その後も疲労は続く．
- ☐ 血中乳酸の測定，LT(AT)の把握は，トレーニングの強度の指標の一つとして有用である． ただし「疲労度，疲労物質」の指標ではないことに注意しよう．

2 体内の乳酸生成，乳酸回路，LT



乳酸(lactic acid)は，分子式$C_3H_6O_3$，示性式$CH_3CH(OH)COOH$の有機化合物． 体内で糖を分解してエネルギーを産生するときにできる分解生成物である．

乳酸回路： 乳酸は，肝臓で再合成されグルコースとなり，血液により全身に運ばれる． 一連のサイクルを乳酸回路(lactic acid cycle)，コリ回路(Cori cycle)という．

乳酸性閾値(…いきち，lactic acid threshold，LT)： 無酸素性作業閾値(AT)． 運動状態が酸素の供給不足の状態になると，「エネルギー源としての」乳酸の代謝消費が追いつかず，血中乳酸濃度が急速に増加し始める． その運動強度の転換点が LT である． したがって，乳酸値が運動強度の指標として有効である．

3 歴史1：乳酸は長く「疲労物質」ととらえられていた

英国のアーチボルド・ヒルらは，筋肉の動作機構を解明し，1922(大正11)年にノーベル生理学・医学賞を受賞した． そして1929(昭和4)年に，カエルの実験で，疲労状態の筋肉に乳酸を発見した．乳酸の蓄積とそれによるアシドーシス(酸性化)が，収縮タンパクの機能を阻害し，疲労を起こすと考えた． ここで「乳酸＝疲労原因物質説」が提唱され，その後広まり永く受け入れられ，定説となっていた．

1990年代には，スポーツの現場で血中乳酸測定が比較的容易になり，スポーツ，トレーニング科学の現場で，練習強度，疲労状態，疲労回復機能などを表す指標として，用いられるようになった．乳酸ブームともいえる現象が起き，「乳酸が溜まる＝疲労」というイメージが定着した．

4 歴史2：乳酸は疲労原因物質ではなかった！

しかし次第に「筋肉疲労＝アシドーシス原因」説に対する反証が増えた． 2001(平成13)年，ニールセン(Nielsen)らが，カリウムイオン(K^+)を添加すると筋肉が疲労，そこに乳酸を添加すると回復する「定説とは逆の現象」を発見した． 研究が進み，「乳酸が疲労原因物質ではない」ことが急速に明確になっていった． 細胞外に蓄積したカリウムイオンが，筋疲労の鍵となる物質(のひとつ)と解明された． そしてアシドーシス自体も，むしろ筋疲労を防ぐ状況と理解され始めている． 2004(平成16)年のサイエンス誌で，乳酸＝疲労物質説が明確に否定された．

しかし2005年でもまだ*「乳酸ばかりが疲労の原因物質ではない」(八田秀雄，東大大学院・身体運動科学研究質)*と，間違い指摘の表現が控えめだった．

2006年，もと厚労省所轄の「長寿科学振興財団(健康長寿ネット)でさえ，2017年！まで；

*[**疲労物質／ 疲労物質の代表的なものに「乳酸」があります** …運動することによって起こる疲労の原因に「疲労物質の蓄積」があげられます。疲労物質とは、運動中または運動後に血液や筋肉の中で増加して、肉体疲労と関係ある物質の総称ですが、その代表的なものには、運動時の筋肉のエネルギー代謝に関係する「乳酸」があります。*

*[**乳酸が筋肉の収縮力を落とし、疲れを感じさせる** …酸素が十分に供給されない場合には、解糖系に依存するためにその代謝産物である乳酸が筋肉中にたまります。 筋肉中に乳酸がたまり、その濃度が一定の値を越えると、組織や血液が酸性に傾き、筋肉は収縮することができなくなります。…]* とウェブサイトに掲示されていた． 2018年7月にようやく，上記から手のひら返しに*「乳酸は疲労の原因物質ではない」*と書き直している(一言謝るべき！)．

公的団体でさえこの有り様． 2010年代もなお，乳酸＝疲労物質の[古い定説]はネット上で多くみられた． 栄養学やスポーツ指導者でも乳酸＝疲労原因物質説のままの人が多い． 2015年，公認コーチ養成講習会・運動生理学の講師(Nさん)に尋ねたところ，「1992～3年頃」には既に，専門分野の講義で「乳酸＝疲労物質」という言い方はしなくなっていたそうだ． しかし現在でも，スポーツ関係の指導的立場の専門家でさえ，乳酸を「疲労物質」ということがあるらしい． 2023年1月の厚労省ウェブサイトで，さすがに，乳酸自身の記述は修正されたが，なおアシドーシスは，疲労の一因としている． 2024年，パリ五輪の女子マラソンでも，女性解説者が(上り坂で)「乳酸が溜まって…」と言っていた． 一度形成された概念を崩すのは難しい…

5 疲労原因／疲労回復

疲労と回復の身体機構は単純ではない． 徐々に解明が進んでいるが，いくつかのトピックスを列挙しておく：

FFとFR： 疲労の研究成果として，FF(Fatigue Factor)と名づけられたたんぱく質や，FR(Fatigue Recover Factor)と呼ばれる疲労回復物質がある． 総称として使われる傾向にある．

リン酸： 高強度の運動で，ATPやCPを分解して生成されるリン酸は，カルシウムと結合しやすく，それで筋収縮に必要なカルシウムの働きを悪くする，と推定されている．

クエン酸： ATPの増産に効果があると推測されている． ただ，「乳酸を分解・除去するので疲労回復の効果がある」というのは間違い． クエン酸は，乳酸とは関係ない．

イミダゾールジペプチド： 活動量の多い鳥の胸肉，ササミ，回遊魚(マグロ，カツオなど)の赤身に含まれ，FRとして最近注目されている． 疲労回復に効果のあるFRを増やしやすくするとされる．

栄養ドリンク： 疲労回復に効果のある成分を含むが，それ以上に「即効性を実感させるために，疲労感の信号物質の生成を抑制し脳が疲労を感知させないようにする成分」の影響が大きい． 体は実際には疲れているのに，それを(回復と言うより)隠すということ． 栄養ドリンク過信・依存はむしろリスクを増大させる．

※疲労回復を謳った何か新しいものが登場し，実感があっても冷静に見守るのが良い． 大々的に宣伝をしはじめたものは要注意．

※余談： 指導者が，よく勉強しているかどうかを推し量るには「乳酸」はよい指標になる．