

身体運動と健康の科学

1 脳をまもる身体運動？

2021 年 NHK で「あなたの大切な記憶は何ですか？」という放映がありました。アルツハイマー病改善に取り組む加齢専門研究所：Buck Institute の COE：ブレデセン先生の「RECODE (Reverse Cognitive Decline) 法」を特集したものです（ソシム社（2018）から「アルツハイマー病 真実と終焉」（山口茜訳）が邦訳されています）。

従来アルツハイマー病は、脳内にアミロイド β というタンパク質が作られ神経細胞同士との結合が阻害されて発症するとされており、このアミロイド β の蓄積を如何に抑えるかが研究の中心とされてきたようです。また ApoE4 という遺伝子を保有していると発症リスクが 30～50%上昇するとされています。

ブレデセン先生は「何故アミロイド β が蓄積するのか？」について研究する中から、アミロイド β の蓄積自体は一種の「防衛反応」であり、その要因に「炎症」「栄養素とシナプスを支えるその他の分子の欠乏」「毒物への暴露」の 3 つの異なるプロセスがあることを指摘します。そして、それらを引き起こす 36 の要因に対して、食事や運動、睡眠や毒物暴露を避けるなどの生活習慣への取り組みによって改善可能である（屋根に空いた 36 個の穴をふさぐ取り組み）ことを指摘しました。

私たちホモ・サピエンスの脳は、およそ 200 万年前のホモ・エレクトスの段階から大型化してきたことが指摘されています。その要因には狩猟採集活動に伴う身体活動量の劇的増加、肉の摂取と火の使用による加熱調理での腸への負担軽減と脳へのエネルギー供給の増大、狩猟採集活動での協働性とコミュニケーションの必要性、石器の精密化（見通しを持つ抽象性の発達）に伴う脳の機能的発達などが「共進性」となって作用したのではないかと考えられています（ただし火の使用についての人類学的遺跡は 80 万年前からとされている：人類学者のハーバード大・ランガム先生も「火の賜物～ヒトは料理で進化した（依田卓己訳）」（NTT 出版：2010）の中で旧石器時代に火を使用した可能性はあるものの証拠はないと指摘する）。

つまり私たちは、200 万年にわたる直立二足歩行や狩猟活動を行う身体活動と食事摂取と睡眠、仲間との共同性や道具の製作などと密接な関係性を保ちながら脳を大型化させてきたものと考えら、それ故に私たちの身体と脳を形づくってきた「運動」「食事」「休養」の内容が十分に担保されないと様々な「不都合（肥満や糖尿病などの身体的不健康だけではなくこころと身体の統合のトラブル）」をきたすようです。ハーバード大学の進化人類学者・リーバーマン先生は「ミスマッチ病」として非感染性の 47 の症例を指摘しています。

2021.02.22

2 ミスマッチ病？

ハーバード大学の進化人類学者・リーバーマン先生は、進化と適応は「健康」のためではなく「繁殖」のために起こることを指摘し、進化のプロセスでのなじみのある刺激が「大きすぎる」と「小さすぎる」とそしてかつてはなかった「新しすぎる」とによってミスマッチを引き起こす「ディスエポリューション（トレードオフ）」として以下の47の症例の「非感染性のミスマッチ病」を指摘しました（「人体600万年史（下）」塩原通緒訳：早川書房・2015年）。そして遺伝的に引き継がれる要因と文化的に引き継がれる要因との関係から、農業の発生にともなう変化、そして産業革命以降の工業化に伴う身体運動様式の変化が様々な不適合（ディスエポリューションの“悪循環”）を引き起こすことを指摘しています。

胃酸の逆流/慢性的胸焼け にきび

アルツハイマー病 不安障害 無呼吸 喘息 水虫
注意欠陥 多動性障害 がん（一部のみに） 虫歯
慢性疲労症候群 肝硬変 便秘（慢性） 冠動脈疾患
クローン病 うつ病 糖尿病（2型） おむつかぶれ
摂食障害 肺気腫 手根管症候群 子宮内膜症
脂肪肝症候群 線維筋痛 扁平足 緑内障 痛風 痔
高血圧ヨウ素欠乏症（甲状腺腫/クレチン病）
埋伏智歯腰痛槌状趾 不眠症（慢性） 乳糖不耐症
不正咬合 メタボリックシンドローム 多発性硬化症
近視 強迫性障害 骨粗鬆症 足底筋膜炎 くる病
多嚢卵性卵巣症候群 妊娠高血圧腎症 壊血病 胃潰瘍

図

同じくハーバード大学の精神科医・レイティ先生は、「脳を鍛えるには運動しかない！」（野中香方子訳：NHK出版・2009年）の中で、身体運動の実施が身体に様々な物質を分泌することを指摘します。「脳由来神経栄養因子（BDNF）」「インシュリン様成長因子（IGF-1）」「線維芽細胞成長因子（FGF-2）」「血管内皮成長因子（VEGF）」

「心房性利尿ペプチド（ANP）」などの体内ネットワークを担う重要な物質を分泌することが解明され、過栄養と運動不足に起因するメタボリックシンドロームだけではなく、ストレスの増加による「不安症」「うつ」「パニック障害」や「ADHD」など様々な精神性疾患への改善可能性を指摘しています。また、現代社会での反復されるストレスへの反応が、脳の脳辺縁系にある「扁桃体」といういわば非常スイッチをオンにして、脳下垂体から副腎皮質に至る「HPA軸」を介してストレスホルモン（コルチゾール）を分泌し、恒常的なコルチゾールの分泌が記憶をつかさどる脳辺縁系の「海馬」の神経細胞を委縮させること、非常事態に備えてエネルギー源である中性脂肪の蓄積を促進すること、また交感神経系の恒常的緊張により血管系を収縮させ心疾患を誘発すること、そして様々な精神性疾患の症状につながることを警告し、逆に身体運動の実施がこれらの症状を緩和する治療薬と類似した反応（併用が望ましい）を促進することを指摘します。つまり身体運動の実施（有酸素運動と認知負荷の高い運動の組み合わせを推奨）が私たちの大型化した脳の危機を緩和してくれる可能性を示唆しているのです（レイティ：野中訳「GO WILD～野生のからだを取り戻せ！」、NHK出版・2014年）。

3 「二足走行」がヒトをつくった？

サルでもチンパンジーでも人間が訓練をすれば「二足歩行」をすることができます。これは生態学の故・伊藤嘉昭先生が提唱した「2つの運動革命」の第1段、樹上生活での「腕歩行（Brachiation）」による肩関節の変化と脊柱の直線化が貢献しています（人間の起源、紀伊国屋書店、1966）。背骨が真っすぐであれば直立することは容易で、実は赤ちゃんが立ち上がった際は背骨のS字湾曲はまだ出来上がっていません。また、人類学の馬場悠男先生は、チンパンジーなどでは腰椎が4個であるのに対して二足歩行を始めたアファール猿人などは腰椎が6個であり、これに対してホモ・サピエンス段階では5個であることを指摘します（私たちはどこから来たのか、NHK出版、2015）。アファール猿人の二足歩行はチンパンジーとは異なり（サルやチンパンジーは踵骨が十分に発達していないのでうまく歩けない）しっかりと歩いていたようです。

ホモ・エレクトス段階で「持久狩猟」が始まったことが知られており、30Kmにも及ぶ持久狩猟を実現するためには「二足歩行」ではなく「二足走行」も可能でかつ体毛が減少して発汗による体温調節が可能になっていることも必要でした。ハーバード大学の進化生物学者・リーバーマン先生は、人間の脚は大きなばねのように作用し効率よく片足でジャンプしてからもう片足で着地できることを指摘し、大きなアーチの足底と長いアキレス腱にエネルギーを蓄積して再利用する可能性を指摘しています。また大殿筋の発達や項靭帯の存在が走動作を支え、さらに発達した三半規管が不安定な状況下での速い移動を可能としたことを指摘します（人体 600 万年史～科学が明かす進化・健康・疾病、早川書房、2015）。

当然、これらの移動方法と狩猟用具の革新（投擲具アトラトルなどの発明）、加熱調理などの食料メニューの革新などなど進化に関連して「共進性」と呼ばれる様々なプロセスがあったことが、ホモ・エレクトス段階からの脳の加速度的な大型化を支えてきたものの考えられます。そして、逆説的にそれらの共進性を構成する要因を実現することができない場合にはヒトとしての特徴を十分には発達できない可能性があります。これは現代社会の健康を阻害する様々な要因ともなっています。

ヒトの解剖生理学的な構造上「歩」「走」「跳」「投」「打」などの身体運動（基本的運動形態といいます）を行うことは「絶対値」の問題を除けばそれほど困難ではありません。一方、ボールゲームに代表される複雑な身体運動の実現には経験と訓練が必要です。

マラソンやロードレースは、特に陸上競技を経験していなくとも参加することができます。他のスポーツをやっていたり、また全くスポーツを経験していなくとも、ある程度のトレーニングを行えば誰でも完走することができます。これが基本的運動形態である「二足走行」のランニングが広く支持される大きな要因であるような気がします。人を特徴づけてきたランニングが、身体各組織とのメッセージ物質のやり取りを支え、海馬の神経新生や免疫システムの暴走を改善し、結果として身体の健康状態の維持や認知機能の向上を実現してヒトの大型化した脳・神経系の機能を支えているようで、まさに「二足走行」がヒトをつくり、それがヒトの自己実現を支えているようなのです。

4 カンガルーのジャンプ力は？

時々、TV の映像でカンガルーが飛び跳ねているシーンが放映されます。実はカンガルーは、時速 40Km で 2Km（3 分間）移動可能であるといわれていて、最大時度 70Km、最大ジャンプ幅 13m という驚異的運動能力の持ち主です。発情期には 1 日 100Km も移動することも知られていて、何故か「瞬発力」も「持久力」も優れているのです。

これを可能にしているのが長いアキレス腱です。カンガルーは筋の収縮を利用して跳んでいるのではなく、勢いをつけた着地の際にふくらはぎの腓腹筋を緊張させます（長さを変えない）。すると長いアキレス腱に弾性エネルギーが蓄積されて短時間で「バネ」の要素が働いてジャンプを可能にしてくれるのです。つまり余りエネルギーを無駄遣いせずに高い運動能力を実現しているのです。

このメカニズムを支えている構造が「筋腱複合体」といわれ、垂直跳や立幅跳とは全く異なるメカニズムが働いています。“リバウンドジャンプ”とか“プライオメトリクスジャンプ”という「落下（着地）で得られた弾性エネルギー」を再利用する運動のやり方なのです。

ランニングもこのメカニズムを巧みに利用しています。私たち人類のご先祖様は、アフリカのサバンナで 30Km 近く獲物を追い回して熱中症でダメージを与えて捕獲する戦略をとっていました（持久狩猟）。絶対速度は遅いものの継続したランニングが重要で、そのためには長いアキレス腱や大殿筋を利用してエネルギーの無駄遣いをせずに走ること（筋活動で膝の曲げ伸ばしをあまり使わないこと）が必要だったのです。またこの際には脂肪（遊離脂肪酸）からエネルギーを生産する代謝経路を活用します。糖質は大型化した脳を十分働かせるために使い、脂肪は長時間移動のために使うという戦略をとったのです。

ランニングはこの弾性エネルギー再利用のために「跳ねる（遊脚相といいます）」のに対して、歩行は跳ねません。それ故ランニングのエネルギー効率が数十%であるのに対して歩行は 18% 以下であるといわれています。ところが競歩の一流選手（10Km38 分位）はなんと 28% にも達していることも分かっています。

つまり私たちには弾性エネルギーを上手に使う能力があるようで、「効率よく運動すること」は人類の才能のようなのです。

2019.01.03

5 運動により分泌されるメッセージ物質

運動の継続的实施により、身体各部から様々な伝達物質が分泌され全身のネットワークを形成していることが指摘されています（NHK：「人体」神秘の巨大ネットワークシリーズなど）。

運動の実施により副腎からアドレナリンやノルアドレナリンという「カテコールアミン」が分泌され、血糖値の上昇や心拍数や血圧の上昇を引き起こすことは昔からよく知られています。

しかし最近では、それ以外にも運動にともなって筋から分泌される様々な物質（マイオカインと総称されます）が私たちの身体機能に大きな影響を与えていることが解明されてきており、インターロキシン-6（IL-6）はその代表格です。不思議なことにIL-6は関節リウマチなどに関わる炎症性タンパク質なのですが、運動により骨格筋から分泌された場合には免疫細胞の暴走（サイトカインストーム）を誘発する物質を抑制することが指摘されています。また細胞の成長に関わるインシュリン様成長因子（IGF-1）や神経の成長を促す脳由来神経栄養因子（BDNF）、血管の新生を促す血管内皮成長因子

（VGEF）や組織の形成を助ける線維芽細胞成長因子（FGF-2）といったメッセージ物質が運動実施によって増加することも指摘されています。ハーバード大学の精神科医・レイティ先生は、これらの物質が向精神薬と類似した反応を引き起こすとして、薬物療法と運動療法を併用することにより「ストレス」「うつ」「ADHD」「パニック障害」などの改善に大きな効果を示すことを指摘しています（脳を鍛えるには運動しかない！、NHK 出版、2009）。

このような身体運動実施にともなって様々なメッセージ物質が分泌されるというメカニズムの背景には、私たち人類の数百万年にわたる進化の歴史が反映されているようなのです。我々のご先祖様は、420 万年前頃から狩猟採集活動を基本として進化してきました。そして 180 万年前頃から二足歩行に加えて走行を伴う「持久狩猟」という様式を進化させてきました。30Km ほど仲間と共同して獲物を追いまわし、体温調節のできない羚羊（アンテロープ）などを熱中症にして仕留めるという運動様式を獲得し、その際長時間の走行による疲労や痛みを和らげる「エンドルフィン」や「エンドカンナビノイド」といった自己生産性の鎮痛物質を分泌する機能も獲得してきたようです。

また、獲物の生態や行動様式を記憶し、コミュニケーションを発達させながら共同する高度な狩猟活動を行ってきたようで、ホモ・エレクトス段階で大型化し発達した人類の脳－神経系と骨格－筋系の高度な協応活動、そして持続的活動を支えるエネルギー供給系（脳には糖質を優先供給し筋には糖質と遊離脂肪酸を利用する戦略）を獲得してきたようなのです。

ハーバード大学の進化生物学者・リーバーマン先生は、この進化のプロセスで獲得してきた「身体的適応」が現代社会での「文化的適応」との不適合をきたした状態を「ミスマッチ病（ディスエボリューション）」と定義し 47 の症状を指摘します（人体 600 万年史～科学が明かす進化・健康・疾病～、早出書房、2015）。

6 ランニングは脳を大きくさせる？

先日 NHK で「"走る"そしてヒトとなる」が放映されました。筑波大学の征矢英昭先生が、ラットではランニングによって脳の記憶にかかわる海馬の神経新生がみられること、高強度ではなく低強度運動のほうが効果が高いこと、30 秒程度のインターバルトレーニング形式 4 分間でも効果がみられることを紹介していました。

ラットは基本的に「運動好き」で、回転ケージを一晩で数キロ走り回ります（運動嫌いであり走り回らないラットもいるようです）。そして運動により学習能力が改善されることも知られています。これは「自発的運動」による効果で、尻尾に重りをつけて泳がせる「強制的運動」ではストレスになってしまうようです。また「曲芸ラット」といって平均台や梯子や不安定な障害物などの環境条件でも小脳の神経成長因子が 35% 増大することも知られています（グリーンノー、2009）。これらの研究は 1972 年サイエンス誌に掲載された「経験が引き起こす脳の変化」（ローゼンバイクら）という有名な論文がルーツです。ここでは集団で自然環境に類似した飼育条件と食事は与えられるが一匹ずつ隔離された飼育条件を「豊かな環境」と「貧しい環境」と定義して脳重量や学習関与物質を比較したものです。そして人間を対象としたさまざまな研究でも身体運動が脳の機能や構造を改善することが指摘されています。

では翻って、私たち人間にとっての「豊かな環境」とは何なのでしょう。現代社会を象徴する偏った食事や運動不足、格差や差別や貧困による孤立化や分断によるストレスの増加などはどう考えても「貧しい環境」です。「人間とは何か？」という根源的な問いを考えたとき、ホモ・サピエンスである我々を進化のプロセスの中で特徴づけたものは何かという「自然人類学アプローチ」が必要となります（さらに「貧しい環境」と「豊かな環境」を検討するためには有史以降の文化人類学的アプローチも必要となります）。

私たち人類のルーツを辿ると「直立二足歩行」が契機となったことは周知の事実です。二足歩行を始めた 420 万年前のラミダス猿人や 370 万年前のアファール猿人、石器を作り始めた 240 万年前のホモ・ハビリスを経て、180 万年前のホモ・エレクトスから脳の加速度的大型化が始まります。

この脳の大型化の要因として、恒常的狩りによるタンパク質摂取量の増加と火の利用による加熱調理での炭水化物の糖質への変化があり、消化吸收効率の改善による腸のエネルギー要求量の相対的減少、長時間の狩猟採集活動を支えた体毛の減少による発汗機能（体温調節能）の獲得、集団的生活と食料の平等な分配を支えたコミュニケーション能力の発達と「社会共同性」の獲得などが指摘されています。

つまり狩猟採集活動と加熱調理が大きなインパクトとなって身体各臓器への「エネルギー配分（筋に 22%、肝臓に 21%、脳に 20%、心臓に 9%、脂肪組織に 4% など）」と「基礎代謝」と「活動代謝」のエネルギー消費を決定し、人間らしさをかたちづくってきたようで、逆説的に「大型化した脳が身体運動を必要とする」ようなのです。

7 “歌舞音曲のたぐい” で・ ・

身体運動と音楽との関係は、おそらく数万年以上前のホモ・サピエンスの人類史にまでさかのぼれるようです。オックスフォード大学のダンバー博士は、ヨーロッパの洞窟遺跡での原始的な宗教的祭祀で、壁画の前でシャーマンが踊り、骨のフルートのような楽器を奏でて参加者が踊りを始めるというシナリオを提起しています。ホモ・サピエンスレベルではこのような「笛」を使っていたことは指摘されていて、同時代にヨーロッパで共生していたネアンデルタール人では原始的な宗教行為は存在するものの楽器のような「シンボリックな道具（貝殻のペンダントは残っていたようです）」は発見されていないようです。（NHK スペシャル「人類誕生」制作班、大逆転！奇跡の人類史、NHK 出版、2018 年）

ホモ・サピエンスでの大人数集団レベルでの社会共同性は、ネアンデルタール人の家族レベルの集団性を越えて石器の進化や道具の革新をもたらしたことはよく知られています。「大人数レベルでの集団性」を維持するためには原始的な宗教性が必要であり、かつシンボルの異なる宗教的集団間での「争い」や「調停」と「和解」をもたらすためには「祭祀」が必要であったようです。1 万 2 千年前の有名なトルコのギュベクリ・テペ遺跡では、シンボルの異なる集団がそれぞれの象徴の場を作るとともに、どうやら御馳走のパンやビールなどを飲食しながら交流（調停と和解）をしていたことが指摘されています。（NHK スペシャル取材班、ヒューマン なぜヒトは人間になったのか、角川書店、2012 年）

祭祀に関わり「踊りの起源」と解釈される身体運動様式の定義はなかなか難しく、多くの解釈が存在するようです。総合地球環境科学研究所の前京都大学総長・山極壽一先生（ゴリラ博士として有名）は、人類の進化のプロセスで身体と同調・共鳴を通じて心をつなげることがダンスや音楽によって高められ、一体となって危険や恐怖を乗り越えていた可能性を指摘します。また、東京大学の岡ノ谷一夫先生は、人類の直立二足歩行や走行といった不安定な自由度が踊りという行為を可能にした（逆説的に？）のではないかとし、社会共同体を支えた“まねっこ”の「ミラーニューロン」が関与している可能性を指摘します。さらにサバンナでの集団での行為（踊り）によって危険動物を遠ざけ安全を確保していたのではないかと、そして言葉の発生にも関与していたのではないかと推論しています。（NHK、ヒューマニエンス：ダンス、2022 年放映）

つまり“歌舞音曲のたぐい”は人類の進化を支える大変に重要な要因であったようで、“思わず踊りだしてしまう”ことは決して不謹慎なことではないようなのです。

2022.09.07

8 運動実施と音楽聴取の効用

ランニングやウォーミングアップを行いながらヘッドホンから音楽を聴いているシーンをよく見かけますし、それぞれに“テーマ曲”もあるようです。フィギュアスケートでは、演技と音楽とのハーモニーが大変印象的で、演技後半の疲労感のある局面でのダイナミックな演技とマッチした曲想は観客をも巻き込んでしまいます。

ところが音楽とパフォーマンスとの関係についてのある程度客観的な「効用」を探るということになると途端に困難なテーマとなります。

リズムカルに反復される運動実施の場合には、電子メトロノームなどを用いてリズムやテンポといった時間的要素をサポートしてパフォーマンスとの関係を検討することができます。ところが「音楽」として、メロディーや歌詞（リリック）が加わってくると個人やチームの体験や感情という側面が加わってくるためいわゆる「情動反応」が関与してきます。

「情動反応」は、「大脳辺縁系」が関与しており、意欲に関わる「帯状回皮質」やストレス反応での非常事態スイッチ「扁桃体」、記憶に関与する「海馬」などから構成されており、「緊急事態」では扁桃体が視床下部に働きかけて副腎皮質からストレスホルモンを分泌して血糖値や血圧・心拍数を上昇させ、「幸福感」を感じているときは帯状回が働いて扁桃体の活動を抑制していると考えられています。（工藤佳久、脳神経科学～やっぱり脳はとてもすごいのだ、羊土社、2019年）

疲労感や倦怠感を感じているときに「行進曲」を聞くと交感神経系が活性化して、肝臓からのグリコーゲン（糖）放出を促しエネルギー供給系を活性化しパフォーマンスを高めることも昔からよく指摘されています。数多く存在する「行進曲」や「戦いの踊り」は、身体活動を通しての「闘う行為」への一体感を醸成して攻撃性に関わる血中テストステロン値を高めると考えられています（武器を所持するとテストステロン値が上昇するとの研究報告もある）。

ところが人間のテストステロンは、単に攻撃性に関係しているだけではなく“他人のために一肌脱ぐ”といった“気前の良さ”や“不公正さへの懲罰”にも関連して極めて複雑な振る舞いをしていることが報告されています。（NHKBS1：テストステロンの真実、2019年放映）

ラグビー・ニュージーランドのオールブラックスの有名な“ハカ”は、自チームと観客を奮い立たせるだけではなく相手への「敬意」や「感謝」を含むものと解釈されていることから多くのファンに受け入れられているようです。伝統ある音楽や踊りといった要素であっても、パフォーマンスとどう関わりどんな「効用」を持つのかは大変に複雑なように思います。おそらく現在のウクライナ代表のスポーツ選手たちは、母国の歌を聴くことによって自分のプレイを母国の人々への励ましとして示したいという高い意識があり、その意味で極めて高いパフォーマンスを実現しているのではないかと思うのです。

2022.09.01

9 「内臓脂肪」と「皮下脂肪」の違いは？

世界で健康上のリスクとして肥満が問題となっています。肥満の判定には身長と体重から算出される体格指数（BMI）が有名で、体重（Kg）を身長（m）の二乗で割ったもので、日本肥満学会では 18 以下を痩せ、25 以上を肥満と定義しています。しかし、骨格筋や内臓、骨や脂肪のすべてを含むものが「体重」なので体格指数だけでは正確な判定ができません。BMI は正常範囲なのに体脂肪が多い（≡筋肉が少ない）場合は「隠れ肥満」とされ、運動習慣の欠如と相まって高血圧や糖尿病などのいわゆる「基礎疾患」のリスクが高くなります。正確に判定するには「体脂肪量」の算出が必要となります。体脂肪量は、比重を利用した「水中体重法」、上腕と肩甲骨付近の皮下脂肪厚から換算する「皮脂厚法」、手や足の 2 か所から弱い電流を流して抵抗値の変化から換算する「インピーダンス法」、X 線を利用したコンピュータ断層撮影の CT 法などから推定されます。

体脂肪は、皮膚と筋肉の間にある「皮下脂肪」と内臓の腸間膜に蓄積するメタボリックシンドロームに関係する「内臓脂肪」から構成され、さらに筋肉には「筋細胞内脂肪（IMCL）」と「筋細胞外脂肪（EMCL）」があります。内臓脂肪はエネルギー源としての中性脂肪を蓄積し必要に応じて活動エネルギーをつくり出します。その一方で、内臓脂肪は様々な生理活性物質を分泌します。血圧を上昇させる「アンジオテンシノーゲン」や血液を固まりやすくさせる「パイワン」、インシュリンの抵抗性を下げ高血糖を誘発する「TNF アルファ」などはいわゆる基礎疾患リスクを高める「内臓脂肪の三悪人」ともいわれています。「筋細胞内脂肪」と「筋細胞外脂肪」はどちらも本来あるべきところがないので「異所脂肪」と呼ばれます。ただし IMCL は運動実施によって利用されるようなのですが、EMCL は筋肉の赤ちゃんである「筋衛星細胞」が筋収縮の頻度が足りないことから脂肪細胞に変性して「霜降り」や「たるみ」に関係しているようです。

「皮下脂肪」は安定した「断熱材」「クッション材」であり、母体保護の意味もあって女性に多く、「内臓脂肪」はエネルギー供給源として男性に多い（更年期を過ぎた女性では蓄積のリスクが高まる）といわれており過剰蓄積はいわゆる「メタボリックシンドローム」を招きます。

我々人類につながるご先祖様である 190 万年前のホモ・エレクトス段階からこの「体脂肪」とのお付き合いが始まったようです。食糧事情が不安定な狩猟採集生活では、ゆっくり移動するためのエネルギー源は内臓脂肪の中性脂肪が利用され、貴重な「糖質」は大型化した脳を維持するために回されました（全エネルギーの 20% ほど）。ハーバード大学の生物人類学者であるランガム先生（2010 年）は、ホモ・エレクトスの段階で体毛が減少して発汗による体温調節機能により「持久狩猟」が可能となったが、一方体毛の減少はサバンナでの夜の間の「体温維持」を困難としたために「断熱材としての皮下脂肪」を獲得したのではないかと（特に子供の皮下脂肪は生存に重要）と指摘しています。これは「火の利用」が調理だけでなく「暖をとる」ことにも貢献しているとの仮説です。確かに他の類人猿の体脂肪率は数%～10% 程度なのに私たちは 20～25% の体脂肪率なのです。そしてこの頃の「体脂肪」は健康上のリスクを高めることはなかったと考えられています。

10 つまめる皮下脂肪は減らしにくい？

メタボリックシンドロームの改善に関わって「内臓脂肪」は適切な運動の実施と食事管理によって減少させることが可能です。実は特定健診でのメタボリックシンドローム判定の重要性はこの「改善可能性がある」ことにあり、「特定保健指導」はこの改善可能な状態で重症化を防ぐことを目的としたものです。ところが「問題点を指摘されることが分かっている嫌」なので指導を受けない人が多くなると重症化を防ぐことが困難となり、心疾患や肝機能や腎機能の不全という改善の困難な「慢性疾患」へと移行してしまいます。

一方皮下脂肪の方は「断熱材」として身体を守ってくれますので安定していて、飢餓状態にならない限りは減少が始まりません。冒険家が遭難などによって食糧事情が悪化してくると、最初は筋グリコーゲンや肝グリコーゲンといった糖質をエネルギーに変えます。水分さえ補給できていれば、次いで内臓脂肪や筋のたんぱく質を分解してエネルギーをつくり出します。筋肉量が減るということは「基礎代謝」も低下しますのでサバイバルには有利です。そして最後に皮下脂肪の分解が始まり「骨と皮と委縮した筋肉」だけの状態に至ります。つまり通常の状態では、皮下脂肪が優先的にエネルギーに変換される（減る）ことは考えにくいのです。

ところが上腕の力こぶ側（二頭筋）と二の腕側（三頭筋）の部位では何となく三頭筋側の皮下脂肪が多い気がします。同じように大腿を前後に良く動かす前面の四頭筋や後面の二頭筋の部位よりは太ももの内側の内転筋側の脂肪も多いような気がします。私は「競歩」のトレーニングをよくやるのですが、腹部での腰の捻りに関わる腹斜筋の部位の脂肪だけは少ないような気がします。つまり「頻繁に動かす筋」の部分の皮下脂肪は何となく少ないようなのです。これは、減量の実験での体脂肪厚の減少が部位によって異なること（よく動かすふくらはぎや上腕部は早くお腹や腰やお尻は最後になるらしい）ということとも関連しているのかもしれませんが。低周波電気刺激で筋収縮を誘発して特定部位の脂肪を減少させる・・・と謳うEMS刺激法はこの理屈です。ただ筋収縮を繰り返すことはあくまでも筋への刺激なので本当にその付近の皮下脂肪が選択的に減るのかは何とも言えません。ただよく動かす部位の脂肪厚はもともとは少ないので筋収縮の反復効果はあるのかもしれませんが。

また女子長距離選手の過剰な痩せ志向は、体脂肪率を低下させ12.5%以下になると三大主徴（FAT）と指摘される、①利用可能エネルギー不足（摂食障害や過食）、②視床下部性無月経、③骨粗しょう症（疲労骨折を誘発）、をまねき選手生命にもかかわる重大なトラブルを引き起こします。そして、スポーツ栄養学の鈴木志保子先生が指摘するような筋肉量と体脂肪の極端な減少から「何時も寒い」と感じたり基礎代謝量も低下した「超省エネな身体」となる危険性をはらんでいます。

つまり「皮下脂肪」は私たちの身体の健康を守る意義を持っているので安定しており、逆説的に極端に減少させることは何らかのトラブルを招く可能性があるのです。

「内臓脂肪」も過剰蓄積は不健康を招くのですが、全くなくなってしまうと持続的なエネルギー供給ができなくなります。これに極端な「低糖質ダイエット」による脳の糖質不足の低血糖症が加わると意識障害まで引き起こしてしまいます。何事も「過ぎたるは及ばざるがごとし」なのです。

11 「省エネな身体」って何ですか？

ニューヨーク市立大学の人類学者・ポンツァー先生は論文「運動のパラドクス なぜやせられないのか（別冊日経サイエンス：食と健康）」（2020）のなかで、200 万年にわたる人類の狩猟採集活動に比べ農業は 1 万年前で近代的な都市や技術は数世代でしかないにも関わらず、現在のタンザニアのハッザ族の共同的な食料調達で、女性は採集活動、男性は狩りと追跡に多くのエネルギーを消費しているにもかかわらず同体格の欧米人とのエネルギー消費量にはほとんど差がないことを指摘しています。男性で 2600Kcal、女性で 1900Kcal とのデータであり、ハッザの人びとはエネルギー消費を抑えながら高い活動水準を維持している「省エネな身体」になっているらしいのです。細胞や臓器の維持のためのエネルギーが少ないことや運動実施により免疫系の炎症反応が抑えられていること、生殖ホルモンのレベルの下がることなどが原因と考えられ、動物実験でも日々の運動量を増やしてもエネルギー消費量に影響がなく組織修復も鈍くなることを指摘しています。つまり毎日のエネルギー消費を抑えて維持させるためのいくつかの戦略を進化させているようなのです。そして人類はエネルギー大食い人間であり「肥満が運動不足というよりも大食いの病であることを示している」と結論付けています。

タフツ大学の栄養学のロバーツ先生らは論文「カロリー神話の落とし穴（前掲の別冊日経サイエンス）」のなかで、消費エネルギーについて「二重標識水法」という厳密な測定を行い、健康体重で標準身長米国成人男性で 2500Kcal、肥満でない成人女性で 2000Kcal であることを報告し、米国人は 1970 年代と比べて毎日 500Kcal 摂取エネルギーが増加して肥満と体重過多を招いていることを指摘しています。そして身体活動で消費されるのは全エネルギーの 1/3（活動代謝）で、他の 2/3 は安静時の基礎代謝であり、人体で最も多くエネルギーを消費するのは筋肉ではなく脳や心臓や腎臓などの臓器であることと加齢に伴い基礎代謝が減少してゆくことから、摂取カロリーの重要さと複雑さ（加熱や調理によって消化吸収の比率が変動する）を指摘します。また「グリセミック指数（GI）」という食物がどれほど速やかにグルコース（ブドウ糖）に変換されるかの指標が重要で、同じ 400Kcal の食物摂取でも高 GI 食品では食欲が亢進して、その後 1 日のカロリー摂取量が 60% も増加する傾向があることを示しています。

どうやら私たちの身体は、トレーニングを継続しているとエネルギーの無駄遣いをしない方向に適応するらしく、活動量が増えても省エネ傾向が亢進しいわば「燃費の良い車」になってしまうようです。それ故に、運動をしない人でも習慣的に運動を継続している人であっても食事内容によるカロリー摂取が決定的な影響を与えるようなのです。

12 運動を続けても体重は減らない？

継続的に運動（トレーニング）を実施している人の場合には、原則的にあまり体重変動はありません。運動実施の刺激によって筋量は維持されますが、食生活分析からは消費カロリー以上の食事内容は「余ったカロリーは中性脂肪へ！」という人類進化の原則（トップアスリートでも体重当たり 2g 以上の蛋白質摂取でも同じことが起こります）がありますので体脂肪の増加による体重の増加は避けたいとする食事行動をとるからです。

アスリートにとっては、体重維持や体重増加は筋肉量の増加で、体重減少は体脂肪量を減らすことが重要で、体脂肪量の増加や筋肉量の減少では相対的に運動能力の低下をまねき、いわば「燃費の悪い車」になってしまいます。

一方、それまであまり運動をしなかった人が、思い立ってトレーニングを始めると筋肥大が起こるのですが体脂肪は減少する可能性が高いので最初の数週間は体重自体はあまり変動しません（体脂肪率を継続的に測定することが重要です）。そして一定期間後は体脂肪の減少により体重が安定してきて、トレーニング（身体運動）が習慣化すると燃費の改善された「省エネな身体」に代わってきます。

健康維持のために「何とかしなくては・・・」と運動を開始すると、1 時間のジョギングでおよそ 500Kcal を消費します。そのことでそれまで蓄積するはずだった体脂肪換算 50 g 分を消費することができるのですが、突然運動を開始したことにより食欲の変化（通常の生活パターンでは「レプチン」という満腹－空腹に関わるホルモンが主役となる）も発現しますのでやはり「継続的」に食事と運動と休養の生活習慣と行動改善をはかることが重要なようです。

前述のポンツァー先生やロバーツ先生らの研究結果を考えても、私たちが獲得してきた「省エネな身体」は、運動実施によって体重が簡単に劇的に変動することはありえないようなので「摂取エネルギーの管理」が最も重要なようです。特に炭水化物摂取に関わる「グリセリック指数」は大変重要なようで、摂取後の「食欲」までもコントロールをしているようなのでアスリートにとっては 30 分後に次の試合がある場合と明日 10:00 から準決勝がある場合では食事摂取の内容が変わってくるように思います。また、トレーニング実施日と休養日、またケガなどで練習量が低下しているときでは食事内容を調整することが重要となってきます。

13 体脂肪は「燃える？」

メタボリックシンドロームで話題となる「体脂肪」ですが、実は人類進化の歴史の中で重要な役割を果たしてきました。私たちのご先祖様（ホモ・エレクトス）は270万年ほど前から脳を大型化させてきたといわれています。生存のための全エネルギー消費量の20%も使うのですが、脳を守るためのバリア（脳関門）があり糖質（他には乳酸）しか利用できないのです。

その頃の食糧事情はあまり良くなかったと考えられているので、ご先祖様はアフリカのサバンナで食べ物を求めて歩いたり走ったりしなくてはなりません。ところが脳は全エネルギーの20%を要求するため糖質（炭水化物の食物繊維以外）を優先的に使います。そうすると移動を続けるための安定したエネルギー源を確保する必要があり、1gあたり9Kcalの熱量を持つ脂肪を蓄積して利用するようになってきたと考えられています。

筋肉に蓄えられる糖質（グリコーゲン）を直接利用するケースと異なり、脂肪をエネルギーに変えるためには若干複雑なメカニズムが必要で「遊離脂肪酸」というものに分解して利用します。糖質のように素早く大きなエネルギー源として利用することができませんので、トコトコと歩いたり走ったりしながら食べ物を求めて動きまわることとなります。

ご先祖様は「持久狩猟」といって、30Kmも獲物を追い回して熱中症にして仕留めるという戦略をとったようなのです（現在もアフリカのサン族に名残がある？）。ですから私たち現代人も、体脂肪を利用（燃焼）してエネルギーを作り出すメカニズムを持っているのですが、農業を始めた数千年前ころから活発な狩猟採集運動をしなくなり現代に至るまで「肥満」に悩まされることになりました。

市販されている心拍数の測れる腕時計（スポーツウォッチ）では「脂肪が●●%燃えました」と表示が出ますが、継続するランニング速度が速いとこの比率は低下します。これは年齢や体重、ランニング速度と心拍数から計算して表示する機能を内蔵しているからです。つまり体脂肪は「燃える」のですが、ゆっくりと低強度で走り続けた方がその比率は高いようなのです。

市民マラソンやウルトラマラソンでは、この「遊離脂肪酸」をいかに効率よく利用するかがポイントで、運動中は「ショ糖（砂糖など）」よりも「果糖（オレンジなど）」の摂取が遊離脂肪酸のレベルが低下しにくいことが指摘されています。逆にピュアな糖質摂取は、場合によっては「血糖-インシュリン反応」を誘発してパフォーマンスを低下させる可能性があることも知られています。

14 「ちょこっとトレーニング？」は有効なのでしょうか？

「体調管理や健康維持のために運動したいのですがどの位やれば良いのですか？」という質問をよく受けます。

実は個々人の遺伝子検査をしないと「各自の適切な運動の内容と時間」は決定できないことが知られています。グラスゴー大学のギル先生は、食事由来の血中 “カイロミクロン（脂質）” が前日の 90 分のウォーキングで同じ食事内容でも朝食 4 時間後に減少していることを指摘しています。バーミンガム大学のティモンズ先生は、トレーニングにより有酸素的能力が劇的に改善される人が 15%であるのに対してほとんど効果の出ない人が 20%いることを指摘しています（NHK「フィットネスの最新科学～運動は本当に効果的？～」2012 年放映）。そして 20 秒間全力ペダリング+10 秒休憩を 3 セット、週 4 回実施するという高強度短時間運動（HIT）が糖代謝改善（糖尿病への対応）と有酸素能力向上に効果的であることを指摘しています。日本では立命館大学の田畑先生が、20 秒間高強度運動+10 秒休憩を 6～8 セット（3～4 分間）を週 2 回実施することを推奨しています（田畑泉、世界標準の科学的トレーニング、講談社、2022 年）。

ただどちらのトレーニングも 20 秒間とはいえ高強度運動なので「ちょこっと！」できるわけではありません。

米・メイヨークリニックのレヴァイン先生は「活動性熱生産」によるカロリー消費に「運動性（EAT）」と「非運動性（NEAT）」の 2 種類があり、同じ体格の人でも 2000Kcal の差が生ずることを指摘します（J.レヴァイン、GET UP！～座りっぱなしが死を招く、角川書店、2016 年）。つまり座りっぱなしの事務員と常に立ち居振舞っている店員とでは NEAT の値が異なること、そして仕事の NEAT と余暇の NEAT が影響していることを示唆します（ちなみに 1 時間のランニングは 500Kcal 程度）。（続く）

2024.08.28

15 24 時間×365 日の過ごし方次第？

私たちの「身体組成」は毎日の摂取カロリー（食事由来）と消費カロリー（基礎代謝＋活動代謝）の関係で変容しているのですが、「昨日」の活動内容が「今日」や「明日」に即時的に反映されるわけではありません。比較的長いスパンでの「身体的状況」によって、糖質とタンパク質と脂質の代謝経路のどのチャンネルが活性化するのは異なってくるようです。

長期間非活動的な状況が続いていれば、当座の活動エネルギーは必要ないので、その分は内臓脂肪や皮下脂肪として蓄積され、筋組織も委縮しますので基礎代謝が低下し余剰エネルギーが増加します。逆に毎日ランニングを継続してかつ座っている時間が少ない場合には、活動性運動代謝（EAT）も非活動性運動代謝（NEAT）も高いので余剰エネルギーは生じません。しかし、摂取エネルギーが消費エネルギーを下回れば、肝グリコーゲンや筋グリコーゲンを分解して対応し、グリコーゲンが枯渇（といっても 50%程度）して「空腹感」が生じて摂取エネルギーが適切なレベルに戻るまで摂食行動を誘発します。

「過食」と肥満や「拒食」と痩せといった相反する極端な行動様式は例外としても、私たちの摂食行動は、脂肪組織から分泌されるレプチンという食欲抑制ホルモンや膵臓のランゲルハンス島からの血糖値を上昇させるインシュリン、胃から分泌される摂食促進作用のあるグレリンなどのホルモン調節を受けておりそれらが摂食中枢の活動を調整しています。低血糖症での「空腹感」や「無力感」などが「高揚感」によって一時的に抑制される背景にはこのような摂食中枢活動の調整メカニズムがあり、さらに短期間ではなくかなり長い期間に渡っての「運動」「栄養」「休養」のタイミングとマネジメントが影響を与えているようです。

やはり「ちょこっと！」やるだけではなく、1 日 24 時間×1 年 365 日をどうレイアウトするのが決定的なようですが、毎日「ちょこっと 15 分」筋トレをやっているならば、その日の他の時間の過ごし方や食事内容を 365 日考えて、かつその生活を数年間継続することができれば「ちょこっと！」でも有効なようにも思います。

2024.08.29

16 「エクササイズ」と「スポーツ」とは違うのですか？

ハーバード大学の著名な進化生物学者・リーバーマン先生の最新刊「運動の神話」が出版されました（中里京子訳：早川書房、2022年）。現題は“Exercised”です。

「身体運動－骨格筋がエネルギーを使って生み出すあらゆる身体動作。エクササイズ－健康とフィットネスの維持・向上を目的として行われる、計画的で構造化された、反復を伴う自発的身体活動。エクササイズド－イライラさせられる、心配な、不安にさせられる、悩まされる。」との書き出しで始まり、「だが何より、運動は不安と混乱の元となった。なぜなら、運動が健康に良いことはわかっている、十分かつ安全に楽しく運動することができない人が大部分だからだ。私たちは、運動に悩まされているのである。」と指摘しています。

前作の「人体 600 万年史（塩原通緒訳：早川書房、2015 年）」では、狩猟採集民として進化してきた私たちが、現代社会における身体活動の不足により“デイスエボリューション”としての「非感染性のミスマッチ病（49 の症例）」を引き起こしていることを指摘していました。

米・メイヨークリニックのレヴァイン先生は「座りっぱなしが死を招く（GET UP!）」というセンセーショナルな書籍（鈴木素子訳：角川書店：2016 年）で、13 時間以上座っている生活習慣に対して、意図的なエクササイズ運動（EAT：運動性活動熱生産）以外での NEAT（非運動性活動熱生産）の重要性（消費カロリーが 500～2000Kcal 程度増加する）を指摘しています。週末にテニスをやったりジムで週数回エクササイズを実施するだけでは十分な身体活動量を確保できないということのようです。

「エクササイズ」は、メタボリックシンドロームやロコモティブシンドローム・フレイル（虚弱）などの改善のための有酸素能力向上や筋（力）の増加などを目的として定期的に計画・実行されます。ただ、エアロバイクやランニングベルトでの有酸素運動やバーベルやマシンによる筋力トレーニングなどが「楽しいかどうか」には個人差があるように思います。一方ストレッチングやヨガやティラピスなどはリラックス感が得られるので「快い」もののようです。

どうやら、スポーツは「楽しい」からやるようなのですが健康状態の改善にどの程度貢献しているのかは不明確です。一方エクササイズは「やらないと不健康になる！」という強迫観念があるので逆説的に「楽しくないのでやらなくなる」ようなのです。実は、文部科学省の「日本人の運動実施状況」に関するデータは、「階段上り」やウォーキングや筋トレも含めて「スポーツ実施」と同等に扱っているようで「楽しくやるスポーツ」と「いやいややるエクササイズ」を同等に評価しているようです。（続く）

17 ストレスは運動で対処できる？

現代は「ストレス社会」と言われてから既に半世紀を経ています（H.セリエ：現代社会とストレス、1956年・邦訳1966年）。

セリエ先生は、ストレスは様々な要因が引き金（ストレッサー）となること、そして生体の適応反応の「特異性」と「非特異性」という概念から「汎適応症候群」という概念を示しました。ストレス反応の初期は、脳下垂体から副腎に信号が伝わり副腎からのストレスホルモン（コルチゾール）が該当する組織に伝わり、まず「炎症反応」を引き起こします。いわゆる「あ、熱だ、風邪ひいた！」という初期反応で、そこからストレッサーの特異性に応じて様々な症状が発症します。もしもその人の抵抗性が高ければ初期反応だけで事なきを得ますが、そうでない場合は抵抗性が低下して「疲憊期」に入りストレッサーに応じた具体的な病状が表れてきます。

ストレッサーには、気温や湿度、化学物質や小動物（ダニ）などがあります。問題は対人関係などの「精神的要因」がストレッサーに変化することです。人間は進化のプロセスで「言葉による記憶・行動系」を獲得してしまったがゆえに、目前にはないものまでがストレッサーとなります。「マインドワンデリング（心の彷徨）」といって意識の半分が、過去のいやな出来事や未来への不安となってストレス反応（炎症）を引き起こします。更に大脳辺縁系の情動を司る「扁桃体」の過剰反応や「海馬（記憶に関与する）」の神経細胞を萎縮させることも分かってきています。

そもそもストレス反応は「緊急反応」といって、ご先祖様たちがサバンナで危険動物に遭遇した時に身を守るための防衛反応です。アドレナリンを分泌して血糖値や心拍数をあげ、手足の皮膚の血管を収縮させ血液を固まらせやすくします。脳と筋肉をフル活動させ危険を回避するための重要な反応機序だったのです。ハーバード大学の精神科医・レイティ先生は、人間にもともと備わっているストレス反応は、①危険に集中する、②反応を起こす、③将来のためにその経験を記憶する、こととし、情動を司る大脳基底核の扁桃体に非常スイッチが入り、視床下部⇒脳下垂体⇒副腎皮質ルートでストレスホルモン（コルチゾールなど）を放出し、これが記憶と関連する海馬に送られて前頭前野と連携して将来的に適切な反応が形成されると指摘します。しかし現代社会ではライオンも蛇も姿を消し、最も怖い「人間」が繰り返し繰り返しストレッサーとなる「キラーストレス（NHKスペシャル取材班、2016年）」という厄介な存在が問題となってきます。

そこでストレスと身体運動の関係がクローズアップされてくるのです。

2019.04.09

18 ストレスを低減する方法は？

アメリカ心理学会では、ストレス対策として、①ストレスの原因を避ける、②運動を行う、③笑う、④社会的サポートを受ける、⑤メディエーション（瞑想）、の5つを推奨しています。

ハーバード大学の精神科医 J.レイティ先生は、「脳を鍛えるには運動しかない（原著：SPARK! How exercise will improve the performance of your brain, Quercus, 2009）、邦訳：野中香方子、HNK 出版、2009 年）の中で、身体運動の重要性を指摘します。

身体運動を行うということは、人類史的に考えても本質的な問題で、ご先祖様であるホモ・エレクトス（直立するヒトという意味）の段階から、食事メニューを改善するため「持久狩猟」という獲物を 30Km も追い回して仕留めるという戦略をとり、肉食や骨髄といった食事メニューの多様化とともに重要な道具である石器製作の高度化（実は高度化は生存の危機的状況で発達する）をはかって脳の大型化を進めてきました。また言語機能にかかわる脳のブローカ野が石器製作のプロセスで積極的に活動することも指摘されています。つまり持続的な身体運動や高度な認知を伴う運動は脳の機能にとって「一義的」であるということなのです。

レイティ先生は、身体運動にともなって脳内に分泌される幾つかのホルモンの重要性を指摘します。そして脳の機能をすべて調整している神経伝達物質、①セロトニン、②ノルアドレナリン、③ドーパミン、の重要性を、グルタミン酸やガンマアミノ酪酸（GABA）という学習関与物質との関連から指摘します。セロトニンはうつや不安障害などの脳の暴走を抑制し「プロザック」といわれる薬品と、ドーパミンは注意欠陥多動性障害（ADHD）などを緩和する「リタリン」といわれる薬品と同じ性質をもつものです。

運動によって脳内に増加する物質の中で、もっとも有名なものは、神経ニューロンの樹状突起を増加させる脳由来神経栄養因子（BDNF）です。そしてその増加により、①インシュリン様成長因子、②血管内皮成長因子、③線維芽細胞成長因子、といった物質が脳内で活発に活動することを指摘しています。そしてこれらはすべて運動実施に伴って増加する物質であり、実はストレスによる扁桃体－視床下部－副腎系（HPA 軸）でのストレスホルモンの暴走を抑える働きをしているようなのです。（続く）

2019.04.14

19 ストレスコーピングとメディエーション

ヒトにとっての重大なストレッサーは、言語による記憶－行動系という機能を持ってしまったが故の「マインドワンデリング」です。意識の半分近くを過去の嫌な記憶や未来への不安が占拠してしまい過剰なストレス反応を誘発します。

そこでこの言語による記憶－行動系（パブロフのいう第二信号系）からその改善を図るものが「ストレコーピング」です。最低 100 個のストレス対処法を書き出します。そして、その効果（ストレス軽減感）を検証するのが「行動と気分」からの対処法を評価し実際に取り組みを行う「認知行動療法（CBT）」です。重要なポイントはここでも「身体運動（行動）」を伴うということで、ストレス反応の本質＝行動による危機回避が根底にあるのです。いわば「富山の薬箱」にも例えられるもので「この症状」には「あれとこれの薬（・・・があるから大丈夫）」という数多くの対処を蓄積してゆくもので「パニック」への対応もある程度想定します。

一方「メディエーション（瞑想から宗教色を取り除いたものとされる）」は言葉ではなく感覚－行動系（パブロフの第一信号系）からアプローチを試みます。ヨガや自律訓練法と同じく、私たちが唯一制御可能な自律機能＝呼吸を手掛かりとし、身体感覚との対応から「いま」のみを切り出します。過去や未来への言語意識を制限し、意識の全てを「いま」の呼吸や身体感覚にゆだねます。指先の血管の血流変動と呼吸制御を組み合わせ、ビジュアル化した「ストレス低減トレーニング機器」も市販されています。スマートフォンでもこの指先の血流変化からストレス度を評価するソフトウェアが利用できます。

感覚と言語による記憶－行動系を持ってしまったが故の私たちの宿命は、感覚と言語の両者をつなぐ身体運動によってのみ改善されるのかもしれませんが。

しかし重要なことは、コーピングもメディエーションも過剰なストレス反応への対処法であって、ストレッサー自体を消し去ることはできないという点です。職場環境や労働条件の改善、休息や余暇時間の充実といった本当の意味での「働き方改革」がなければ「ストレス社会」の根絶は不可能なのです。

2019.04.15

20 急斜面が怖いのは？

スキーやスノボ、登山やトレイルランで急斜面や急峻な稜線に立った時に「怖い」という感覚が生ずることがあります。

全く実体験がなければ「未知への恐怖」ですが、過去に失敗体験があり「自分には無理だ」と判断する場合でも、練習によりスキルが向上すれば対応できるケースもあります。生態学的心理学では「アフォーダンス」という概念があり、同じ 35 度の急斜面でも低速では OK でも高速で突入したり脚に疲労感があったりすると不安が広がります。つまり同じ物理的条件でも「行動する側の状況」によって提供される（afford）情報の意味が違ってくるということで、助走に勢いがあれば「登れる階段」も勢いがないければ「登れない階段」になるということです。

深刻なのは失敗体験（大転倒など）がトラウマのようになる一種の「不安（パニック）症」に類似したケースです。実はこれは「ストレス反応」と関連していて、人類がかつてサバンナで猛獣や危険動物に遭遇した時の「闘争・逃避反応」が過剰に生じたケースです。

ハーバード大学の精神科医・レイティ医師は、人間にもともと備わっているストレス反応は、①危険に集中する、②反応を起こす、③将来のためにその経験を記憶する、こととし、情動を司る大脳基底核の扁桃体に非常スイッチが入り、視床下部⇒脳下垂体⇒副腎皮質ルートでストレスホルモン（コルチゾールなど）を放出し、これが記憶と関連する海馬に送られて前頭前野と連携して将来的に適切な反応が形成されると指摘します。問題は、過剰なストレス反応では前頭前野から扁桃体に送られる信号が乱れ、いわばフリーズしてしまう「凍結・闘争・逃避反応」が生ずること、また前頭前野と海馬に「不安（パニック）回路」が形成されてしまうことです。

この対処法には認知行動療法（CBT）があり、恐怖の記憶を中立的あるいは前向きな記憶に置き換える必要があること。対人不安のある「広場恐怖症」の治療では、誰もいない時にモール（人混みの象徴）にむって何回かダッシュさせながら不安（パニック）を引き起こさない体験を積み重ねてゆくジョンズガードによるアプローチを紹介し、「本質的には自分を振り落とした馬の背に再び乗ること」を学ぶこと、恐怖を感じても死ぬわけではないと脳に教え込むことが大切であると指摘します。

スキーであれば、急斜面を下から登って行って可能な場所から滑り降りるという「成功体験」を繰り返して「別の回路」を作ってゆくこと、また不安回路を「再活性化しない（ここは“断崖”ではない“スキー場の滑走斜面だ”・・・大丈夫、大丈夫！）」ことも重要かもしれません。「挑戦なくして向上なし」とはいいますが「可能な挑戦」でなければ人は向上し成功しないものだと思うのです。

2018.01.13

21 運動の直接的効果は？

身体運動がストレス反応を低減し、結果として免疫機能の低下を防ぐことで感染症を予防することはよく知られています。コロナウィルス感染を予防するための自宅待機や人との接触の制限はいわば拘束ストレスを増大させます。ネズミはこの拘束ストレスにより容易に胃潰瘍を発症することが知られていますが、言語機能を持ち社会的に交流することを本性とするヒトにとってはさらに問題は深刻です。散歩やジョギングなどを一人で実施するよりも複数人でおしゃべりをしながら実施することが好ましいのですが感染予防の観点からは悩ましいところです。

では、運動の直接的効果はどのようなのでしょうか？

よく知られているのは運動による免疫システム中のナチュラルキラー細胞（NK細胞）の活性化です。「お笑いセラピー」でもNK細胞が増加することが確認されていますが、運動により一時的にNK細胞のレベルは低下しその後上昇すること、また唾液中の分泌型免疫グロブリン（SIgA）を上昇させて上気道（喉）感染症を軽減することも指摘されています。しかし高強度運動の長時間実施（マラソンやトライアスロンなど）は、逆に免疫機能を長期的に低下させ上気道感染症の発症率が数倍に跳ね上がるということも指摘されています。まさに「過ぎたるは及ばざるがごとし」なのですが問題は何をもって「過度」と判定するかなのです。

実はストレス反応もトレーニングと同様に「強度」「継続時間」「頻度」と「過負荷（オーバーロード）」の原理原則があるようなのです。本来ストレス反応は「緊急反応」であり、ご先祖様たちがサバンナで危険動物に遭遇した時に身を守るための防衛反応です。アドレナリンを分泌して血糖値や心拍数をあげ、手足の皮膚の血管を収縮させ血液を固まらせやすくし、脳と筋肉をフル活動させ危険を回避するための重要な反応機序です。ストレス学説を最初に提唱したセリエ先生は「ユウストレス」と「ディストレス」という概念を示し、ストレス刺激が「警告反応期」と「抵抗期」を経て生体防御機能に破たんをきたした「疲憊期」に至って病的症状の発症をまねくことを指摘しています。これはまさに「オーバートレーニング状態」と同じメカニズムのようなのです。

2020.04.11

22 運動で免疫力アップ??

コロナウィルスによる新型肺炎の感染拡大での行動自粛が推奨される中で散歩やジョギングなどは厳しく制限されていません（自宅から 1Km 以内の範囲に限定されている例もありますが）。

根拠の一つとされるのが「運動は免疫力を高めるから！」ということですが本当なのでしょうか？

運動と免疫力の関係には多くの研究報告があり、一般的には「適度な運動は良いが過度な運動は免疫力を低下させる」と認識されています。ではそのメカニズムは何か？、というとよくわからないことが多いのです。

免疫のシステムは、細菌やウィルスなどの生体侵入に対してまずマクロファージという細胞が攻撃して炎症反応を起こします。そしてその間に相手方の遺伝子情報を獲得して T 細胞という免疫の中核システム（HIV 感染で破壊され免疫不全を引き起こすことで有名）に送ります。もしその相手がかつて感染されたものであれば、それに応じて獲得された抗体などを生産し相手を攻撃することで事なきを得ます。新型ウィルスが猛威を振るうのはこの免疫システムが過去のデータをもっていないためです。

さらに最近の研究では、この免疫システムが過剰反応をして病原体以外の通常の細胞を攻撃すること、そしてその過剰反応を阻止する「T レグ細胞（大阪大学・坂口先生）」の存在も指摘されています。この T レグシステムがないと免疫システムは「いつまでも」攻撃をやめないため様々な不都合（自己免疫性疾患など）を引き起こすことも指摘されています。今回のコロナウィルスによる肺炎でもこの過剰攻撃（サイトカインストーム）の可能性も指摘されています。

運動が免疫力を高める可能性の一つが身体運動による「ストレス低減効果」です。過度のストレス反応（ストレスホルモンのコルチゾールなどの過剰分泌）が免疫システムを低下させることはよく知られており、2019 年 4 月のブログでも指摘したように、適度な身体運動がストレス反応を低減させるので「結果として免疫力が維持される」可能性があるので。（続く）

2020.04.11

23 筋肉と免疫機能

身体運動の実施が免疫システムを維持することに有効であることは多々指摘されています。今回のコロナウィルス感染予防での行動自粛が運動量の減少を招きメンタルストレスの増加と相まって免疫機能の低下をもたらすことが懸念されています。

私たちの身体は細菌やウィルスの感染に対して免疫システムが作動します。この際リンパ球の活性化により細菌などを攻撃するのですが、筋肉を自己分解することによって「グルタミン」というタンパク質を生成しこのグルタミンがリンパ球を活性化することが指摘されています。40度の発熱が数日続いて「やつれる」のは実は筋肉の自己分解の結果なのです。ということは逆に筋肉量が少ないということはいざというときに免疫システムを活性化できない危険性があります。

血液中の「アルブミン」の濃度低下（4mg/dl以下）が生存率を下げることも指摘されています。アルブミンは食品中の肉や魚などのタンパク質由来で筋肉や血管やリンパ球を作るうえで極めて重要です。実は高齢者の低栄養（タンパク質摂取不足）は、運動不足と相まって「加齢性筋萎縮症（サルコペニア）」を加速して免疫力を低下させます。

身体運動を行ってバランスの良い栄養と休養を心がけ、筋肉量を維持するということはサルコペニアや生活不活発病による虚弱（フレイル）を予防するうえで極めて重要なことです。

2020.04.15

24 「超人」は本当に人類を超えるのか？

五輪やパラリンピック、世界選手権などが近づくと「スーパーアスリート」が話題となります。確かに驚異的なパフォーマンスを発揮しているので「人類を超えている？」と考えてしまいますが本当にそうなのでしょうか？

骨や関節、筋肉の数が多いわけではありませんし、エネルギー源も糖質とタンパク質、脂質とビタミン・ミネラル以外を利用しているわけではありません。実は「ドーピング」もこの人類のメカニズムの枠からはみ出しているわけではありません。「トレーニング」「食事」「睡眠」というサイクルの中に生理的基準以上の「物質」を加えているわけです。女子 800m の南ア・セメンヤ選手は本人の分泌する「テストステロン」の値が高いという理由で 2 大会連続の金メダル種目 800m に出場できないという理不尽な扱いを受けやむなく 5000m にチャレンジしたという経緯があります。

パフォーマンスの「絶対値」は通常のアスリートよりも高い「超人」ではあるわけですが、決して人体のメカニズムを無視して運動を実行しているわけではありません。

ただ「運動の制限因子」は厳然と存在しており、そのメカニズムと制限レベルがトレーニングにより変容しているようなのです。例えばトップクラスの長距離ランナーでは直腸温が 40℃（通常は体温調節の限界とされる）を越えても走り続けることができる選手も存在するようです。先日 BS 放映のあった「超人たちの人体」では、パラアスリートの女子車椅子ランナー・マクファーデン選手が、心拍数 170 拍／分を越えた状態から 28 分間継続して運動ができる（他のマラソン代表選手は 18 分程度）データが示され、脳の運動に直接かかわる部分以外の関与が示唆されていました。パワーリフティング競技で健常者を上回る（305Kg 以上）イランのラーマン選手の運動にかかわる脳の活動領域についても下肢機能の喪失が上肢機能の発達を促したとする可能性を示唆しています。パラ・アーチェリーのスタッツマン選手は生まれつき両腕がなく、右脚で弓を支えたスタイルで世界最長距離射的でギネスブックにも登録され、健常者ランキングでも全米 8 位になったこともあります。スタッツマン選手は、弓を構えた時の身体の動揺がほとんどなく、脳機能も右脚を動かす際、該当部位だけではなく左半球全体が活動しているデータが示されていました。義足の 8m ジャンパーであるマルクス選手も、義足側の膝関節からの感覚入力が増進しているとともに義足を動かす一つ手前の健足側の感覚ー運動系にも適応がみられることが報告されています（2017、NHK 放映）。脳のこのような「代償性適応」は視覚障がい者や聴覚障がい者で指摘されてきたことなのですが、健常者であってもトップアスリートたちは不断のトレーニングにより何らかのメカニズムを変容させて「超人」になっているようなのです。

この脳の機能改善にかかわって、感覚ー運動系該当部位を電磁石で磁気刺激する「経頭蓋磁気刺激法」がパフォーマンスの改善に有効ではないか・・・薬物ドーピングには該当しないので・・・との論議も始まっています。また、遺伝子操作や「デザインドベビー」の可否も取り沙汰されてきています。しかし「超人」はあくまでも「人類の限界に挑む」からこそ私たちに共感と感動を与えてくれるのではないのでしょうか。

筋肉の生理学

25 私は "速筋系" それとも "遅筋系" ?

元旦駅伝も箱根駅伝も終了しましたが、只今ロードレースシーズン真っ盛りです。長距離ランナーが話題となりますが、箱根駅伝では 1500m の選手も登場しました。

ご存知のように私たちの筋肉には同一の筋肉内に「速筋系筋線維」と「遅筋系筋線維」が混在しています。また速筋系筋線維にも「超瞬発型」と「瞬発型」の 2 種類が存在しますので、私たちの筋肉には 3 種類の筋線維が混在していることとなります。

この遅筋線維と速筋線維の比率が筋の収縮の性質を決めるわけで、垂直跳や立幅跳の記録が良い人はパワーがあるので「速筋系」とされています。瞬発系のトレーニングを実施するとこの速筋系筋線維が発達（筋肥大）して収縮力が高まります。

では、長距離が得意な人の場合はどうなのでしょう？

持久的トレーニングを行うと改善の効果は大きいのですが、トレーニングを行っても遅筋線維の数が増えることはありませんし、遅筋線維はあまり肥大しません。また速筋線維と遅筋線維の比率はトレーニングによって変わらないことがわかっています。

これは毛細血管の発達やエネルギー代謝プロセス改善などの機能的変化起こるからです。また、スピード持久力の改善には速筋系筋線維（「超瞬発型」ではない速筋線維）が大きく関与します。このことから、長い時間運動を続けることができる「持久性」と一定の距離を速く走る「持久力」とは区分して考えたほうがよさそうです。つまり「長い時間運動を続けられて」かつ「速い」ことが競技に必要な「スピード持久力」ですので「有酸素的持久性」だけでは不十分なのです。

また、パワーを決定するには筋肉の「太さ」だけではなく「長さ」も重要なので、例えば遅筋系筋線維が多くとも手脚の長い選手はそれなりのスピードを生み出すことができます。現女子 400m 日本記録保持者の千葉選手も筋線維の遺伝子検査では長距離的要素があったようですし、ケニアやエチオピアのマラソントップランナーはジャマイカのスプリンターと同様の筋線維組成の遺伝子特性を持っているとも報告されています。

つまり筋肉の組成（速筋と遅筋の比率）だけでは単純に "◎◎系" とはならないようです。

2018/01/03

26 私は "パワー系" それとも "持久系" ?

私たちの骨格筋には3種類の筋線維（速筋線維2種と遅筋線維）があります。筋の最小のものを「筋原線維」といい「筋節」という最小単位が連続してつながっています。この筋節は「アクチン」と「ミオシン」という収縮たんぱくが規則的に配列されて模様のようになっていますので「横紋筋」と言われます。よく出てくる筋線維の画像で速筋線維が白や灰色で遅筋線維が赤黒いのはアクチンやミオシンではなく、筋線維に含まれている酵素やエネルギー源などによるものです。

アクチンとミオシンが滑り込み筋線維の収縮が起きますが、その際は筋線維内のアデノシン3リン酸をアデノシン2リン酸に分解するエネルギーを利用します。そしてそのままですと筋線維が再度収縮できなくなりますので、連続収縮するためには何らかの方法で直ぐにエネルギーを補填してアデノシン3リン酸に戻さなくてははいけません（アデノシン3リン酸はなくならないと考えられています）。

ハイブリッドエンジンのように、急速にエネルギーを補充するバッテリーに相当するものが「ハイパワー系（クレアチンリン酸系）」、ガソリンエンジンのようにそこそこのスピードでグリコーゲンを分解するものが乳酸でお馴染みの「ミドルパワー系（解糖系）」で、これらは「無酸素性エネルギー供給機構」とよばれます。これに対してソーラーパネルのように高出力ではないが連続的にエネルギー生産をするものが「ローパワー系（有酸素系）」であり、筋細胞内のミトコンドリアを効率的に駆動して糖質や脂質から連続的にエネルギーを生み出すもので、解糖系で産出された乳酸をも利用することができます。

つまり「動きを作り出すシステム」としての3種類の筋線維だけではなく、「エネルギーを作り出すシステム」にも3種類があるのです。私はこれを筋の「3×3システム」と表現しています。"◎○系"は、この9個のマトリクスの中の位置づけや、継続する運動の中でその位置を巧みに変容させることによって実現されているのです。（続く）

2018/01/08

27 筋の3×3システムって何ですか？

私たちの筋肉は大きく分けて「速筋系」と「遅筋系」の筋線維から構成され、さらに速筋系は Type II a という普通の速筋系と Type II b(d/x)といういわば「スーパー速筋系」

		動きをつくり出すシステム		
		Type I	Type II a	Type II b
エネルギーをつくり出すシステム	ATP-PCr系	△	○	◎
	解糖系	◎	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

に分類されます。速筋線維と遅筋線維の比率はそれぞれの筋によって異なっており、またその速筋／遅筋線維の構成比は変わらないといわれています。ところが Type II a と Type II b との比率は、トレーニング内容によって変化しトレーニングをやめると元に戻るようです。また、長期的には加齢によっ

て速筋線維の割合が低下（退化）することも指摘されています。

この速筋／遅筋線維比は、関節をまたいで反対の方向に動く「拮抗筋」と協働して「動きの性質」を決めます。力強く大きく動くのかこまめに持続的に力を発揮するのか・・・また拮抗筋はそれとどのように協働すべきかということが「神経系からの司令」によって決定されます。

一方、筋線維の内部では筋収縮のためのエネルギーを生み出す必要があります。短時間大きな出力を得るには「クレアチンリン酸系」というバッテリーのようなシステムが、スポーツ動作のような一連の高出力は「解糖系」というガソリンエンジンのようなシステムが、そして解糖系で生まれた「乳酸」のエネルギーへの変換や糖質や中性脂肪からの持続的エネルギー産生は「有酸素系」というシステムが関与します。

つまり筋は3つの「動きをつくり出すシステム」と3つの「エネルギーをつくり出すシステム」の「3×3システム」で構成されていることとなります。さらに主働筋と拮抗筋とそれらを補助する筋から構成される「マルチレイアシステム」という大変に複雑なシステムを上手に使いながら最後まで身体運動を支えてくれているようなのです。

長い坂道を変速機付きのロードバイクで時速 15Km を維持しながら登っていくシーンを想像してみてください。最初は回転比が低い重たいギアでペダルを踏んでいきますが、すぐにギアを軽くして回転数を上げペダリング負荷（出力）を軽減します。さらに最後にはギアを更に軽くして最大限の回転数でスピードを維持したまま何とか登り切ります。この時もペダリングで踏み込む太ももの大腿四頭筋と引き上げるハムストリングスに加え、足首のペダリング動作を支える腓腹筋や前脛骨筋などが協働して、それぞれの3×3システムを最大限に活用して支えてくれているようなのです（続く）。

28 動きをつくりだすシステム？

私たちの身体は、骨と骨とが関節を介して連結し関節をまたいだ筋が収縮して「動き」が生まれます。多くの筋は「多関節性」といって複数の関節を介していますので、例えば肉離れを良く起こす大腿裏側のハムストリングスは、上部の股関節には「伸展」に下部の膝関節には「屈曲」に関与します。大腿前面の大腿四頭筋は、股関節には「屈曲」に膝関節には「伸展」に関与します。ですから「膝を曲げよう」という時にどちらの筋を「主役」にするのか選択する必要があります。立位では大腿四頭筋を「弛緩」させますし伏臥位（うつ伏せ）ではハムストリングスを「収縮」させます。垂直跳では膝関節の屈曲－伸展に連動してハムストリングスが股関節を伸展させます。

私たちはそんな「面倒くさい手順」を考えずに「とにかく高く跳ぼう」という意識で運動を実施しています。これは私たちの「動きをつくりだすシステム」からの命令が「関節トルク」といって”ギョ”とか”ギューン”とか”ギューーン”という関節を動かす「力と速度」の性質を持っているからです（ATR:川人光男先生）。”膝を 0.3～0.4 秒間で 105 度から 180 度に伸展してそこから 0.05 秒遅れて股関節を 45 度から・・・”などとやってはいないのです。

この際、”ギョ”と動かすときと”ギューーン”と動かすときでは筋の速筋線維と遅筋線維の活動様式が異なりますので私たちの「動きをつくりだすシステム」は大変柔軟に命令を出して対応しています。まして全身の数多くの関節と筋を目的に合わせて協調させて動かすためには膨大な運動司令が必要となり、それを可能とするために日々練習を繰り返してしているのです。



これは脳の意思決定にかかわる前頭連合野、感覚野や運動野、小脳や大脳基底核といった複数のシステムを統合する大変巧みなシステムを私たちが持っているからです（続く）。

29 速筋線維と遅筋線維の比率？

筋を構成する筋線維は2種類の速筋系筋線維と遅筋系筋線維があることはよく知られています。では「私は短距離が得意だから速筋系」とか「自分は長い距離の方が得意なので遅筋系」という表現は正しいのでしょうか？

実は私たちの筋はそれぞれで遅筋系と速筋系の割合が異なります。例えば肘を伸ばす上腕三頭筋は平均で67：33と速筋線維の割合が高く、物を保持する上腕二頭筋は54：46でほぼ半々で、かつ個人個人でこの比率が異なるようなのです。これは「動きの性質」と関係していて、物を投げたり叩いたりする動きは「素速く」、物をずっと保持する動きは「粘り強い」ほうが都合が良いからです。走るのに関係する股関節の筋群も、大腿を後ろに運ぶ（伸展）大腿二頭筋は33：67で遅筋線維が多く、大腿を前方に運ぶ（屈曲）大腿直筋は62：38で速筋線維が多くなっています。また、大腿直筋は膝関節では下腿を前方に動かし（伸展）、大腿二頭筋は下腿を屈曲して後方に動かすという「二重の働き」をしています（多関節性の動作といいます）。水泳の平泳ぎのキック動作で、膝関節を使う準備動作で股関節を屈曲してしまい大腿前面でブレーキをかけてしまうのはこの性質が邪魔をしているのです（「踵をお尻の上に持ってくるように準備する」と意識すると股関節の前方への屈曲を制限できます）。

ランニングでは膝関節の屈曲・伸展動作は、速度維持に貢献しないこと、膝関節はある程度固定したほうがランニング効率（エコノミー）が高いことも指摘されています。またストライドを無理に伸ばすと前方への踵接地（ヒールストライク）となってしまう接地ブレーキをかけてしまうことやストライドを抑えてハイピッチランニングにして腰の下方に接地してブレーキを少なくすることも重要です。

つまり多くの筋から構成される動作の性質を、状況に応じて上手にコントロールすることが求められているのです。また、筋の収縮エネルギーをつくり出す3つのエネルギー供給系の状況（いわゆる疲労の進行）も考慮して動作の性質を変えてゆくことも重要です。そしてこの際に主要な役割を果たしているのは器用な速筋系筋線維のようなのです（遅筋系筋線維はあまり器用に動かせない）。つまり速筋線維は大きな力を出すだけでなく力を発揮する方向を決定すること（スキル）にも重要な働きをしているようなのです。

2020.11.05

30 走っている最中に「カクッ」と力が抜けるのですが？

市民ランナーの方から「走っていて「カクッ」と脚の力が抜けて転びそうになるのですが・・・？」という質問を受けます。私も先日 10Km ランニング中に足関節で 2～3 回経験しました。変な痛みを感じだした途端に「カクッ」と力が抜けます。

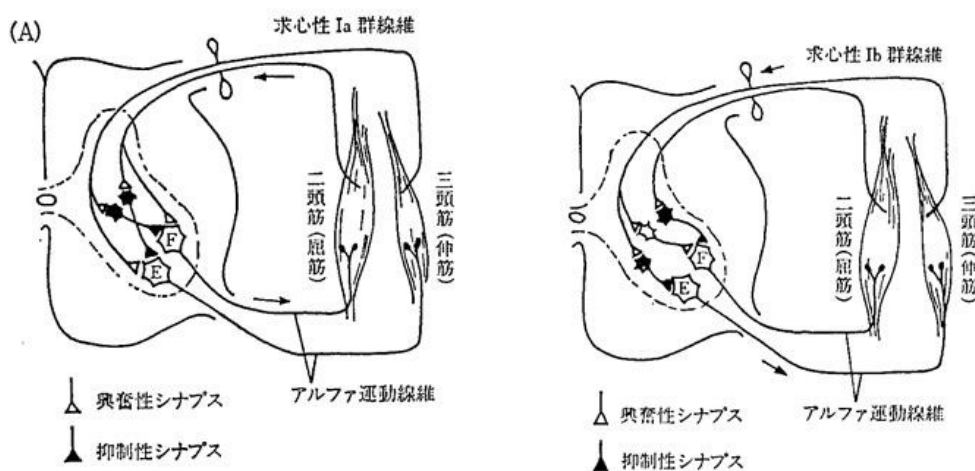
2017 年の第 29 回ランニング学会でも筑波大学の黒坂先生たちが「長距離ランナーにおける突発的な下肢の機能不全～いわゆる「脚抜け症状」について～」で、支持脚の股関節に関わる中殿筋や内転筋で筋活動の低下がみられたことを報告し、閉鎖神経や坐骨神経が関与している可能性を報告しています。

私の個人的見解ですが、これには「折り畳み反射」の発生による「伸展反射（支持脚の保持）」の抑制が関わっているのではないかと思います（下図）。

左はいわゆる「伸張反射」で、二頭筋（力こぶの筋）が瞬間的に引っ張られると「筋紡錘」というセンサーからの求心性Ⅰa 群線維が脊髄に信号を送り、二頭筋の急速な屈曲と三頭筋の伸展の抑制を引き起こして筋長を維持します。下肢では大腿四頭筋の伸展とハムストリングスの抑制を引き起こして支持脚を支えます。

ところが「折り畳み反射」ではより骨の付着部に近い「腱紡錘」センサーからの求心性Ⅰb 群線維が脊髄に信号を送ります。腱紡錘が伸展されるということは筋が伸びきっていて筋断裂の恐れが高くなるので二頭筋の「伸張反射」を抑制して三頭筋の伸展を誘発します（格闘技などでの関節固め技もこのメカニズム？）。下肢で起これば支持動作の抑制を誘発して「カクッ」と力が抜ける可能性が高くなります。

走行距離が長くなって脚筋の疲労が進行すると筋長の短縮が起こります。筋長が短縮するということは「腱紡錘」からのⅠb 群線維の入力が増加する可能性が高くそのことが「折り畳み反射」を誘発し「伸張反射による姿勢維持」を抑制しているのではないかと考えています。これを予防するためにはストレッチやマッサージなどで内転筋やハムストリングスの筋長を回復させることが重要となるように思います。



2023.05.22

31 「多様性」と「定型化」の違いは？

運動経験が豊富であるということは、様々な条件変化に対応できる（多様性がある）ことを意味します。一方、スポーツ動作の実施には一定で安定した運動経過の発揮（定型化している）が求められます。これは一見「矛盾」しているように思われます。実は私たちの身体は「機械のような正確さ」では動いてはいないようで、1930年代にロシアの著名な生理学者・ベルンシュタインは、上手くいっている周期的な動作（例えば連続した釘打ち動作）も正確には反復されていないことを指摘しています。これは「冗長度」という概念で表現され、ほぼ同じ軌道なのだが微妙にずれながら正確に釘を打っていることを示します。

私たちの身体は上肢や下肢、頭部や体幹といった多くの節（セグメント）から構成されているので「機械のように正確に」動かすことは困難なので「同じような軌道」を描くような「冗長度（ある程度のいい加減さ）」を持っています。1%ずれたからといって破綻するようなシステムは現実的ではなく、5%とか10%のずれを想定してその状況でも運動が実現できるように反復練習をしておきます。かつて日本インカレにも出場した走高跳選手が「助走－踏切準備－踏切－空中動作－クリア」のそれぞれが100%上手くいくことはあり得ないので95%程度の冗長度で対応して「最高の跳躍を実現する」ように練習をしています・・・とコメントしていました。

この「冗長度」を支えている神経システムは「大脳基底核」と「小脳」と考えられています。小脳は運動経過（例えばテイクバック～フォアワードスイング～インパクト～フォロースルー）に「補正」をかける働きがあります。「ストレートと判断」してバットスイングを開始したが「あれ、フォークボールだ！」とスイングのタイミングを変えインパクトを補正するのは小脳の働きです。そして「どの補正が必要か？」を選んでいるのが大脳基底核のようです。大脳基底核の疾病であるパーキンソン病は、この補正をするディレクターが機能を失いそれぞれのパターンが「勝手に動きだす」ので手足の振顫に代表される様々な症状が現れます。NHK：ヒューマニエンス：“天才”（2021 放映）では、将棋のプロ棋士は瞬間的に提示される「詰め将棋」の判断に80%程度の正確さで対応しており、その際プロ棋士ではこの大脳基底核が働いていることが示されました。田中寅彦棋士は「アマチュアの方は算数を解いているようだが私たちは音楽を演奏している芸術家のような感覚だ」との大変印象的なコメントを残しています。じつは大脳基底核は意識に上ることはないものの情動や感情にも関与している部位なのです。

2022.06.05

運動を持続するメカニズム

32 心拍数からわかること

最近は安価な「スマートウォッチ」でも、緑色ダイオードから光学的に心拍数を測定できるようになりました。

手首の血管に心拍にあわせて血液が流れると「ヘモグロビン」が光を吸収します。この変化の濃淡の時間間隔を読み取って計算して1分当たりの心拍数を表示する原理です。ですから寒いときに手首の血管が収縮して血流が悪くなると精度が悪くなります。胸部につけた送信機タイプのものは、心電図と同じ電気信号を処理しますので精度が高いのですが「煩わしい」のです。

心拍数は、運動の継続による酸素消費量の増大と、自律神経（交感神経）系の活動に反応して上昇します。人前でスピーチをする直前に「ドキドキ」するのは後者の影響です。まさに「こころの臓器」なのです。

「心拍トレーニング」は、運動強度の推定を心拍数から行う方法で、最大強度の60%と80%が持久性トレーニングのガイドラインとなります。つまりAさんとBさんがレースの10Kmを、90分と60分で走れるとすると、1キロ10分の同じスピードで練習していても「運動強度」と「トレーニング効果」が異なることとなります。特に80%強度の心拍数の時にどのくらい速く走っていただけるかでレースのパフォーマンスが決まるといわれています。そして、80%強度でのランニングスピードを改善するには、何故か60%強度以下の練習量が大きな影響を与えます。つまり10Km90分で走る方では1キロ10分のスピードで走っているのは運動強度が高すぎることであります。まさに過ぎたるは及ばざるがごとしなのです。

では、具体的にはどのようにして計算するのでしょうか・・・

著名な方法は「心拍数上昇のキャパシティ」から推定するもので、じっとしている時の「安静時心拍数」と「運動時最高心拍数」が基準となります。最高心拍数と安静時心拍数の差を「100%」として60%や80%を推定するのです。ただ「運動時最高心拍数」を求めることはリスクを伴いますので「推定最高心拍数」として「 $220 - \text{年齢}$ 」で産出する方法が「カルボーネン法」といわれるやり方です。

40歳の方で、安静時心拍数が60拍/分の場合は、推定最高心拍数は「 $220 - 40 = 180$ 拍/分」となり、60%強度は、安静時60拍/分に、 $(180 - 60) = 120$ 拍/分 $\times 60\%$ の72拍/分を加えた132拍/分ということとなります。

60歳の方で、安静時心拍数が70拍/分であれば、60%強度は、安静時70拍/分に $(160 - 70) = 90$ 拍/分 $\times 60\%$ を加えた124拍/分です。

33 何時インターバル・トレーニングが始まったの？

最高速度以下で一定の距離を競い合って走るという中長距離走のスタイルはいつから始まったのでしょうか？

立命館大学の岡尾恵一先生は、紀元前 772 年の古代ギリシャのオリンピア祭では 1 スタディオン（約 191m）を競う競技があったことが記録に残っており、その 60 年後あたりから 2 スタディオン走や 10 往復（3800m）する長距離走も行われていたことを指摘します。18 世紀には「賭けレース」として超長距離走が行われるようになり、「マラトンの故事」にならった 40Km を走るマラソン競争は、1896 年の第 1 回近代オリンピックのマラトン～アテネ間で最初に開催されたとのことです。

長距離走が競争として行われるとそのための「トレーニング」が行われるようになります。TV ドラマ「いだてん」を見ても 1912 年のストックホルム五輪に参加した金栗四三さんが様々な工夫をしてトレーニングを実践していたことが分かります。最初のトレーニングはレースと同じように長時間かけて長距離を走る「ディスタンス・トレーニング」が行われていました。1936 年ベルリン五輪で金メダルを取ったソン・キジョンさんもこの方法を実践していたようです（孫基禎自伝「ああ月桂冠に涙」、講談社：1985 年）。1920 年頃からフィンランドの長距離王ヌルミ選手が行っていた「ファルトレック・トレーニング」は、郊外の地形を利用して下り坂で急走をし平地で緩走をするもので、チェコのザトペック選手の「インターバル・トレーニング」につながる方法で、現在も重要なトレーニング手段です。

つまり、同じペースで長時間（1 時間以上）走り続ける方法とスピードを大きく変えて短時間で反復する方法とが混在しているのです。「レペティション・トレーニング」や「ペース・トレーニング」といってレースで目標とするスピードでレースの 1/4 程度の距離を十分な休息を挟んで繰り返す方法も実践されています。

面白いのは実際のレースでは一定の「速度×距離」で行われているのに、それを目指す現在のトレーニング方法は「速度を抑える」か「距離（時間）を抑える」という矛盾した方法をとっていることです。つまりマラソンを走るために 42.195Km を想定タイムで走り切るという「リアリティ」を重視したトレーニングは生体へのダメージも含め「非現実的」なようなのです。

では何故インターバル・トレーニングのように「強度と時間を変化させる」方法が有効なのでしょう？

根源的な問題は私たち人類の進化史があるようで、180 万年前のご先祖様「ホモ・エレクトス」は、体温調節機能を持たない羚羊類を 30Km にわたって追いかけて体温調節不全（熱中症）を引き起こして仕留めた「持久狩猟」を行っていたことが分かっています。仲間と協働して足跡を確認し、先回りして追いまわして最後にとどめを刺していたのですが、この際に発汗による体温調節機能と動き続ける脚の疲労や痛みを緩和する「エンドルフィン」や「エンドカンナビノイド」という自己生産性鎮痛物質生産性も獲得したようです。当然「一定速度」で追跡していたわけではなく仲間と状況を確認しながら協働して走っていたわけですので、とどめを刺す時は筋出力での最高速度が必要ですがそれ以外ではコミュニケーションの取れる状況（運動強度は高くない）で走っていたものと思われます。

どうやら私たちの身体は運動強度が連続的に変化（アップ&ダウン）する方法により大きく反応するようなので、パフォーマンス改善を目指すトレーニング方法は様々な工夫が求められています。また低強度で長時間走り続けるトレーニングは基本的課題ですので全練習量の 2/3 を占める必要性が指摘されています。月 600Km を走るとすれば 400Km は「のんびり」走ります。パフォーマンス改善を目指してインターバル・トレーニングなどを 300Km まで増やすと 600Km の「のんびり」走が求められます。エリートランナーが月間走行距離 1500Km・・・といっても 1000Km は「のんびり」走っているようなのです（ケニアのランナーの練習メニューは若干異なるようです）。

34 HIT（高強度短時間運動）って何ですか？

最近話題の HIT（または HIIT：高強度短時間インターバルトレーニング）は、立命館大学の田畑泉先生が提唱して有名になった「タバタ・メソッド」です（田畑先生によると本来は孺恋高校の入澤孝一先生がスピードスケートのトレーニングとして考案されたものでその後の様々な試行錯誤の中で生まれてきたのだそうです）。

基本は「20 秒間の全力運動」+「10 秒休息」を 1 セットで 7~8 セット反復（4 分）するもので、わずか数分の実施で大きなトレーニング効果が得られることで注目されてきました。田畑先生によると「20 秒間の全力運動」は最大の持続的能力 170%相当（連続実施では 50 秒が限界）で、疲労困憊まで反復することにより最大酸素摂取量（有酸素系）に対しての有効なトレーニングであるとともに、7~8 セット目では最大酸素借（無酸素系）が生じていることから両者に対してのトレーニング効果が認められるとの結論です。ですからこのトレーニング法は、有酸素系と無酸素系の両者が混在する 1~2 分間で終了するスピードスケートや水泳などの種目で有効なトレーニングであるとしています。

この方法は短時間で効果が得られることから、運動不足が問題となる一般人（生活習慣病や話題の“基礎疾患”の回避に有効）や宇宙飛行士（重力がないため急激に筋萎縮が生ずる）へのトレーニングとしても活用されています。労働安全衛生総合研究所・宇宙航空研究開発機構の松尾正明先生は、J-HIAT という運動プロトコルを実施し、週 3 回 8 週間の実施で大きなトレーニング効果（最大酸素摂取量の改善）が見られたことを報告しています。

イギリス・ノッティンガム大学のシモンズ先生は、HIT として 20 秒間の全力自転車こぎ運動を 10 秒の休憩をはさんで 3 セット繰り返すプロトコルを週 3 回 4 週間（12 分間）実施することでインシュリン感受性（耐糖能）の改善がみられ、さらに 5 週間以上継続することで最大酸素摂取量も向上する可能性を指摘しています（ただし有酸素能力の改善には個人差があり 20%の方は改善効果が見られない・・逆に 15%の方は劇的に改善するとのデータも報告しています）。

大変魅力的なトレーニング法なのですが、実は「20 秒間の全力運動」をどうやって実施するのかは意外と難しいのです。例えば、水泳選手が自転車エルゴメーターを用いても「運動様式」が異なるので効果は限定的かもしれませんし、全力ペダリングが行える自転車エルゴメーターは数十万円（数万円のエルゴメーターでは全力負荷が設定できない）の価格です。更に様々な運動様式での最大酸素摂取量の 170%を設定するのは難しく、例えばバーピーステップやその場腿上げ（ステッピング）ではどの位になるのかは不明確です。逆説的に 8 セットで疲労困憊（ヘロヘロ！）に至るようにトライ＆エラーを繰り返して探っていくことが必要かもしれませんが、疲労感が出るので「手抜き」をしていては効果は限定的です。

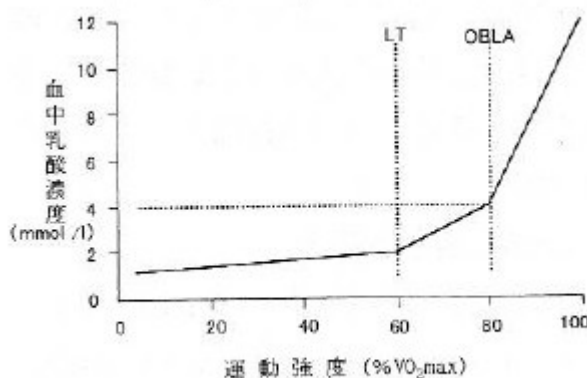
ところで「インターバル・トレーニング」という方法は、1952 年ヘルシンキ五輪で 5000m、10000m、マラソンで金メダルを獲得したザトペック選手のトレーニング法として有名です（400mを緩走：ジョギングでつないで午前 50 本、午後 50 本を 2 週間続ける）。現在の陸上競技のインターバルトレーニングでは、急走期は最大酸素摂取量の 80%強度（頑張ればなんとかなるレベル）、緩走期は 60%強度（いくらでも走り続けられるレベル）で繰り返すことが推奨されています。また信州大学の能勢博先生らが実践する「インターバル速歩（3 分間の速歩と 3 分間の普通歩きを 5 セット繰り返す）」の効果も有名です。

35 「血中乳酸値」って何ですか？

運動をした時に生ずる「乳酸」は、筋肉のグリコーゲンがエネルギーとして利用される際に、一定以上の強度になると酸素不足となり処理できずに「乳酸」という形で筋に蓄積し「きつい」という感覚を生じさせます。この筋から血液に出てくる乳酸を測定するのが「血中乳酸値」で運動強度の指標になります。

遅筋線維では筋細胞内のミトコンドリアという有酸素的エネルギー生産機構が豊富で乳酸処理能力が高いのですがスピードはあまり出せません。速筋線維では大きな力を発揮できるのですが、乳酸が処理できずに蓄積するので「激しい運動後」は血中乳酸値が高まってきます。

有名な「スロージョギング」は、血中乳酸値があまり上がらない速度（60%強度・単位は濃度 2.3 ミリモル/l）以下で走るので「きつくない」ので継続して走ることが可能となります。80%強度（単位は 4 ミリモル/l）を超えると、乳酸処理能力が限界を超え、血中乳酸値がどんどん上がり始めて「きつく」なってランニングが継続できなくなります（ゴールが見えたラストスパートはこれで、ゴール後の”ゼイゼイハーハー”はそのツケを払っている）。



血中乳酸濃度の測定は、ランニング後に耳朶や指先に一瞬「チクリ」と針を刺し、米粒程度の血液量を簡易測定器で計測します。ただし試薬などで経費が1回300円ほどかかりますので、一般の方は何回も測定ができません。

そこで、ランニング速度を徐々に上げる「ビルドアップ走」を行い、心拍数と血中乳酸濃度の関係を数回測定しておいて、通常の練習では心拍数を目安に60%強度と80%強度を推定してトレーニングメニューを決めます。80%強度相当の心拍数が同じ（例えば155拍/分）でも、トレーニングを継続すると、あたりのタイムが最初10分で155拍/分であったものが、8分になり7分になっても心拍数が変わらなければ、持続性トレーニングは上手くいっていることとなります。

厳密な「心拍数トレーニング」を行うには、一度血中乳酸濃度と心拍数の関係を測定することが必要です。

36 乳酸は疲労物質？

東京大学の八田秀雄先生は「乳酸は疲労物質である」との従来の単純な考え方について、生理学生化学に基づくデータから反論し、新たなトレーニング理論を提唱しています。しかし依然として、200m全力疾走後再び100mを走るトレーニングが「対乳酸能力を改善する」といった不思議な考え方があるのも事実です。実は、乳酸は運動を阻害する「悪者」ではなく、運動を継続するのに重要なエネルギー源なのです。

では「乳酸」とは何なのでしょう？

筋肉が収縮することによって運動が可能となります。筋肉は「筋原線維」という究極の収縮要素（アクチンとミオシンという二つの収縮タンパク質が連続して繋がったもの）が活動しますが、動くためにはエネルギーが必要です。筋原線維ではアデノシン3リン酸（ATP）からリン酸基を一つ離してアデノシン2リン酸（ADP）になるエネルギーを利用して収縮しますが、そのままでは次の収縮ができません。そこでどこから早急にエネルギーを持ってくるか？ ATPに戻します。このメカニズムが「エネルギー供給系」で、①クレアチンリン酸からリン酸基を離す、②筋内のグリコーゲンを分解する、③筋細胞内のミトコンドリアの働きでの酸化エネルギー利用、という3つのシステムを利用します。それぞれが、①ハイパワー系、②ミドルパワー系、③ローパワー系、といわれ①と②は「無酸素性機構」、③は「有酸素性機構」といわれます。特に、速筋系筋線維での無酸素的なグリコーゲン分解（解糖）が激しくなると、一次的に分解された「乳酸」が処理しきれずに筋内に一定以上蓄積して「きつい」という感覚が生じます。一方、遅筋系では③の有酸素能力が高いため「乳酸」は処理されてエネルギーに変換されます。3×3システムのところでも指摘したのですが、筋の中には速筋系筋線維と遅筋系筋線維が隣り合って混在していますので速筋線維で処理しきれない「乳酸」を遅筋系筋線維にわたしてエネルギーに変換してもらうことができます。八田先生は、これを「乳酸シャトル」と表現しています。

つまり「乳酸は疲労物質である」というのは不正確で、「乳酸はきついという感覚を生じさせて運動継続を制限する」が「うまくエネルギーに変換することによってさらに運動を継続することができる」ということで「対乳酸能力」ではなく「乳酸処理能力」というほうが正確な表現です。

ではどうやって「うまくエネルギーに変換する」のでしょうか？

2011/02/28

37 「乳酸いき値トレーニング」って何ですか？

最近話題の「乳酸いき値トレーニング」は、持久的トレーニングの運動強度の指針となるもので最大の持久的能力に対する％で示されます。低強度運動継続時のエネルギー源は「遊離脂肪酸（FFA）」が主要で細胞内のミトコンドリアで「有酸素的」に生成されます。そして運動強度が上昇するにつれて追加のエネルギー生産システムが必要となり「糖（筋グリコーゲン）」が利用されます。この際にピルビン酸が先ずつくられると考えられておりこのピルビン酸もミトコンドリアで有酸素的に処理されます。ところが運動強度が高い場合にはこのプロセスだけでは処理しきれずに「乳酸」が生成されます。このプロセスは同時並行的に進行しているので、結果的に運動強度が上がるとピルビン酸が処理しきれずに血中乳酸濃度が上昇してきます。

この血中乳酸濃度は、自覚的には「きつい」という感覚を生じさせますのでスウェーデンの著名な生理学者・ボルグ先生は、「最高に楽」から「最高にきつい」に至る 6～20 段階の「自覚的運動強度（ボルグスケール）」というものを提唱しています。またこの数字は運動時心拍数のおよそ 1/10 であることも指摘されています。

段階的に運動強度を上げてゆくと血中乳酸濃度も上昇するのですが、最大の 60％強度あたりで乳酸値の増加曲線がやや急になり 80％強度を超えるとさらに急激に増加するといわれています。そして 80％強度を超えると乳酸をエネルギーに変換する処理が間に合わなくなりそのまま継続するのは「無理」という感覚が生じますので 80％を「乳酸いき値」と定義します（血中乳酸濃度では 4 ミリモル/L）。

ただ腕時計型の心拍系では運動実施時の血中乳酸濃度を測ることはできませんので、80％強度と推定される心拍数を個人別に推定して表示しますが、この時間問題となるのが心拍数の個人差です。基準となるものは「安静時心拍数」と「運動時心拍数」と「最高心拍数」なのですがこの「最高心拍数」が個人の年齢やトレーニング経験によって大きく異なっていることが知られています。

有名な方法は「カルボーネン法」といって最高心拍数を「 $220 - \text{年齢}$ 」と推定します。そして安静時心拍数と運動時心拍数との関係から、推定最高心拍数－安静時心拍数を 100％として、60％強度や 80％強度を計算します。40 歳の方で安静時心拍数が 60 拍/分であれば、80％強度は（ $(220 - 40 : \text{推定最高心拍数}) - 60 : \text{上昇キャパシティ}$ ） $\times 80\%$ ）＝96 拍/分に安静時心拍数を加えた 156 拍/分となります。30 歳で安静時心拍数が 55 拍/分であれば、60％強度は（ $(220 - 30) - 55$ ） $\times 60\%$ ＝81 拍＋安静時心拍 55 で 136 拍/分です。

ですから厳密に最高心拍数を推定するためには「ビルドアップ法」といって運動強度を段階的に上げていった最高心拍数やレースでのラストスパート時の心拍数を記録したりすることで補正することが必要となります（血中乳酸を測定してもらって 4 ミリモル強度を推定する方法もあります）。

2023.07.04

38 「ミトコンドリア」が増える？

東京大学の八田秀雄先生は、「乳酸いき値トレーニング」は80%強度より少し高めの運動強度で数分間実施することにより筋繊維（特に遅筋繊維）内の「ミトコンドリア」が増殖するというトレーニング効果を指摘します（八田英雄、乳酸を使いこなすランニング、大修館書店、2011年）。筋肉は遅筋繊維と速筋繊維から構成されている（混在しているが協働で収縮する）ので、速筋繊維で生ずる乳酸を遅筋繊維のミトコンドリアがエネルギーに変換するという「乳酸シャトル」という概念です。またミトコンドリアの増加とともに筋の毛細血管網も発達する（運動により血管内皮成長因子などが分泌される）ので「有酸素的能力」が向上します。

また60%強度のランニングは「基本的トレーニング」とされ、全練習量の2/3以上を占める必要性も指摘されています。そしてトレーニングの継続による有酸素的能力の改善に応じて60%強度のランニングスピードは改善されます。最初はキロ8分であったものがキロ7分になりキロ6分になっていきます。ですからキロ8分のままでトレーニングをしていては身体機能は改善されないこととなり60%強度での「心拍数トレーニング」を行うことが重要です。また日によって体調は異なりますので心拍数と「自覚的運動強度（ボルグスケール）」からその日のランニングスピード（運動強度）を決定することが重要です。

有名な立命館大学の田畑泉先生の「タバタメソッド」は最大酸素摂取量の170%強度の運動を20秒間継続し10秒間の休息を挟み6〜8セット実施する短期間高強度インターバルトレーニング（HIIT）で、週2回のトレーニングで最大酸素摂取能力と最大酸素借（いわゆる無酸素的能力）の両者の改善を図るものです。カルボーネン法で計算すると心拍数が250拍/分を優に超えてしまいますので経験的に6〜8セットで「疲労困憊に至る」運動強度と運動方法（動作）を決定します（田畑泉、世界標準の科学的トレーニング、講談社、2022年）。この際「どのような運動方法（動作）」を選択するのかということが重要です。トレーニングには「特異性」と「一般性」という概念があり、トレーニングは個別の条件下で実施され特異的（自転車ロードレースなのかマラソンなのか）に形成されるのですが有酸素的能力は「一般的能力」として測定されます。しかし自転車競技選手は「自転車エルゴメーター」でマラソンランナーは「トレッドミル（ランニングベルト）」で測定する方が妥当性が高くなります。

2023.07.04

39 最近「持久力」が低下してきたように思うのですが？

ベテランランナーの方から「どうも最近ロードレースのタイムが落ちてきたのだけれど・・・」と相談されます。トレーニングを継続していても年齢相応の機能低下は起こりますが、個人差は大きいようです。年齢に伴う筋委縮が起こりにくい遺伝子の存在も指摘されていますし、ケガや故障で練習量が確保できないケースもあります。ただ、長距離ランニングの場合には、練習量の維持やトレーニングメニューの変更で対応ができ、統計的にみると著しい記録低下は招かないことが報告されています。

「持久力」は結果（タイム）で評価されるのですが「持久性」となると話が違ってきます。持久性とは一定時間以上身体運動を「継続できる能力」のことで、フルマラソンのタイムが低下してきた・・・といっても5～6時間も走り続けられることはとても重要なことで、当然普段からそれなりの練習をしていないといけません。逆に軽い身体運動でも20分以上継続できなくなった・・・というケースは問題です。呼吸循環系やエネルギー供給系、筋の機能低下などが考えられ、背景には運動不足と肥満が見え隠れします。若い女性の食事制限のみの極端なダイエット志向も拍車をかけます。電車の中で立ってられない、長く歩くことが困難、長時間集中力を保てないなどの症状も「持久性」の低下なのです。

子どもの体力問題でも1000m走のタイム低下が問題なのではなく、長い時間遊び続けることのできなくなる「持久性の低下」を招いてしまう生活環境の悪化こそがより重大な問題と考えられます。ロードレースのタイムが遅くなってきたこと・・・よりも運動を継続的に実施することが困難になってきたことの方がより重大な事態なのです。

実は私たちの身体は、ご先祖様たちの遺伝子を色濃く反映しています。200万年以上前からアフリカのサバンナでは「持久狩猟」といって、そこそこの速度で30Kmも獲物を追い回して熱中症にして仕留めるという身体運動の戦略と様式を行っていたのです。そしてその結果として、栄養事情の改善と石器の製作などの行動様式の進化が脳の大型化と機能向上を促してきたと考えられています。つまり人類学的に考えても「持久性の低下」は「脳機能の危機」を招く可能性が高いのです。

2019.04.09

40 心臓が「ドキドキ・・・」するのは何故？

陸上競技の100mスタート前、運動が始まっていないのに心臓が「ドキドキ・・・」します。トレーニングを積んだ選手では200拍／分に達することもあるようです。

これは私たちの心拍数が、運動による酸素需要量の増大に対応するだけでなく、自律神経系の影響を受けているからです。心拍数は精神的緊張時に「交感神経系活動」が亢進して増加し、リラックス時には「副交感神経系活動」が優勢になって減少します。そして「心拍ゆらぎ」といって通常でも1拍ごとの時間も微妙に変動しています。毎分60拍であっても、インターバルが0.9秒や1.1秒、0.8秒や1.2秒というふうに変動しています。2秒以上心拍間隔が空いた場合は「不整脈」と診断されますが、私たちの心拍数は常に変動しているのです。

また呼吸相（呼気や吸気）にも連動して変動するので「呼吸性洞性不整脈」とも呼ばれ、吸気時（インスパイア：魂が入ってくる）には心拍数が増加し、呼気時（エクスパイア：魂が抜ける）には心拍数が低下します。目覚め時は吸気相が、入眠時は呼気相が自然な反応です。ヨガやメディエーション（瞑想）などでは、私たちが自律神経系に唯一関与できる呼吸のコントロールからその改善をはかることとの関連も指摘されています。

高齢者や心筋梗塞患者の方ではこの「心拍ゆらぎ」が減少しますし、逆に子どもや運動選手は大変大きく変動しています。交感神経系はいわば「アクセル」、副交感神経系は「ブレーキ」に相当しますので、自律神経系への反応性の良し悪しを反映しているのです。

よくトレーニングされた選手では、安静時は副交感神経系のパワーが高いので心拍数は低く揺らぎも大きく、運動の開始に合わせて心拍数は急激に高まります。ところが自律神経系への反応性が低い場合には、安静時心拍数が高くかつ運動時にも十分心拍数が上昇せず、最悪の場合心停止を引き起こす可能性もあります。また、過度の精神的ストレスは「心拍ゆらぎ」を減少させることも報告されており、このメカニズムを利用して心拍数から「ストレス度」を推定するアプリケーションも開発されています。

つまり「心拍ゆらぎ」は私たちの心拍活動の自律神経系への反応性を示しており、心臓が「ドキドキ・・・」したり「のんびり・・・」したりするのは実は健康の証明でもあるのです。

2019.05.18

41 「35Km の壁」って本当ですか？

42.195Km のフルマラソンでは、30Km 過ぎから苦しくなり「35Km の壁（Hit the Wall！）」で一気にペースダウンするケースが多々あります。かなりトレーニングを積んだランナーでも起こるので練習不足というわけでもないようです。「身体がダメだ！」といっている訳ですから当然「心もおれる！」のです。私もホノルルマラソンで3回、新潟マラソンで1回体験しています（想定外の出来事ですので心もめげます・・・あ～完走”できずに歩いてしまった・・・）。

原因として考えられているのは「筋グリコーゲン枯渇」という現象で、そこそこの速度で走るための「ガス欠」が起きた・・・ゆっくり歩くことはできるので・・・と運動生理学的に説明されます。ただし、筋グリコーゲンが「ゼロ」になることは生体防衛反応としてはありえず、反復される高強度運動でも数10%程度しか減少していないことも指摘されています。

ゆっくりとしたランニングでは「遊離脂肪酸」も利用されています。こちらはいわば「ソーラーパネル」のようなもので”トコトコ”と走り続けることができます。「歩かず完走」が目的であれば「グリコーゲン枯渇」が緩やかなスローペースを選択すればよいのですが、やはりその状態ではベストタイムが更新できないのでついついペースアップをして「35Km の壁」に衝突してしまいます。

レース当日の身体と心の状態でのベストタイムを目指すためには、事前の練習を含めて「自分のストーリー」を描く必要があります。運動生理学的にはゴールである

「42.195Km が壁（グリコーゲン枯渇で速く走れなくなる）」になるのが理想です。ただし、最後の500m位は何とかなりますのでもう少し手前でもよいのかもしれませんが、刻々と変化する身体状況の把握には時計型心拍計の使用をお勧めしますが、事前にどの程度のペースが限界なのかを2時間走などで確認しておくことをお勧めします。ただ、うまくペース維持ができたとしても35Km あたりから運動生理学的にキツくなってくるのは避けられませんので、「めげない自分」のメンタルリハーサルや「テーマミュージック」の設定も必要です。かつてホノルルマラソンで、間寛平さんが「俺もうボロボロです！」というランナーに「一緒や一緒や、みなボロボロや・・・ほなイコカ～！」という印象的な映像がありました。沖縄の島言葉「なんくるないさ～」は、やるべきことをやったのだから「心配しなくても大丈夫、大丈夫！」なのだそうです。

2020.03.17

42 「持久力」と「持久性」？

「最近年齢のせいかロードレースのタイムが低下してきたのだけれど・・・」と心配されている方もいるのではないかと思います。トレーニングを継続していても、いわゆる「加齢」により様々な機能が低下してくるのは生理学的に自然な現象ですが、その程度は個人個人で異なるようです。ただマスターズ陸上競技の年齢別（5歳刻み）日本記録をみていくと高齢になってから始めた方を除いて短距離でも長距離でも跳躍でも投てきでも記録は低下していることがうかがえます（同じ方が複数の年齢別で記録を保持されている例もあります）。

問題は継続的に運動を実施していなかったりトレーニングを長期に中断されている場合の機能低下で、特に長時間にわたって運動を継続する「持久的能力（≡持久性）」の低下は、結果として肥満や高血圧、糖尿病などのいわゆる基礎疾患に繋がる重大な症状を引き起こします。10Km 走は速くなくともよいのですがゆっくりでも 20 分以上運動を継続できないケースは注意が必要です。運動継続に必要な有酸素的なエネルギー生産能力の低下は呼吸循環系の機能低下をまねきます。つまり「持久力」は高くなくともよいのですが「持久性」が低下することは食事と休養の乱れ、運動不足などの生活習慣病のリスクを高めているといえます。

持久的な運動を継続すると私たちの体脂肪が遊離脂肪酸として分解され、また筋肉内のグリコーゲンという糖質も分解されて有酸素的なエネルギー源となります。心拍数も上昇し血液循環が活発になり長時間の運動実施を可能とします。この機能は「最大酸素摂取量」という 1 分間に体重 1Kg あたりどのくらいの酸素を体内に取り込めるのかという指標で、これが低下するということは生活習慣病のリスクと大きくかかわっています。通常は 30～40ml/kg/min ですが 20ml/kg/min 以下ですと将来的に心疾患のリスクとの関連が指摘されています（ちなみに長距離選手では 60～80ml/kg/min を越えます）。つまり長距離選手のような「持久力」は必要はないのですが運動を継続できる「持久性」は維持してゆくことが重要となります。

また「心拍ゆらぎ」といって、1 分間 60 拍であっても 1 拍ごとが 1.05 秒や 1.1 秒、0.95 秒や 0.9 秒と変動している方が心臓の自律神経への反応性が良いこと（交感神経系が働くと心拍間隔が短くなり副交感神経系が働くと心拍間隔が長くなる）も指摘されています。子どもや運動選手ではこの心拍ゆらぎが大きいことが知られており、心筋梗塞の患者さんや高齢者の方ではゆらぎが減少して心臓の反応性が低下していることが指摘されています。運動を始めると速やかに心拍数が上昇してゆらぎが減少し運動を終了すると速やかに心拍数が低下してゆらぎが回復する反応性も「持久性」を示す指標です。心拍数が高くゆらぎのない心臓はいわば「ポンコツエンジン」で、アクセルを踏んでも回転数が上がらずアクセルを離しても回転数が低下しないのです。

43 “マルチランナー”ってあり？

10月8日の男子10000mで、ウガンダのチェプテゲイ選手が26分11秒00秒の驚異的な世界新をマークし8月にマークした5000m（12分35秒36）と合わせてダブルタイトルホルダーとなりました。それまではエチオピアのベケレ選手が、2004年と2005年に両種目（12分37秒35と26分17秒53）で世界記録を保持しており15年ぶりの出来事です。ただ、レースには5000mまでペースメーカーがついており、一発勝負で駆け引きもある世界選手権やオリンピックとは異なります。マラソンでは、ナイキやイネオスのプロジェクトが「2時間の壁」への挑戦を続け、世界記録（2時間1分39秒）保持者のケニアのキプチョゲイ選手が、X陣形のサポートランナーとレーザーでのペース誘導などに支えられ、非公認ながら2時間0分25秒と1時間59分40秒をマークしました。ちなみにキプチョゲイ選手の五輪2連覇へのライバルはエチオピアのベケレ選手です。

ベケレ選手は5000mから42.195Kmのフルマラソン（2時間1分41秒）までトップクラスの記録を出しておりまさに「マルチランナー」の代表格です。2008年に人類初の2時間4分の壁を破ったエチオピアのゲブレセラシエ選手もトラック出身のマルチランナーでした。古くは、1952年のヘルシンキ五輪で、有名な「インターバルトレーニング」の創始者であるチェコのザトペック選手が5000m、10000m、フルマラソンを制しています。

5000mからその8倍以上（時間では9.7倍）ある42.195Kmでもトップクラスの成績を収める選手の特性を運動生理学的に説明することは難しい問題です。ボルト選手のような100m・200mタイプのマルチランナーと、ジョンソン選手のような200m・400mタイプのマルチランナーについては速筋線維と遅筋線維の筋組成やハイパワー系やミドルパワー系というエネルギー供給系の比率などから推察はできるのですが、長距離種目ではプロポーションの問題やランニングスキルなどが関与する「ランニング効率（エコノミー）」の問題が絡んでくるので複雑なのです。また持久力の指標とされる「最大酸素摂取量」は5000mと相関が高いのですが血中乳酸濃度4Mmol/dl時の疾走速度（LT）はフルマラソンと相関が高いとされています。では「マルチランナー」ではどうなのかというところはまだデータがそろっていないのでよくわからない部分が多いのです。

ただマラソンで好記録が出せるようになるためのトレーニングはかなりの時間と経験が必要なようで、トラックランナーから転身した30歳代以降に好成績を残しているようです。（続く）

2020.11.04

44 「気分が乗らない！」のは何故ですか？

レースや試合中にペースダウンしたり失点が続くと「気分が乗らなく」なってきます。心理的な反応と考えがちで「気合」を入れれば乗り切れる（「気合」が入っていないからダメなんだ・・・！）と対応するケースがありますが、運動生理学的には身体の反応を反映した気分の変化（モード）とも考えられます。

子どもは「糖動員性」といって活発に動くエネルギー源である「グリコーゲン」を肝臓から分解する能力が低いとされています。つまり「楽しく」なく「いやいや」やらされる運動ではエネルギー不足になりがちなので防衛反応として「気合」が入らなくなるのです。4時間目の体育の授業が終わり、休み時間と給食準備に向けて授業中よりも速くダッシュして教室に帰ってゆく小学生は「楽しい」から元気なのです。

グリコーゲン枯渇が近づくと大人でも元気がなくなります。筋グリコーゲンが減ってくると身体は肝グリコーゲンの分解と放出をはじめます。そしてさらに運動を継続していると肝グリコーゲンもなくなって「低血糖症」が起こります。いわゆる「ハンガーノックダウン」といわれる症状で「力が抜ける」「視野が狭い」「色彩感がない」などの自覚があります（当然気合もはいりません）。

フルマラソンでの「35Kmの壁」も低血糖症に類似していますので、レース前やレース中の糖質補給（グリコーゲンローディング）が重要です。トップ選手の「スペシャルドリンク」は水分補給だけでなくこの目的が重要なのです。

疲れた時の「甘いもの」で元気になるのは誰でもが経験していることですが、長時間のスポーツ活動中にあまりにも純度の高い糖質（ショ糖やブドウ糖など）を摂取すると、一時的に血糖値を上げてはくれるのですがその後「血糖－インシュリン反応」を誘発して低血糖症に類似した反応を引き起こします。果糖やGI値（グリセリン指数といっていわば糖質純度を示す）の低い食品を、運動開始前から少しずつ摂取することをお勧めします。これは「35Kmの壁」のグリコーゲン枯渇を緩やかにするために重要で「もうダメ」状態で摂取し始めてはすでに手遅れなのです（運動中の水分補給と同じ事）。

45 専門的持久力？

ケガなどでトレーニングを中断したのち再開すると、全体的な練習時間は何とかこなせるのだがレースペースでの課題ができないことが良くあります。

これは「一般的持久力」と「専門的持久力」の違いとされています。

持久力の代表格は「最大酸素摂取量」といって1分間体重1Kg当たり何ccの酸素を取り入れられるのか・・・という「有酸素的能力」があります。これに対して血中乳酸濃度を指標とする「乳酸性作業閾値」は、もう少し出力レベルの高い「解糖系」も関与してくる概念で、フルマラソンのタイムとの関連が高いとされています。フルマラソンは最大酸素摂取量の80%、血中乳酸濃度4Mmol/dl以下で走り続けていますが、これ以上の強度（スピード）で走ると有限である解糖系を活発に使い始め、乳酸をエネルギーに変換するシステムが満杯になって乳酸濃度が上がって運動の継続が厳しくなり、最後まで続かずにペースダウンしてしまいます。

「一般的持久力」は有酸素的持久力の高さを反映しているのですが「専門的持久力」はこの「解糖系」を含んだ概念で、いわゆる「ここでスタミナが切れました・・・」と表現される筋グリコーゲンが減少した「スピード持久力の低下」と関連しています。

私たちがある程度以上の強度で運動を継続しているときは、複数の筋群を上手く組み合わせて対応しています。それぞれの筋には個別の「3×3システム」がありますので、解糖系と有酸素系を上手に組み合わせてエネルギー生産を行っているのです。「専門的持久力」のトレーニングが必要な理由は、この動きとエネルギーをつくり出すシステムの「再構成」が必要であり、かつエネルギー供給系の減少に対応できる複数の動作系（スキルモード）を準備することが求められているからです（疲れたら疲れたなりに動きを変えて対応する）。

2020.08.28

46 「ストライド走法」か「ピッチ走法」か？

2022 年 1 月 16 日の都道府県対抗女子駅伝で、只今注目の群馬県：不破聖衣選手が 4 Km 区間で 13 人抜きの大大会新記録を更新し「伸びやかなストライドで・・・」と表現されました。一方 2021 年 9 月 5 日東京パラリンピック女子マラソン・視覚障害の部で金メダルの道下美里選手は 1 分間 240 歩という驚異のハイピッチで走ります。2000 年シドニー五輪・マラソン金メダルの高橋尚子選手は 1 分間 209 歩のハイピッチ走法とされ、2004 年アテネ五輪金メダルの野口みずき選手は身長と同じ 150cm でストライド走法とされています。男子の谷口浩美選手は 1 分 224 歩のハイピッチ、大迫傑選手は 180cm のストライドです（日本陸連 HP：野口純正氏データより）。

では「ストライド」と「ピッチ」との関係はどうなっているのでしょうか？

疾走速度は歩幅（ストライド）と回転数（ピッチ）の掛け算で決まります。その「一歩ごとの速度の積み重ね＝タイム」が歩幅と回転数のどちらによってより強く影響されているのか（相関分析）を検討すると面白いことが分かります。山崎は全日本大学駅伝に出場するレベルの選手たちの 10000m 走における疾走速度とピッチとストライドの関係を分析し、8800m（後半）でスピードとピッチとの相関が全員高まること（決定係数 90%以上）を指摘しました。面白いことにこの現象は中間の 4800m ではあまり見られなかったことです。また、日本インカレ入賞レベルの選手ではストライドが選手中一番長かったにもかかわらずスピードとピッチとの相関が高く、ストライドの一番短かった他の選手ではスピードとストライドの相関の方が高かったことを報告しました（2013 年）。

つまりストライドが長いからといって単純に「ストライド走法」であるとかピッチが高いからといって単純に「ピッチ走法」であるということではなさそうなのです。これは短距離走でも同じことで、適正ストライドによる高いピッチの維持が「ベストタイム」を生み出すために重要であること、前半と中盤と後半でエネルギー供給系の変容（疲労感？）に応じてピッチとストライドの関係を変化させることが戦略として重要であることを意味します。おそらく不破聖衣選手や田中希美選手はこの「切り替え能力」が極めて高いのではないのでしょうか。また、「同じストライド×同じピッチ≒同じスピード」で走り続けることは脳の「中枢性抑制」を引き起こすことが考えられ、動作を変容させることによる「脱抑制」の発現を促して「セーチェノフの積極的休息」と同等のメカニズムを駆動しているのではないかと考えています。

山崎はフルマラソンのトレーニングとして「ハイブリッド 2 時間走」を提起しました（ランナーズ 2013 年 4 月号）。1 時間たったらストライドを短くしてピッチアップしてさらに 1 時間走り続けるトレーニングで、グリコーゲン枯渇で出力系が低下してもストライドを短くしてキック力への負担を減らして走り続ける練習方法です。自転車の登り坂でギアチェンジをしてペダル負荷（ストライド）を軽減して回転数（ケイデンス・ピッチ）を上げて速度を維持して登りきるイメージとなります。

どうやら走運動の原理は「ストライド」と「ピッチ」のコントロール能力の獲得がカギを握っているようなのです。

2022.01.17

47 「マイペース」は一定ではない？

中～低強度の速度で長時間走り続ける「ディスタンストレーニング」と緩急をつける「インターバルトレーニング」は長距離走の基本練習です。最近では筋で産生される「乳酸の再利用」にかかわってこのインターバルトレーニングの有効性が指摘されています。これは持久力の要求される他の競技にとっても重要な内容で、2018年にNHKで放映された「乳酸パワーで持久力アップ」ではサッカーのサンフレッチェ広島でのトレーニング改善効果が紹介されていました。

ニュージーランドの著名な長距離コーチ・故アーサー・リディアードは週100マイル(160Km)を基本的トレーニングとして位置付けていましたが、毎日24Km走るよりは36Kmと12Kmを組み合わせて走る方がトレーニング効果が高いこと、また、トレーニング効果があるため長期的には同じスピードでの反復はなく基礎スピードを徐々に上げ、有酸素能力のギリギリのレベルで2時間走り切ることの重要性を指摘します（「リディアードのランニング・バイブル」小松美冬訳、大修館書店、1993年）。

反復される筋力発揮では、労作間に完全な休止ではなく他の部位を動かすことでパフォーマンスがより改善するという有名な「セーチェノフの積極的休息」の概念があります。クレストフニコフは「長い単調な運動は中枢神経系に疲労の増大をもたらし、運動感覚は失われる。運動を交替したり、諸運動の相互関係をよくみて、正しい一貫性のある運動を選択することにより、大脳皮質における運動能力の高い水準を確保することができる」（クレストフニコフスポーツの生理学、不昧堂出版、1978年）と指摘しています。

どうやらランニングであっても「同じスピード＝同じストライド×同じピッチ」で走り続けることは中枢性抑制（脳での疲労現象）を引き起こすようです（長距離選手は「タレる」という表現を使う）。レース中の予想外のペースアップについていけないことは、私たちの自律神経（交感神経）の反応速度とも関係しているようで神経システム上交感神経系が作用して心拍数をあげるために数秒間を要することが指摘されています。一方「そろそろ来るぞ!」と予測をしていた場合には事前対応があるため反応できるようなのです。

単調に思えるランニング動作でも、レース中に腕をまわしたり、急に先頭に立ったり給水の際に瞬間的にピッチを上げたりすることで中枢性抑制を回避しているとも考えることができます。野球の前田健太投手が投球前に行う「マエケン体操」なども、投動作の反復により誘発される中枢性抑制を回避するための対策なのかもしれません。

また、私たちのもつ3つのエネルギー供給系と3種類の筋線維から構成される「3×3システム」を考えても、ハイパワー系（クレアチンリン酸系）と超速筋線維系とから構成されるマトリクス（HSF：右上）は中枢性抑制を受けやすいものと考えられます。自転車の速度は、ペダルの重さ（トルク）と回転数（ケイデンス）で決定されていますので、レース中の上り坂では「ギアチェンジ」をして回転数を上げてペダリング負荷を軽減し、解糖系と速筋系から構成されるマトリクス（MF：中中）に主役を移して速度を維持し、その間にHSFマトリクスの中枢性抑制を脱抑制して次のアタックに備えておくといった戦略が求められるようです。東京大学の八田秀雄先生らは、自転車レース中のケイデンスは乳酸性作業閾値で推移しているのではないかと仮説（日本運動生理学会、2015年）を示されています。

つまり「マイペース」を維持するということは「一定の状況の維持」を意味するものではなく、レースの展開や身体の運動エネルギーの残存状況に対応してピッチやストライド（ペダリング負荷）を変容させて好記録を目指すという高度な戦略を反映しているようなのです。

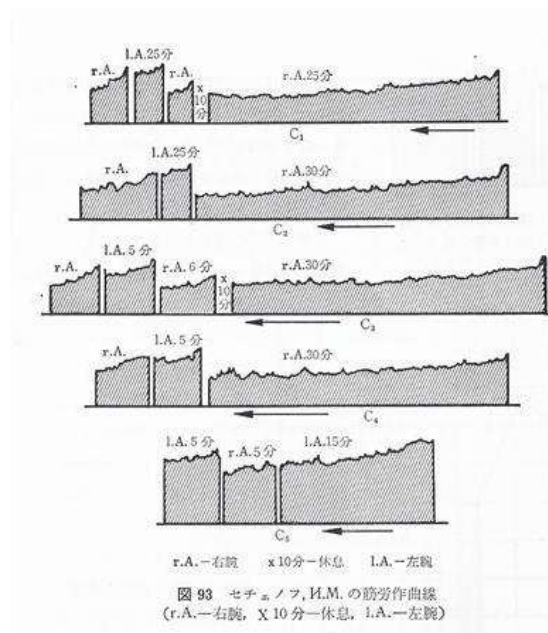
48 「積極的休息（アクティブレスト）」ということ

同じ動作を繰り返しているとパフォーマンスが低下してきます

この時に休憩をはさむのですが、ただ休んでいるのではなく「別の運動」を行うとパフォーマンスがより回復するという現象があります

これは 1930 年代に旧ソ連のセーチェノフ（パブロフの先生にあたるらしい）が提唱した「積極的休息（セーチェノフ現象ともいわれる？）」の概念です

図はクレストフニコフの「スポーツの生理学」（1978）で引用されたデータです



右腕での作業 10 分後に再び右腕を用いるよりは、左腕の作業をはさんだほうが回復状態が良いというデータです

クレストフニコフは「長い単調な運動は中枢神経系に疲労の増大をもたらし、運動感覚は失われる。運動を交替したり、諸運動の相互関係をよくみて、正しい一貫性のある運動を選択することにより、大脳皮質における運動能力の高い水準を確保することができる。」と述べています

これは、以前指摘した「筋の 3 × 3 システム」の図でいうと、「超瞬発系筋線維とハイ

パワー：クレアチンリン酸系の高出力システム」が「中枢性の抑制」を受けやすいということを示しています

私たちの実験でも、筋疲労で筋電図の速筋系成分が減少するのですが、ストレッチングやアイシング、他の筋での作業を実施するという事で、再び速筋系成分が回復することがわかっています

実は、「乳酸の再利用」のところでも指摘した「動作モードの変更によるパフォーマンスの維持」も、このメカニズムと類似したものではないかと考えています

ただ、この「積極的休息」の概念は、その後拡大解釈が拡がり「休息してまた同じことを続ける」よりも「他のことをやったほうが効率が良い」ということで、身体作業だけではなく精神作業にまで、あまり科学的根拠もなく拡大適用されてきているように思います

この概念はあくまでも「脳 - 神経系」と「身体系」との枠組みの中で論じられる現象であって、科学的に見えそうな「こじつけ」の乱用は厳に慎むべきだと思うのです

49 「巧みさ」を決めるものは？

ロシアの生理学者・ベルンシュタインの「デクステリティ 巧みさとその発達」（工藤和俊訳、金子書房、2003年）は、1940年代に執筆されたものの旧ソ連内での「パブロフ理論」に従わない「機械論」として批判され（ユダヤ人であることも関連している？）、1991年に至って初めて出版された名著です。特に「運動構築の水準」という概念は身体運動制御の自由度に関わる理論であるとともに、運動障害に対する理論的知見を示したものとして障がい者教育にかかわる人たちからは高く評価されてきました（ワイズマン：茂木俊彦訳、知恵遅れの子どもの運動機能と脳、ミネルヴァ出版、1978年）。一方1967年には「The coordination and regulation of movement」という著書が英訳・出版され、これはヨーロッパの運動の制御に関わる研究者の間では現在も極めて高く評価されています。

ベルンシュタインは、進化の歴史（系統発生史）から見て大脳基底核の「淡蒼球」など運動制御上の脳の古い部分から「脳の摩天楼」のように大脳皮質に至るまでA～Dの水準とその関与を例示しています。例えていえば、緊張のレベルAでは走姿勢の保持、筋関節のレベルBでは走動作、空間のレベルCでは陸上トラック上を走ること、行為のレベルDでは400mでベストタイムで走ること・・・と解釈できます。つまりそれぞれの水準が系統発生的な起源を持ちそれが再構築されて「巧みさ（デクステリティ）」を実現しているという理論です。

岐阜大学名誉教授の松波謙一先生は、熟練した運動における運動前野の働きが、動作補正に関わる小脳外側部との結合が強いことに加えて大脳基底核の歯状核や尾状核、被殻との連絡も強いことを指摘し、大脳－基底核－間脳・脳幹－脊髄とつながる「キュー（辮髪）」という概念を示唆されています（運動と脳、紀伊国屋書店、1986年）。また、ヒトとクジラの小脳を比較し、ヒトでは手指の運動に関わる小脳外側部が優位であるのに対してクジラでは体幹の運動に関わる小脳中間部外側が大きくなっていることをから進化のプロセスで求められた運動様式に対応して機能発達と再編が生じている可能性を示唆されました。

このことは系統発生的に古い神経システムであっても系統発生的に新しいシステムと連携して円滑な運動遂行を可能としていることがうかがわれ、「運動構築の水準」は決して機械論的な決定論ではなくヒトの運動の「背景調整どうしの調和を作る段階」で運動スキルの形成を実現しているようなのです。

「巧みさ」を実現するシステムは、大脳皮質運動野での運動経過を小脳や大脳基底核などがトレーニングの繰り返しの中で再編され、そのなかで緊急事態に対応する大脳基底核の「直感」システムが形成されているようなのです（続く）。

50 「動作モード」の変更で対応？

動きをつくり出すシステム		Type I	Type II a	Type II d/x
エネルギーをつくり出すシステム	ATP-PCr系	△	◎	◎
	解糖系	○	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

定本ら（1987年）の図を山崎が改変

「太腿四頭筋」は膝を伸ばす主要な筋肉で、その中の「外側広筋」は最大の筋肉です。そして外側広筋は「遅筋線維」と2種類の「速筋線維」から構成され、股関節と膝関節をまたいで同じ個所で骨につながって協働して働いています。垂直跳などの瞬間的運動では速筋系線維が、長距離ランニング

などの持久的運動では遅筋系線維が「主として」活躍します（当然他の筋肉も同時に活動していますが・・・）。

そしてその筋収縮のエネルギーを支えるのが3つのエネルギー供給系です。図の Type I は遅筋系線維、Type II a は速筋系線維、Type II d/x（ヒト：ネズミでは Type II b）は超速筋系線維で、ATP-PCr 系（ハイパワー系）、解糖系（ミドルパワー系）と有酸素系（ローパワー系）からなる「3 × 3 システム」として協働して機能しています。

例えば変速機付きのロードバイクで長い坂道を時速 25Km を維持したまま登っていくケースを考えてください。重いギアで「グイグイ」と登ってゆくと、Type II d/x 線維と ATP-PCr 系だけに頼る「高出力システム」だけが駆動されて坂の途中で力尽きてしまいます。そこで、ギアを軽くして回転数（ケイデンス）を上げる必要があります。ギアを軽くすればペダルは軽くなり Type II a の速筋系線維が参加できるようになります。さらに後半にはもっと回転数を上げれば遅筋系線維も参入できるかもしれません。そして「乳酸シャトル（八田）」を利用して筋グリコーゲンや乳酸をエネルギーに変換しながら坂道を登りきることができます。

つまり「動作モード」を巧みに変更することができれば乳酸を活用することが可能となります。例えば 10Km ロードレースで、ストライド任せでスピードを維持していけば破綻をきたしますので、あるところからストライドを抑えてピッチ走法に切り替えればベストタイムで走りきることが可能となります。ATP-PCr 系の「バッテリー残量」と解糖系の「ガソリン残量」と有酸素系の「ソーラーチャージレベル」のメーターを眺めながら、パワードライブモードやエコドライブモードなどを巧に切替えて最速タイムでのゴールを目指すメカニズムなのです。そしてどうやら 100m 走でも「オーバーストライドによるピッチの低下」が「結果としての速度低下」を引き起こしているようなのです。

51 脳が「疲れたことにしよう！」と・・・

私たちの運動パフォーマンスが低下することは「疲労」という概念でとらえられます。そして疲労には、①「末梢性疲労」という筋肉レベルでの収縮力の低下（例えば筋グリコーゲンが枯渇するレース後半では脚が重く感じて動きにくくなる・・・）と、②「中枢性疲労」という脳・神経系が関与した筋収縮力の低下（興奮剤などを使用したドーピングは禁止されています）、があります。

私たちの身体は脳・神経系が主導権を握って、筋肉などの身体系に命令をだしていると考えられていますが、最近は環境系と連動した身体系からの情報のフィードバックも重要であることがわかってきました（いわば「忖度」したり「抵抗」したり「是正」したりするようなもの？）

図は、矢部京之介先生の有名な「心理的限界」と「掛け声効果」に関するもので、300回指を動かし続けると黒丸のように筋力が低下してゆきまが、筋を直接電気刺激をする

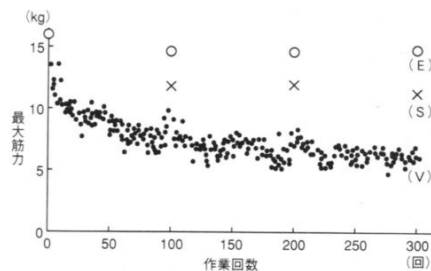


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界（猪飼・矢部、1971年）

○ (E)：電気刺激による最大筋力
× (S)：自発的なかけ声とともに発揮した意志による最大筋力
● (V)：意志による最大筋力

と筋力はほとんど低下していない（筋にはまだ収縮する能力が残っている）のです。

つまり「生理的限界（末梢性疲労）」に先行する「心理的限界（中枢性疲労）」ということで、トレーニングにより両者の差を縮めてゆけばパフォーマンスは向上するということになります（実はこのメカニズムは「安全限界設定装置」として私たちの身体を守っていてもいます）。

これは「中枢性疲労（抑制）」の「脱抑制効果」といわれるメカニズムですが、では「中枢性抑制」をコントロールする何らかの方法はあるのでしょうか？

るのでしょうか？

筋肉の収縮の特徴を電氣的に記録した信号を「筋電図（EMG）」といいます。コンピュータを用いてこの信号の性質を解析すると、1秒間に90回ほど収縮する「速筋性活動成分」と40回ほど収縮する「遅筋性活動成分」が混在していることがわかります。そして筋収縮力が低下しているときは「速筋性成分」が減少していることが分かっています。

この際に、ストレッチングやマッサージ、アイシングなどを行った後で同じ筋活動を行うと、何故か「速筋性成分」が復活してきます、つまり「脱抑制」がおこっているらしいのです（続く）

52 疲れた時はそれなりに・・・

よく「理想的なフォーム」は何ですか？と質問されます。

ブレーキのかかる「踵接地」よりは「フォアフット接地」が良いのですか？、ピッチ走法の方が良いのですか？、呼吸法は「吸-吸-吐」の3拍子が良いのですか？、走りのリズムは3拍子と4拍子のどちらが良いのですか？など多々あります。

ウサイン・ボルトの100m世界記録(9"58)時の速度曲線は70m以降じわじわと低下していますが、この時のランニングにかかわる筋の働きは「速度低下をもたらさないスキル」に対応して、トップスピードをなるべく低下させないような走り方に変更(適応)しているようなのです。実は20世紀までの100mの速度曲線は60mのトップスピード以降は低下(多分"オーバーストライドでの失速")していたのですが、21世紀に入ると60m地点でトップスピードになるようなレース展開では「ベストタイム」が出せない(それ以降の速度低下が大きすぎる)と判断し「レース戦略」を変えてきたようなのです。これはエネルギー供給系の変容(ハイパワー系と解糖系の比率)に応じてスキルを変容(適応)させ、結果的にベストタイムが更新できるようトレーニングをしているものと考えられます。

つまり「最高速度」を発揮することと「ベストタイム」を出すことは異質の問題だったようです。「元気な時ははつらつと」そして「疲れてきたらそれなりに」動作を変容させ「トータルとしてのベストタイムがでる」ように適応制御できるトレーニングのほうがより「リアリティ」が高いと考えられています。

「理想的なフォーム」は「エネルギー供給系のモード」に応じて複数存在するようで、特定のフォームに固執しては最終的に破綻をきたしベストタイムは生まれてこないようなのです。

下図はたびたび紹介している全体のイメージです。

現在考えているモデル

$$Y = \begin{bmatrix} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{bmatrix} + b \text{ (残差:その他の要因)}$$

パフォーマンスのマトリクスモデル(山崎:2011)

53 練習を繰り返せば上手になる？

何回練習してもなかなか上手にならない・・・そんな悩みをお持ちの方は多いと思います。また「子どもはどうしてあんなに簡単に出来るようになるの？」との疑問も多く寄せられます。

特に9歳から12歳までの子どもは「ゴールデンエイジ」とよばれ、神経系の発達や可塑性と骨格-筋の発達のバランスが良く「即座の習得」が可能と指摘されています（ただし±3年の発達差はあります）。

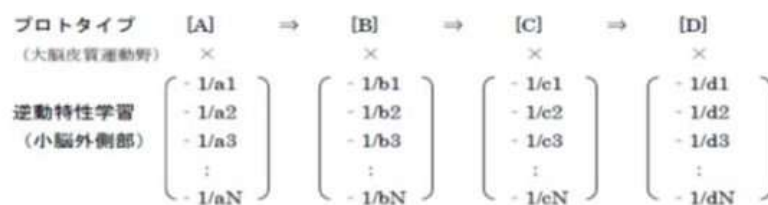
では大人はもう無理なのでしょうか？

私たちが運動を上手にできるようになるメカニズムには「小脳」が大きく関係しています。A:テイクバックからB:フォアワードスイング、C:インパクトからD:フォロースルーといった運動経過は「大脳皮質運動野」というところが運動指令を出します。一生懸命「素振り」をして練習すると誰でもある程度できるようになります。ところが、これを飛んでくるボールに合わせようとするとなかなか上手くいきません。卓球やテニスでラリー練習をしている時にナイスショットもありますがいつも会心のショットが打てるわけではありません。

フォアハンドショットを打つことは「プログラミング」、状況に応じて打ち分けることは「プランニング」と呼ばれ、脳の中で司っている部位が違うようなのです。「すごく綺麗なフォームでのミスショット！」というのはこのことと関連しています。

「小脳」のお仕事は、この一連の運動経過を「補正（負のフィードバックといいま

す）」しているようなのです（下図）。



フォアハンドショットの [A] [B] [C] [D] という

運動経過に対して、速いボールならテイクバック [A] を $[-1/a1]$ で補正、遅いボールなら $[-1/a5]$ で補正、通常のボールは $[-1/a3]$ で補正をします。そうすると常に $[-1]$ （ぴったんこ！）となります。

そしてこの小脳の補正能力は誰でも持っていて「繰り返して練習すればするほど向上する」と指摘されています。しかし個人差もあるようなので、練習ではラリーの速度を変えたりボールを変えたりラケットを変えたりして「逆動特性学習」を進めることができます。ワンパターンの反復練習がいつか破綻するのはこのことが関係しているようです。

また、インパクトに応じで適切にスイングを開始するのには「大脳基底核」という部位が関与しているようです（続く）。

54 「運動司令」と「運動イメージ」と「ミラーニューロン」

どうやら運動司令は「結果を予測して」発せられているようなのですが、では「何を手掛かり」にして予測しているのでしょうか？

「予想脳」の藤井直敬先生も「能動的推論」の乾・坂口両先生も、外界からの絶え間ない感覚情報が重要で、視覚や筋感覚などの「感度調整」をして予測の精度を上げていることを指摘します（藤井直敬、予想脳、2005年：乾敏郎・坂口豊、脳の大統一理論、2020年）。まさに「注意・集中」をして状況を把握することが重要ということのようです。

一方、実行する運動司令は各関節を「どの位動かすのか」という「関節トルク」（“グン”と蹴る”のか”ボン”と蹴るのかというイメージ）で発せられているようです（川人光男、運動軌道の形成、1986年）。

では「運動を実行するイメージ」はどのようなのでしょうか？

リゾラッティ先生らの「ミラーニューロン」（リゾラッティとシニガリア、ミラーニューロン、2020年）では、「目前で他人が動く視覚情報」が自分の動きを誘発する「模倣」が背景にあるようで、その意味では「人の振り見てわが振り直せ」なのですが、人の振り見て生ずる「運動イメージ」の実体は何なののでしょうか？

個人によって異なるとは思いますが、「一人称的イメージ」は「自分目線での自分の運動感覚」ですし「二人称的イメージ」は「あなたと私が一緒に動く運動感覚」ですし「三人称的イメージ」は「自分と関わりのない（わからない）運動感覚」があるように思います。世阿弥の有名な「離見の見」と「我見の見」もこれと関わっているように思われ、「我見の見」は自己満足の戒めとされていますが、「離見」と「我見」が揃って初めて熟達の境地に達するようにも思います。実はミラーニューロンには「自分が他人から真似されている」ことに反応する性質もあるようです。

「ミラーニューロン」による「模倣」で想起される実際の運動イメージは「自分目線の一人称または二人称」であり撮影された外的映像のような「他人目線の三人称」ではないように思うのです。

ただ、ヒトのミラーニューロンは「サルの猿真似」よりは少し高度な機能を持っているようで、ミラーリング時には休止してその後活動する「スーパーミラーニューロン」がある可能性（階層性を持っている）も指摘されています（イアコポーニ、ミラーニューロンの発見、2009年）。「形をまね」「動作をまね」「目的をまね」で、「見よう見真似」で対応しているうちに「わがものに置き換わる」メカニズムはまだ良く分かっていないようです。

2024.02.11

55 「見よう見真似で・・・」何とかできる？

私たちが、自分の経験したことのない運動をやってみようとするときは一体どうやって実行しているのでしょうか？

1990年代にイタリアのリゾラッティ先生らが発見した「ミラーニューロン」という脳の運動前野というところにある神経細胞があります。これは実験でサル自身が運動を実行する（目の前の餌をとって食べる）ときとサルの目前で実験者が食べ物（偶然ジェラードだったらしい）を食べるときのどちらにも反応する神経細胞で、見えた行為の方向や実験者の手の動きに影響されているようなのです（リゾラッティとシニガリア、ミラーニューロン、紀伊国屋書店、2023年）。

これは俗称「真似っこニューロン」と呼ばれているもので動物や人間の「模倣行動」に関係しているようで、子どもが物真似をしながら様々な行動を学習してゆく基礎とも考えられています。そして模倣にも段階があるようで、腕などの形を真似る階層から目標達成の動作レベルでの階層、そして動作の目標を模倣するという階層を経過するようなのです。

バドミントンに例えれば、ラケットの構え方や動かし方の模倣から、ハイクリアの動作の模倣を経て目標である相手コートに深く打ち返す、という段階を経るようです。

更に運動を模倣するだけではなく「予測」を含めて運動を要素に分解し、他の類似の運動とも区別ができてその運動が実行できるようになるようです（松波謙一、運動と脳、サイエンス社、2000年）。また、予想と結果の「ズレ」が少ないことは「報酬予測誤差ゼロ」という中脳からのドーパミン作動性の「報酬系」を活動させいわゆる「強化学習」を成立させてもいるようです（木村實、大脳基底核、NAP、2000年）。

まさに山本五十六の「やってみせ、言って聞かせて、させてみせ、ほめてやらねば、人は動かじ。」というお話を思い出しました。

実は人類進化のプロセスで、狩猟活動を行っていた170万年ほど前のホモ・エレクトス段階でのやりや石器の製作や訓練として行う投擲動作の反復などでもこの「ミラーニューロン」が関与して「強化学習」が背景にあったことも推察（妄想？）されます。祭祀での祈りや踊りもこの「模倣」が背景にあったとすれば宗教的行動や文化的行動や「遊び」の発生にも関連しているのかもしれません。

2023.10.28

56 「出来合いのもの」で対応する・・転移？

「模倣」ではなく「転移」と指摘される現象もあります。そもそも私たちの身体は骨や関節や筋肉はほぼ同じ（たまに骨や筋肉が退化している人もいます）ですので、プロポーションやパワーの違いはあるもののほぼ似たように動きます。

例えばテニスをずっとやっていた人が初めてバドミントンをやってみる（私はそうでした）と、最初はテニスの「サービス」や「スマッシュ」の動作で対応します。バドミントンのラケットはテニスに比べて軽い（300 g と 80 g）ので操作はし易いのですが「何か変？」です。そのうち「動作の変容（適応？）」が起こりバドミントンのラケットやシャトルの特性に合わせて何とか打てるようになります。現在のラケットは前後左右の「撓り」だけではなく「ねじれ」にも対応していますので「バックハンドのハイクリア」で瞬間的にラケットヘッドを「捻る」というテクニックも存在します。これはテニスラケットではできないテクニックなので「新たに習得」する必要があります。

私が授業でバドミントン部員と試合をしていたら「先生のコースなんか変です！」と言われました。どうやらテニスの配球のセンスでバドミントンをやっていたようなのです。そういえば卓球選手（ペンホルダーの速攻タイプやシェイクハンドのカットマン）やソフトテニス選手のバドミントンも「なんか変！」でした。

これは私の仮説の一つである「動作パターン浮動（MPD）」（運動野－小脳－視床－大脳基底核でのループ制御）とも関係しているのかもしれませんが。大脳の神経細胞（ニューロン）が 160 億個ほどであるのに対して小脳は 690 億個あるとされ多様な「動作補正」を支えています。そして「これだ！」という補正を大脳基底核が視床を介して ON にする（脱抑制といいます）メカニズムです。更にその補正が「予測通りうまく行く（補修予測誤差ゼロ）」と「中脳」から報酬に関わるドーパミンが大脳基底核線条体に放出され「強化学習」が進んでゆくようです。

当初は「出来合いのパーツ」を使って処理していくうちに「バージョンアップ」が進んでゆくようですが、では元々の「ピュアなスイング」はどうなってしまったのでしょうか。大学院の授業で、野球の投手とこの話をしていたら「スライダーを覚えたら今までのピュアなカーブが投げられなくなりました！」とのコメントがありました。

2023.10.31

57 私って ”器用じゃないの・・・！？”

かつて私の研究室の学生さんが「先生、女子の長距離水泳選手ってドンくさいんですよ・・・！？」と嘆いていました。どうやら器用に動くことが不得意なようなのです。これはランニングなどの長距離種目でも同じような傾向があるように考えられています（当然例外もあり）。

これは持久系競技の選手では運動に関わる筋の「遅筋系筋線維」が多いためすばやく動くことが不得意なのでは・・・と考えられてきました。確かに遅筋系筋線維は「神経支配比」という1本の運動神経が支配する筋線維数が多く微妙な調整は苦手です（速筋系筋線維はこの神経支配比が少なく微妙に調整することが可能です）。

1960年頃から研究されている筋生理学のデータでは、脚筋の速筋：遅筋の比率は、短距離選手では75%が速筋系であるのに対してマラソンランナーでは80%が遅筋系であることが知られています。ですから遅筋系筋線維の多い選手ではすばやく器用に動く速筋系筋線維が少ないので持久系競技種目を選択すると考えられてきました。

しかし、運動にかかわる全身の筋肉は数多く、速筋系筋線維と遅筋系筋線維の比率も筋によって異なりかつ個人差もあります。また100%遅筋系線維という筋肉はありません（例外的に「ヒラメ筋」という足首の関節だけを動かして体重を支え続けている筋だけは90%ほどが遅筋線維で個人差も少ない）。

また近年、ランニングでは発揮されたエネルギーを疾走速度に変換する「ランニング効率」の重要性が指摘され、ケニアの優れたランナーではランニング効率が数%高いこと（NHKスペシャル取材班、42.195Kmの科学、2013年、角川書店）と筋線維組成にかかわる遺伝子ACTN3の持久性競技に有利とされるTT型が少ないことも指摘されています（善家賢、金メダル遺伝子を探せ、2010年、角川書店）。つまり長距離ランニングの効率を維持するためには「器用な速筋群が必要」ということとなります。

東大の野崎大地先生は、股関節と膝関節の動きに関与する筋群がそれぞれの固有の運動方向だけではなく協同して運動の「至適方向」を決定していることを指摘しています（野崎大地、骨格筋の冗長性：体育の科学 第64巻11号、2014年）。つまり幾つかの筋群を共同させて動かすことでその時点で最適な動きを生み出しているようで、この際2種類ある速筋系筋線維のなかで大きな張力を短時間発揮するType II b（いわゆる ”スーパー速筋”）が至適運動方向決定に重要な役割を果たしているようなのです。質量のある下肢部を運動開始にあたって瞬間的に適切な運動方向にガイドすることはいわゆる「初動負荷理論（ワールドウィング・小山裕史先生）」にも通ずるものです。

どの筋にも速筋線維と遅筋線維は存在しているので短距離種目であれ長距離種目であれ「いかにうまく動かすのか」という「運動スキル」の発揮は重要です。実は持久系の種目ではトレーニングの大半を「一定の動き」で反復していますのでこの「冗長度」のトレーニング時間が相対的に少なくなり「私器用じゃないの・・・！？」という嘆きに繋がっているようなのです。

58 私は反応が遅い？

テニスのネットプレーで、相手の厳しいバッククロスにすばやく対応してボレーを決める・・・夢のようなプレーですが実際にはなかなかうまくいきません。

かつて錦織圭選手がジョコビッチ選手の強烈な逆クロスショットに対して、インパクト直前に絶妙のタイミングで反応動作を開始（0.37 秒前）している放映がありました。

「やはり一流プレーヤーは反応が速い！」と思いがちですが、単純な光刺激に対して反応を開始する「反応時間（Reaction Time）」は、0.3 秒程度であり個人差はありません。ところが陸上競技や水泳競技でのピストル音からスタートまでのリアクションタイムは結構個人差があります。何故なのでしょう？

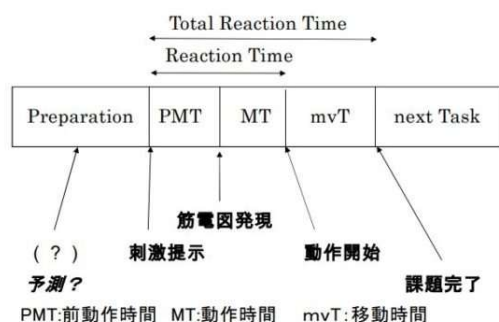
これは「反応時間」の構造（下図）に関連しています。光刺激が提示されると、網膜から視覚野へ信号が送られます。身体の方は「跳びあがる準備」はできていますので、視覚野からのシグナルに対応して運動野から「Go サイン」が脊髄を經由して該当筋に送られ筋収縮がおこります（PMT）。ところが筋が収縮をはじめても関節をまたいで動作が始まるまで（MT）には遅れがあります。「あ、分かってるけど身体が動かない！」状態で、特に体重の重い方や筋力の弱い方では多少反応時間が遅くなります。ところが「ヤマを張る（タイミングを「予測」する）」と反応時間は速くなります。が、陸上競技ではピストル音の 0.1 秒以内にスターティングブロックに大きな力をかけると、たとえ動いていなくともセンサーが反応して「フライング」で失格となります。

野球やテニスでは、投手のボールリリースやラケットのインパクト以前に適切な「予測」が可能です。これは「相手方ディスプレイ状況」から適切な情報を得て、錦織選手のように絶妙のタイミング（「不応期」といい動作を修正できない時間帯・・・あまり早めに動くと相手がショットを変えてくる）で反応します。まさに「経験の智慧」です。相手のスタンスやラケットの向き、それまでの確率など様々な状況を瞬時に分析して対応しているのです。卓球女子の伊藤美誠選手の「速攻ミマパンチ！」はこの事前情報を提供しない高度なテクニックです（フェイントでいう”ノーフェイク”と同じ）。

つまり「反応が遅い」のではなく「経験知が足りない」のです。また、トレーニングで

動作を速くする（スイング速度やステップ速度のパワーアップ）ことで、反応をおこしてから動作完了までの「移動時間（mvT）」を短縮して全体としての「反応動作時間（Total Reaction Time）」を速くすることができます。

反応時間の構成因子（相手も同じ）



2018/02/09

59 私、タイミングが悪いの・・・

日本の運動生理学の権威・故猪飼道夫先生は、運動を記録する筋電図（筋肉の活動を電氣的に記録したもの）を「spacing（どの筋を）」「timing（いつ）」「grading（どの位使うのか）」という3つの視点から検討することを示唆しました。

綺麗なフォーム（spacing）であってもタイミングが合わなければミスショットになりますし、必要以上に強く打てばコースアウトしてしまいます。ボール投げの経験の少ない人は、ボールをリリースするタイミングがわからないので「すっぽ抜け」たり「地面に投げつけたり」してしまいます。陸上競技の円盤投やハンマー投は、回転しながら適切な時点で投擲物をリリースしますが、失敗すると一流選手でも不本意な投擲になったりサイドネットに当てたりしてしまいます。

この「絶妙のタイミング」でリリース動作を開始するのに関連しているのが脳にある「大脳基底核」という部位らしいのです。

大脳基底核の病気で有名なのがドーパミンの不足で誘発される「パーキンソン病」で、それぞれの筋肉が統制が取れなくなり「勝手に動き出す」ので通常の動作遂行が困難になります。大脳基底核はその時の運動経過に「必要な回路」だけを活動させ、それ以外の回路を抑え込んでいる「コンダクター」のような存在で、オーケストラでいえば、指揮者がいなくなるので各パートが勝手に演奏を続けてしまい演奏として收拾がつかなくなるようなものです。ところが軽度のパーキンソン病の方では経験者はスキーが滑れるのです。これは斜面を滑り降りるという「緊急事態」が生じたため、脳内で代償性の機能が働いているようですがそのメカニズムはよくわかりません。

「今だ、イケー！」と絶妙のタイミングでバッティングやショットを開始することが重要で、動作自体を意識する「プログラミング」ではなく「プランニング」というジャンルに属する運動遂行機能です。しかし、タイミングの練習は言語化ができないのでなかなか難しく、「ズーッと待ってってポン！」「グーッと我慢してってパッ！」といった禅問答のような表現が登場してきます。

私たちが運動を遂行するときは「感覚的随意的運動」と「言語的意図的運動」との2つが存在します。通常の歩行の時は感覚的に遂行されて意識には上りませんが、路面が凍結して滑り出すと「慎重に慎重に！」とか「歩幅を狭くして！」といった言語的統制が発生します。ラリーがうまくいっている時は言葉は背景に隠れていますが、何らかのトラブルが生ずると「定位探求反射（おや何だ反射）」が発生して言語的確認が登場します。そして修正がうまくいくと言語は再び背景に隠れていきます。有名な「オノマトペ」はこの2つを連結しているもののようです。

タイミングの練習を実現するためにはある程度の運動経過（プログラミング）が出来上がっている必要があります。難しい課題ではなく余裕のある課題でタイミングをつかむ練習が重要で、強弱のアクセントの学習（grading）でも同様の練習方法が大事です。一度に3つすべては練習できないのです。

60 「運動能力」はあるのだけれど・・・

「運動能力」には自信はあるのだけれどボールゲームはいまいち・・・というケースは何を意味しているのでしょうか？

これは「運動能力」という概念があいまいな点に起因します。「筋力」や「持久力」といったいわゆる「体力」の概念も定義を明確にして使用しないと「何を現わしている」のかが不明確なのです。

かつてスピードスケート選手の体力測定で、日本代表のジュニア選手の「握力」が低かったのでコーチが「俺より筋力がないのか・・・」と握力の強さを示して見せたという笑い話があります。当然その時点で500mや1000mを滑ればジュニア日本代表の方が速いわけですから「握力」の測定に何か意味があるのか・・・ということになります。

自転車エルゴメーターを利用して測定される持久力の指標「最大酸素摂取量」も「ペダリング運動」のデータですので、長距離走と自転車ロードレース、長距離スケートやXCスキーとでは「運動形態」が違いますので意味するものも異なります。自転車競技選手の最大酸素摂取量の「絶対値」は高いのですが、長距離ランニングの場合は体重が影響しますので「体重当たりの最大酸素摂取量」(ml/kg/min)の方がランニングのパフォーマンスを反映することとなりますし、「乳酸性作業閾値」といって血中乳酸が4mMol/dl 濃度になる時のランニングスピードの指標の方が20Km走やフルマラソンでのパフォーマンスと相関が高いとのデータもあります。

競技種目別の体力要素の特徴を説明するために下図のようなレーダーチャートがよく用いられます。しかし問題は、例えば「筋持久力」をどうやって測定するのかという「測定方法」が実際の「運動形態」と対応してるのかということです。

「30秒間の最大腹筋運動(回数)」も筋持久力の指標とされていますが脚の筋力発揮の指標ではありません。ペダリング運動やステップ運動などの運動形態の類似した測定方法を採用することが重要で、それでもボールゲームなどの複雑な運動形態の反復がその競技で要求される「筋持久力」を代表できるかどうかは疑問です。

つまり「運動形態」と連動した「運動能力」が重要で、旧ソ連圏のトレーニング理論では「Bio-motor ability」という概念が用いられ、「一般的持久力」と「専門的持久力」、「一般的ジャンプ力」と「専門的ジャンプ力」といった区分が用いられていました。それに対応してトレーニングの「期分け(ピーキング)」の理論が提唱され、シーズン終了からの「移行期」に続く「準備期前半」では一般的能力の改善と向上、「準備期後半」では技術的課題と対応した専門的能力への収斂を経て「試合期」に移行するというシナリオです。

私たちの身体は大変複雑な構造をしていて「自由度」が高いので、幾つかの基本的運動形態(這・歩・走・跳・投・泳など)とその組み合わせで運動司令を出しているようです。つまり「走」という運動形態を構成する運動能力は、ゼロ発進のダッシュ、一定区間を高速で走るスプリント、長距離を相対的に速く走るランニング、ウルトラマラソンや24時間走など長時間での完走を目指すものなど様々なものが求められます。この「基本的運動形態」とそれを支える「一般的運動能力」と「専門的運動能力」との関係にある程度明確にしたうえでトレーニングに取り組むことが重要なようなのです。

61 “オノマトペ” って最近よく聞くのですが

けん玉などで新しい技を覚えようとするときに、動きをまねながら「ズ〜〜ット、パ！」などというタイミングでやってみると上手くいくことがあります。

このような擬音的・擬態的表現を「オノマトペ」といいますが、動作とかかわって「コツ」を伝える可能性が指摘されています。

かつて日本の運動生理学の権威・猪飼道夫先生が、筋肉の働きを記録する筋電図の分析について「どうやるか（Spacing）」「どのくらいやるか（Grading）」「いつやるか（Timing）」という3次元的視点から考えることを提唱しました。フォーム（型）を覚えたらそれをいつ（適時性）、どの位（アクセント）やるのかを考えることで、極めれば「型より入りて型より出づる」という世阿弥の境地にもつながるのかもしれませんが。

また、私たちが動作を起こすときの脳の運動野からの「運動司令」は、「関節角度」ではなく「関節トルク」という力の入れ方にかかわっていることも指摘されています（ATR:川人光男先生）。つまり「肘を180度から70度に曲げる」という指令ではなく「ギュン！と曲げるの」とか「ギュ〜ン！と曲げる」とかいった速度と力に関係した成分との関係が強いとされています。

また、骨や筋肉の解剖学的な特性には共通性ととも「個人差」と「経験差」もありますので、あのコーチよりこのコーチの表現や例えの方が自分には理解しやすい・・・ということも起こります。「○●のようにやってください」とい指示されても「○●の経験」がなければ動きのイメージがつかめないのです。

「せーの、ホイ」ではなく「せーの、で、ホイ」のタイミングの方がやり易いということも起こりますので、実はオノマトペでの動作の表現も「共通性」と「個別性」を持っているようなのです。

2019.06.27

62 「無意識のうちに対応して・・・」は可能なのですか？

トップクラスのテニス選手の試合を見ていると高速でラリーを続けていながらも何らかの「仕掛け」をしてポイントを取っているように見えます。練習では何種類かのハードで正確なラリーを延々と続けられるのですから、どこかでそれを崩すことがなければゲームは動きません。明確なのはネットインなどの「イレギュラーショット」ですが、これは適切な打点を判断してロビングや短いショットで返したりする「つなぎのショット」で対応しているようです。

通常のラリーはフォアハンドもバックハンドも「ストレート」「ロングクロス」「ショートクロス」と「フォア逆クロス」を含めてほぼ7通りくらいの選択肢があるように思います。しかし対人状況下でゲームは進行しているのですから、相手のポジショニングと相手のショットに応じて瞬時に適切なストロークを「選択」しているようで、相手を追い込んで何本目かに「エースショット」でポイントを奪います。

この際、「どのコースにどのショットを打つか」という「プランニング」には大脳基底核と前頭連合野が関与しており、フォアハンドのショートクロス動作を選択する「プログラミング」には動作を発現する大脳皮質運動野が、相手のショットに応じてショートクロスを補正するには小脳外側部がかかわっており、ショートクロスを打ち始めるタイミングの決定にも大脳基底核が関与していると考えられています。

つまり前頭連合野・運動野・小脳・大脳基底核が連携して働いているようで、ナイスショットが決まった時には大脳基底核の近傍の大脳辺縁系の記憶に関わる海馬と情動に関わる扁桃体という部位も働いていて、ドーパミン作動性の「褒賞系」システムも連動します（まさに“褒めてやらねば人は動かじ”）。

このようにショットが成功している際には言語系は背景に隠れているのですが、ミスが続くと「あれ？」という定位＝探求反射（おや－何だ反射）が発生して言語的修正が必要となります（当然現行動作系は中止する）。そして修正が成功すると再び言語系は背景に退きます。「無意識のうちに対応している」のは感覚系内での処理が可能な範囲のようなのです（シューティングゲームでしゃべりながら動作をしていては間に合わないように・・・）。

ところが状況が予想外に急変した時にはもう少し速い対応があるようです。ネットプレーに出たときに相手のショットが予想外に強かった時に「あっ、アウトする」とグリップを緩めたボレーで対応するようなケースです（本当に調節しているかどうかはわかりませんが）。これは、膝蓋腱反射などの「脊髄反射」よりももう少し長くて「意識的調整」よりは短い「長ループ反射（M2）」が背景にあるようで、感覚器のから信号が脊髄を上行して感覚野・運動野経由で下行して筋に戻ってくるようで、システムのリセット効果ではないかともいわれています（松波、1986）。

人類の進化を考えても、私たちが現在のような豊かな言語系を獲得したのは「つい最近の出来事」なので、身体運動の実現は通常は「視覚情報」や「筋感覚情報」や「平衡感覚情報」などを手掛かりに「感覚依存性運動（運動前野が関与する）」で「無意識のうちに対応して」いるようなのです。

63 「直感」のメカニズムってあるのですか？

2022 年 NHK：ヒューマニエンス “天才のひらめき” が放映され、将棋のプロ棋士の「直感」について理化学研究所の田中啓治先生が MRI（核磁気共鳴で活動状況を解析する方法）で分析した結果を紹介し、アマチュアと比較してプロ棋士では「大脳基底核」が働いているとのデータを示されました。同じく出演していたプロ棋士の田中寅彦 9 段は「アマチュアは “算数” を解いている感じだが私たちは “音楽・芸術” をやっている感じで上手くいくと “楽しい” 」との大変印象的なコメントを残されています。

ある局面で、プロ棋士が「いくつか浮かぶ打ち手」のうちから直感的に最善手を選ぶ際（1 秒間）に働いているようで、アマチュアの方でも「詰将棋」で徹底的にトレーニングすると大脳基底核が働きだすとの田中啓治先生のデータも紹介されました。いくつかの打ち手が脳皮質で企画されて大脳基底核にも送られ「咄嗟の（的確な？）判断」の際には大脳基底核が働いているようなのです。

大脳基底核の機能は「ほとんどの回路を抑制して必要な回路のみを脱抑制する」とされていて、障がいを受けるとパーキンソン病やハッチンソン舞蹈病が発症します。身体が本人の意志とかかわりなく勝手に震えたり動いたりするもので、ディレクターとしての大脳基底核が機能不全になりそれぞれの部位が勝手気ままに動こうとするようなものとされます。また、円盤投やハンマー投でターン中の絶妙のタイミングで投擲物をリリースすることやバッティングでの「今だ！」という絶妙のタイミングでスイングを開始することにもかかわっているようです。

大脳基底核はいわば「古い脳」で、オタマジャクシのようなかたちで、大脳皮質のように通常意識（言語）にのぼってくることははないのです。玉川大学の丹治順先生は、大脳基底核は、大脳皮質から多くの入力を受けていてそのほとんどを「止めて」いて、必要な時にある回路（最善の打ち手も？）のみをリリースしていると指摘します（脳と運動、共立出版、1999）。

これは私たち人類の進化のプロセスを考えても、危機的状況下でのストレス反応に対応し、非常スイッチの扁桃体が記憶に関わる海馬の受容体にストレスホルモンを送って「適切な記憶」を形成することが知られており、この際大脳基底核は「戦うか逃げるか（Fight or Flight）」の咄嗟の行動選択に重要な役割を果たしているようなのです。

ひるがえって考えると、スポーツの場面でも「咄嗟の動作選択」が行われているようにも思いますが、ではそのメカニズムは同じなのでしょうか？（続く）

2022.02.10

64 「直感的予測」と「ヤマをかけること」は違うのですか？

テニスなどのボールゲームでは、相手のショットに対して「素早く」かつ「的確に」対応する必要があります。ネットプレーでは相手方のショットのコースを予測して「絶妙のタイミング」でボレーを決めます。

このように刺激に対して素早く動くことを「反応時間」といいますが、反応時間には「不応期」という概念があって、反応の方向を決めてしまうとそれをリセットするのに時間がかかりますので、相手のショットが始まってからプレーの位置に移動する必要がありますのです。しかし、あまりに早いタイミングで移動を始めてしまうと相手がショットのコースを変えてきます。有名な 2014 年全米オープンでの錦織 Vs ジョコビッチのプレーでは、ジョコビッチがショットを打つ 0.37 秒前（その時点でジョコビッチがショットの方向を変えることは不可）に動き出しライジングでクロスショットを打ってポイントを取るシーンがあります（NHK 放映、0.37 秒の駆け引き〜錦織圭 知られざる予測能力、2015 年放映）。

いわゆる「ヤマをかける」という表現は「ヤマが外れる」ことも想定しての“ギャンブル”というニュアンスがあるのですが、「直感的予測」はプレイのストーリーの中での何らかの手掛かりをもとに反応を起こしているようで、おそらく幾つかある選択肢（大脳皮質運動野と小脳外側部から構成されるいわば反応動作のレパートリー）の中からその条件下での最適な「解」を実行しているものと思われます。この時に重要な役割を果たしているのが「大脳基底核」のようで「予測した選択肢との誤差」が少ない（成功する）とドーパミン作動性の「報酬系」が作動して「強化学習」が成立するようなのです。ヤマが外れると「やっぱり違ったか・・・！」という反応が起こるのですが「直感的予測」では「あと一歩足りなかった・・・！」という「誤差が大きかった」という反応になるようです。

一方、卓球のような高速で連続したラリーの中での場合にはもう少し「即時的」な対応もしているようです。オランダ自由大学のブーツマ先生は、トップクラスの卓球選手のスマッシュ実験のデータから、ボールとの接触直前にラケットの面が減速・変化しており、飛来するボールの「知覚情報」に応じて「制御」している可能性を示唆しています（佐々木正人、アフォーダンスー新しい認知の理論、岩波書店、1994 年）。

2023.07.10

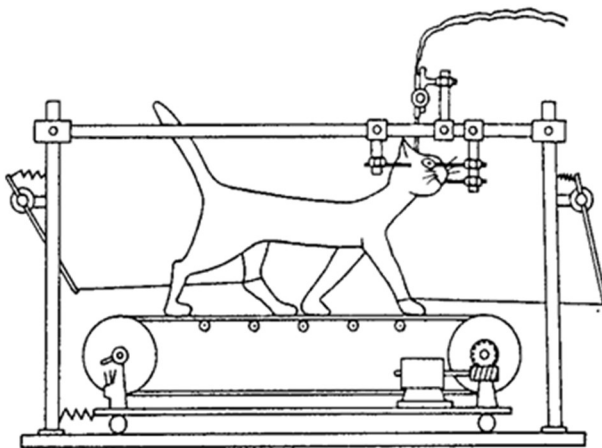
65 事前準備をしている？

私たちの「動きをつくり出すシステム」は大変巧妙にできていて膨大な数の骨と関節と筋を協調させています。なぜこのようなことが可能なのでしょうか？

有名なロシアの生理学者ベルンシュタイン先生は、1940年代に「動作構築のレベル」という理論を示しました。進化の系統性を反映していて、緊張と姿勢のレベル A、筋-関節のリンク（シナジー）のレベル B、空間のレベル C、行為のレベル D、と高度化してゆきます。レベル A は「背景緊張（トニック）」として姿勢制御を支え、レベル B は、レベル A での姿勢を基本に筋と関節の連動によって「動作」として「相動性（フェイジック）」に動かします。レベル C は、これらの動作を空間状況に応じて適切に「配置して終了させる」ものであり、最後のレベル D は、これらの連鎖を繋げて課題解決や達成を行う一連の「行為」です。例えて言えば、良い姿勢（A）を保った疾走動作（B）で 400 m（C）を走ろうとしても、適切なペース配分を支える複数の動作選択をする連鎖がなければ良いタイム（D）は生まれないのです。このレベル A と B はおそらく「言語的意図」は関与せず（無意識）、レベル C と D では「言語的意図」が関わっているようです。

1960 年代後半ロシアのシック先生たちは「首なし猫」を使った移動実験の結果を発表し世界に衝撃を与えました。脳を幾つかのレベルで切断すると、ランニングベルトの上で胴体を固定された猫が歩いたり走ったりするのです。そしてベルトの速度が速くなると歩行からギャロップに動作が変わり、速度が遅くなるとギャロップから歩行に戻り、かつ動作が変わる速度はそれぞれ異なっているのです。

歩行や走行の制御は、CPG（中枢動作発現機構）で決まっていますが、状況に応じて私たちの重たい身体の動作様式を変える戦略（基本的には保守的・・・ギリギリまで速く歩き、ギリギリまでゆっくり走る）が異なるようで、私たちの身体システムは大変柔軟にできているようです。私たちの身体は「あまりにも複雑にできている」ので何らかの「事前準備」システムがないと上手く動いてはくれないようなのです。



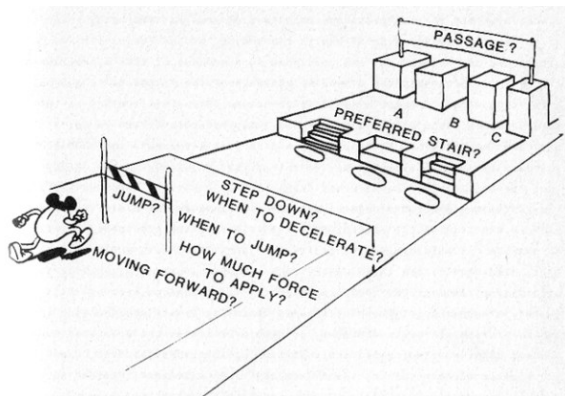
（図は、伊藤正男、脳の設計図、中央公論社、1980 より）

66 その場しのぎも・・・

私たちの大変複雑な身体運動システムはいくつかのレベルの事前準備がないと上手く動いてくれないのですが、状況の急変にも対応しなくてははいけません（場合によってはその場しのぎも・・・）。

下図は 1984 年に Turvey と Kugler が「知覚と行動への生態学的アプローチ」という論文の中の多様な解釈のできる興味深い図です。移動する動物のその時点での状況によって視覚から得られる情報の意味するものが異なり、スピードがあれば「登れる階段」も躓いたりすると「登れない階段」になります。

テニスで、相手の打ったボールが「ネットイン」したときに “これは拾える” とか “これは無理だ” と判断する根拠は、自分のダッシュ力や足の疲労感、更には次のプレーの展開予想など様々な要因が関与します。相手の立ち位置とかかわって、“拾えそうなので取りあえず深い球を返して次に備える？” “いやネット際へドロップショットで返してエースをとる” “返球したところで相手にまた攻められる” などなどの様々な対応可能性があり、「その場しのぎ」といっても瞬時に様々な対応をしているようです。



東京大学の多賀巖太郎先生は、「神経系」と「身体系」と「環境系」の相互作用のなかで、トップ・ダウンとボトム・アップの反復により身体システムが再編されるとして、「神経系」が運動司令を出し「身体系」が司令を受け「環境系」が外乱をもたらす、という固定的な枠組みではないことを指摘します。そして、個々のシステムの「一番遅い系」に拘束される “スレイビング” から、全体が共同して新しいシステムを生み出す “シナジェティックス” の重要性を指摘しています。

このメカニズムには大脳皮質の「運動野」だけではなく「感覚野」と「前頭連合野」「小脳」と「大脳基底核」「運動神経」と「感覚神経」「脊髄」「筋」「用具」「環境情報」など多くの要因を含んでおり、練習を反復することによりこれらの要因が「エネルギーをつくり出すシステム」も改善しながら「新秩序」をもたらしてくれるようなのです。

2020.06.28

67 運動司令は「結果を予測」して発っせられている？

私たちが運動に熟練してくると、どうやら結果を予想して動作パターンを選択して実行しているようです。

例えば雪の路面や登山道を走る時は、身体の移動状況や視覚情報など様々な入力情報から転倒しないように接地や体重移動を調整しているようです。

京都大学の乾敏郎先生と電気通信大学の坂口豊先生は「すべての脳機能は推論である」とするフリストン先生（英）の「自由エネルギー原理」を解説し、知覚や認知、運動といった機能が統一的に説明できることを指摘しました（乾敏郎・坂口豊、脳の大統一理論、岩波書店、2020年）。つまり「知覚」の仕組みは、中枢【信念】の予測信号と感覚受容器からの感覚信号とが「予測誤差信号」を生成し、それが中枢に対して【信念の更新】を要求し、実際の結果と予測との誤差【サプライズ】が小さくなるように働くシステムがあるようなのです。

理化学研究所の藤井直敬先生も「予想脳（Predicting Brains）」という概念で、自己をとりまく環境を逐次理解し、外界と整合性のある行動をとることにより「次に生ずる未来を常に予測して、絶えず流入してくる自動処理された外界環境情報と自己が予想した未来とを比較することが、脳の本質的な機能である」と指摘します（藤井直敬、予想脳、岩波書店、2005年）。

確かに、スキーで不整地斜面を滑ったりスラロームで難しいセッティングをクリアしたりする時には、予想と結果とを常に比較していると思うのです。その意味で、運動に「熟練する」ということはこのメカニズムが使えるようになっており、運動がうまく実施できないのは「経験知」が足りないからなのかもしれません。運動が上手くいかないのは「何が起こるかわからない・・・！」という不安感が存在するため、別の場面での経験知を適用して何とか乗り切るのもこのような脳のメカニズムと関連しているのかもしれない。

2024.01.03

68 「反射」も事前に調整されている？

私たちの複雑な身体は膨大な「自由度（勝手に動く）」を持っています。これを上手く動かすための「運動中枢」は4つの部位が関与しているとされます。最も複雑なのが「大脳皮質」でこれを状況に応じて複雑に補正しているものが「小脳」です。繰り返し学習により精度が向上するメカニズムです。さらに最適な補正をのみを実行して他の補正を強力に抑制しているものが「大脳基底核」で、もっとも単純なものが「脊髄」での反射であるとされています（伊藤正男、脳の設計図、中央公論社、1980年）。

ところがこの単純と思われる「反射」自体も事前に予測され調整されているようなのです。

実は以前から筋張力を感知する「筋紡錘」というセンサーが事前に感度を調整している「 α - γ 連関」というメカニズムの存在が指摘されていました。肘を直角に保持した掌に500gの重りを乗せるとちょっと下がってすぐ直角に戻ります。これは「伸張反射」といわれるものです。ところが「黒い重り」が500gで「白い重り」が200gのトライアルを繰り返すと「白い重り」への伸長反射量を事前に抑制します。面白いことに200gの「黒い重り」を乗せた場合には反射量が増大するのです。つまり事前の視覚的な情報からセンサー感度を調整しているようなのです。

従来は「結果の知識（KR）」といって実行した結果から経過を修正する（色と重量の関係を理解する）と考えられていたのですが、2006年アメリカのフリストン先生が「能動的推論」と「自由エネルギー原理」という概念から、知覚と運動は「脳の推論するシステム」に支えられていることを提唱しました。そして「予測信号」と「予測誤差信号」の差（サプライズ）が小さくなるように感覚器の精度を事前調整していることを指摘しました（乾敏郎・坂口豊、脳の大統一理論、岩波書店、2020年）。日本でもデジタルハリウッド大学の藤井直敬先生が「予想脳」という概念から、「フレーム」と「テンプレート」という枠組みでの脳内の情報処理過程のシステムを指摘しています（藤井直敬、予想脳、岩波書店、2005年）。

2025.01.23

69 走り方を切り替える??

駅伝シーズンですが、TV解説者の方が「○○選手走りを切り替えましたね・・・」とか「前半速く入りすぎたので後半が心配です・・・」といったコメントが良く放映されます。確かに「上り坂」と「下り坂」では走り方も違うだろうし、前半速く入りすぎると何となくオーバーペースかな?とも感じてしまいます。しかし、月 1000Km 以上走り、様々な条件下で練習を繰り返しているランナーがそう簡単に「ペースを間違える」とは考えられません。特に監督車が後ろについてその都度マイクで指示を出している状況（ルール上は「助力」として違反なのですが・・・箱根駅伝の伝統?・・・）でペースを間違えるとは考えにくいのです。

ただ 10000m のベスト記録のわりに 20Km を超える区間でのパフォーマンスが異なることはよくあります。持久力の指標である「最大酸素摂取量（体重 1Kg 当たり 1 分間に酸素をどのくらい体内に取り込める能力）」は年間あまり変動しないといわれていますがレースでのパフォーマンスは大きく変動します。そこで「コンディションが良くなかったのでは?」とのコメントが登場しますが本当にそうなのでしょうか?

実は、運動生理学的には 20Km や 42Km のパフォーマンスは「最大酸素摂取量」よりも「血中乳酸濃度（乳酸性作業閾値）」との関連が高いことも指摘されています。

運動時のエネルギー生産系には 3 種類あることはよく知られています。細胞内のミトコンドリアに関連する「有酸素系」はいわば「ソーラーパネル」に、筋グリコーゲンを分解する「解糖系」は「ガソリンエンジン」に、燐酸を瞬間的に利用する「クレアチン燐酸系」は「バッテリー」に例えられ、いわば「ハイブリッドエンジン」となっています。ソーラーパネルの上限である最大酸素摂取量を越えた速度で運動するためにはガソリンエンジンが必要となり、筋グリコーゲンを分解する「乳酸」が生じます。ソーラーパネルだけで走っていてはレースになりませんのでガソリンエンジンも「残量メーター」と睨めっこをしながら動員することとなります。そこでこの「乳酸性作業閾値」が注目されるのです。

そして、この 3 つのエネルギー供給系の比率はレースの進捗状況により変動してきます。有酸素系は定常状態で頭打ちですが解糖系は減少してきますので「ランニング効率」を変える必要が出てきます。この際にクレアチンリン酸系と連動した変動する「ハイブリッドエンジン」が走り方（ドライビングテクニック）を切り替えている本命のようなのです。

2025.01.05

70 状況に応じて切り替えている??

私たちが運動を継続的に実施するためのエネルギー供給系は、いわば「ソーラーパネル」の有酸素系と「ガソリンエンジン」の解糖系と「バッテリー駆動」のクレアチンリン酸系の3種類の「ハイブリッド供給構造」を持っています。一方、動きを作り出す筋システムは、持続性の強い「遅筋系」とそこそこの出力を持つ「速筋系」と瞬間的に大きな力を発揮する「超速筋系」の3種類があります。つまり3つの「エネルギーを生み出すシステム」と3つの「動きを作り出すシステム」から構成される「3×3システム」となっています。また遅筋系筋線維も「ソーラーパネル」が主要なものの3つのエネルギー供給系があり速筋系筋線維も「ガソリンエンジン」が主要なもののやはり3つのエネルギー供給系があります。

—しかも私たちの身体の構造と機能は複雑なので、複数の「拮抗筋」と「協働筋」が関連して収縮する「マルチ3×3システム」として存在しているのです。ですから「運動指令」は個々の筋を動かすものではなく複数の筋群を連動させる「動作（基本的運動形態といいます）」として発せられており、ATRの川人光男先生は、動作と力に関わる「関節トルク」という性質を持っていることを指摘します。つまり「軽く叩け」とか「グンと引け」といった性質を持っているようなのです。

—ですから100m走と10000m走では、同じ「走る動作」であっても使っている「3×3モード」が異なることとなります。まさにエネルギー供給状況と動作モードに応じて「切り替えを」実施しています。さらに、山崎（2015）は、10000mレース中の疾走動作の解析をおこない、2000m地点と4800m地点と8800m地点ではほぼ同一の疾走速度であっても「スピード」と「ストライド」と「ピッチ」の相関関係が異なっており、8800m地点ではスピードとピッチの相関が高くなり、また膝関節を固定気味にして走っていることを報告し、まさに状況に応じて切り替えている「適応制御」の可能性を指摘しました。

2025.01.06



71 ランニング時も「結果を予想して」走っている？

私は週5日ほど走っているのですが、走り出す前に「何となく」シューズを選びます（薄底や厚底など数種類）。また、W-upを兼ねて1Km7分ほどのペースで走り出すのですが、1.5Km地点でその日のペースが「何となく」決まります。そのまま7分のことでもあれば6分30秒に上げる場合もあります。

私はC社製の加速度計（モーションセンサー）を利用して、ストライド・ピッチ・接地時間や接地のタイミング・減速量・下肢のバネ係数などを250m単位で記録しています。面白いのは、同じ感覚（例えば7分ピッチ182歩/分）で走っているつもりなのですが250m毎に見てみるとかなり変動しているのです。路面状況も違えばその日の体調も前半－後半－後半で違うので当たり前といえは当たり前なのですが「結果が7分182歩/分となるように予想して」走っているようなのです。

おそらくレース中であっても「自分の現在の状態と後半のコンディション」などを予測してランニングスキル（ここからはピッチ走法を意識するとか・・・）を決定しているようです。「予想通り」であれば「結果との誤差（"サプライズ"といいます）」が少なくなり「ドーパミン報酬系」が働くと考えられています。一方あまり良い結果が予想されないときは「それなりに」対応して「纏めている」ものと思われれます。

レースでも、スタートしてから数キロ経過し「なんとなく今日は行けそう・・・」との予感がして、レース中盤からストライドを抑えてピッチを上げてペースアップをし、そのことが心理的高揚感（"よ～し、このままいければ久しぶりのベストタイムが出る"・・・このプロセスはエネルギー供給系でのグリコーゲン動員力も高まります）を伴って達成感と充実感と幸福感を感じながらゴールすることができるのだと思います。

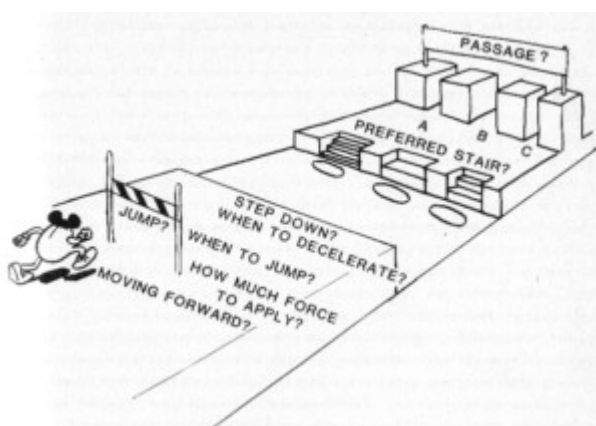
この「予測」と「経過」と「結果」の誤差が少なくなることは「経験知」の積み重ねで改善して行くようで、マラソンの川内優輝選手の異例のレース出場頻度が高いこともトレーニングと割り切れれば納得できるような気がします。

また「集団走」をしていると集団なりの固有のリズムが生まれてくるようで「ミラーニューロンシステム」が働いているのかもしれませんが。「他者との情動の共有」も生じますので他者を知覚－理解する能力に関わる集団性や社会的スキルも生ずるようです（リゾラッティ、2020年）。ですから、実際のレース中ではそのリズムが自分のリズムと合わない判断すると集団から離れたりもします。実は「同じストライド×同じピッチ＝同じスピード」で走り続けているといわゆる「中枢性抑制」がかかりパフォーマンスが低下する可能性（山崎、2015年）があるので、給水時に一瞬ペースアップしたり集団から離れたりするケースもあるようです。

72 「最適解」は一つではない？

植田文也先生の「エコロジカル・アプローチ」では、スキルの指導における伝統的アプローチとしての「定型化」を否定します。そして「制約主導アプローチ」として、個人制約・タスク制約・環境制約の3種類の学習課題の有効性を指摘します。個人制約はスキルに影響を与える身体的能力、タスク制約は用具やボールサイズや重量（サッカーボールかフットサルボールかなど）、環境制約はサーフェス（土か芝か体育館かなど）やゲームスタイル（南米型か欧州型かなど）と関連して影響を与えます。サッカーの3対3で行われるスモールサイドゲームである「フニーニョ」などが「制約主導アプローチ」の一例として紹介されています。そしてブラジルにおける「ストリートサッカー」こそが自然な制約主導アプローチの典型であるとし、さらに「構造的練習」に対する「非構造的遊び」としてのストリートアクティビティである「パルクール（もともとはフランスでの歩兵訓練メソッドとして発案された）」も推奨しています。

これは「自己組織（化）」と「バリエビリティ」に関わる運動経過の獲得は「融通の利かない定型化」としてではなく神経系－身体系－環境系のトップダウンとボトムアップの反復という枠組みの中でダイナミックに形成されることを意味します。私の提唱する「ダイナミックステレオタイプ（力動的常同性）」のモデルも、運動野での動作のプロトタイプ（原型）が小脳の690億個のニューロンにより多様な補正を受け大脳基底核の働きにより「最適な補正」を選択－実現するとするもので、最適な補正を「生起」させる要因は「外的環境の変動」と「三つのエネルギー供給系のモード変容」によることを指摘しています。つまり運動経過の中での「最適解」は一つではないということとなり、リゾラッティ先生のミラーニューロンによる「模倣」やフリストン先生の「能動的推論」という、結果と経過を常に予想し修正するプロセスである「知覚－運動カップリング」が存在するようなのです。



73 滑っても転ばない・・・？

タイトルはスキーのお話ではなく雪道ランニングのお話です。2021 年は元旦から新潟は雪景色で「雪道ランニング」となっています。今年はあちこちで積雪が多いのでランナーの皆さんは苦勞をしていることと思います。

積雪のほとんどない地域では、数センチの積雪があるとあちこちで転倒をして怪我をしたとの報道がなされます。ところが積雪地域ではそのような話はあまり聞きません。私たち積雪地で暮らすランナーは「何事もなかった」ようにランニングを実施しています。私も 7 分以下で通常より 15～20 秒遅い程度で走っています。「経験の差」といってしまえばそれまでなのですが、この背景にはどんなメカニズムがあるのでしょうか？

転倒するということは私たちの生体システムに致命的なダメージを与えますので、通常転倒を防ぐため「立ち直り反射（"おっとっと" と踏みかえる）」などの転倒予防システムが働きます。高齢者のサルコペニア（筋萎縮症）などでは大腿の筋力低下などで支え切れずに転倒に至るケースもあります。

ところが筋力低下が疑われないケースであっても、積雪地域以外の方の雪道での歩行やランニング中の転倒が多く報告されています。

私たちの姿勢制御システムは大変上手くできていて、赤ちゃんはお母さんのお腹の中から行っていた「原始歩行」を 1 歳ほどで「凍結」して直立姿勢の制御を獲得します。そしてその後歩行パターンが再び登場して直立二足歩行が可能となります（東大・多賀厳太郎先生）。まさに「這えば立て、立てば歩めの親心！」なのです。「直立姿勢を維持したまま移動する」という矛盾したシステムの実現は「歩行ロボット」の完成に至るまでの長い長い開発プロセスに象徴的で、H 社のアシモ君は全く別のコンセプトを導入することで開発されたようです。

では、滑りやすい路面での歩行やランニングでは、どのようなメカニズムが転倒を予防しているのでしょうか。

経験的には、足関節の回外（踵を横に向ける動き）に關与する「腓骨筋群」の筋肉痛が生じ、これはクロスカントリースキー実施後でも起こります。筋肉痛が起こることとは腓骨筋群が伸ばされながら力を発揮するという「伸張性収縮（筋肉痛の誘因）」が起こっているということです。ズルっと滑って足関節が内転（踵が内側に向く動き）すると転んでしまいますので、腓骨筋群が内転で引っ張られると脊髄反射が起こり 0.1 秒以下で腓骨筋を収縮させて足関節の回外動作が始まりますが、内転状態が継続しているので腓骨筋群は伸ばされながら力を発揮して何とか足首の角度を保持して転倒を避けようとしします。

また生態学的心理学で指摘される視覚性運動制御に重要な「みえ（"滑りそうな路面"とか"沈みそうな雪面"とか"滑らない路面"など）」の存在も重要で、これらは経験と結合した事前情報として転倒予防システムに何らかの貢獻をしているようです。

74 テントウ虫ではなくて転倒無視・・・！

滑りやすい雪道ランニングでも転ばない雪国ランナーの転倒予防システムの存在は、ひょっとして高齢者の転倒予防のヒントになるかもしれません。

足関節での回内－回外動作の制御では極めて短時間でバランスを修正します。これは脊髄でリターンする伸張反射によって無意識的に実行されているようです。また路面状況の視覚的情報から「あ、ここは滑りそうだ・・・」という警戒システムも事前に作動しています。

筋肉内には筋紡錘という張力センサーが存在して動作の状況を中枢に送ります。そして筋肉を収縮させるアルファ運動神経とともに筋紡錘を緊張させて感度アップさせる（時には感度ダウンも）ガンマ運動神経という二重システムが存在しています。細かい外乱に対して張力センサーの感度アップ（ガンマバイアスといいます）を行っていればわずかな変異も感知して対応することができます。また、脊髄全体の興奮性を変化させ信号の伝導速度を改善するメカニズムも持っています（H 反射という手法で測定します）。つまり経験的にも滑りやすく外乱の予想される視覚的状况下では中枢性の「転倒アラートシステム」が作動しているようなのです。

また外乱の予想される路面では、踵接地（ヒールストライク）傾向が強いほど滑りやすくなりますので、ストライドを抑えてフラット気味の接地に変容させます。また足関節だけでは対応できない場合もあるので膝関節での補正もしているようで、それでも対応しきれないような大きな外乱には上半身や腕を動かしてバランスを維持しているようです。

卓球でイレギュラーするボールのリターン処理の実験をしたときに、全身がフリーの状況では打点を遅らせて返球しているのですが、体幹を椅子に固定した場合には急激に片足を振り上げたり反対の手を動かしてバランスをとっているという大変面白い対応がみられました。これらの対応はいずれも 0.1 秒以内に起こりますので言語的に対応しているとは間に合わないのですが、私たちの身体システムは経験知によってさまざまな外乱への短時間での対応が可能となっているようです。

転倒予防は「予期せぬ外乱」には簡単には対応できないのですが、視覚的情報などによってある程度予測できる状況下では「アラートシステム」が発現します。そして身体の各部位で、対応可能な姿勢制御システムを「活性化」しておくことが重要で、そのためには安定した状況下だけではなく外乱も起こる状況下での経験を積むことが重要です。登山やハイキング、クロスカントリー走や山道でのトレイルランなどの実施でいわゆる「経験知」を高める（これには小脳での動作補正機能が関与する）ことが求められているようです。

2021.01.04

75 「超絶技法養成ギブス！？」登場・・

2025 年 3 月の朝日新聞で「ピアニストの限界突破法を開発 ロボットで高速指使い、30 分で上達」との記事が掲載されました。

開発者はソニー研究所の古屋晋一さんらのチームです。漫画・巨人の星の「大リーグボール養成ギブス」とは全く異なる方法で、手袋のように指に装着して電気刺激により高速運指を可能として運動感覚を改善する方法で、8 歳から 18 年間ピアノ練習を続けてきた人たちに改善効果があったとするものです。



この電気刺激により自分の意志（随意運動）では実現できない速さの運指技法を獲得・改善する方法はある意味で大変合理的なものと言えます。さらに反対側の運指技法も改善されることも報告されています。かつての動作解析の研究では、ピアノの運指では小指や薬指側の引き上げ加速度の違いが著しいとの指摘もありました。

「大リーグボール養成ギブス」はバネの力で抵抗を加えて筋力改善を図ろうというイメージでしたが、それでは腕を「振り上げる力」の改善であって「振り下ろす動作」を改善するものではありません。実はトレーニング負荷の運動方向の設定は大変重要なもので、筋トレで「最大筋力発揮」を課題とすると「最低動作速度」を誘発してしまいます。有名な小山裕史先生の「初動負荷理論」もこの動作の方向性と出力レベルに着目したものです（小山裕史、奇跡のトレーニング、講談社、2004 年）。

東京大学名誉教授の小林寛道先生は「認知動作型スプリントトレーニングマシン」を開発されています。ランニングの動作をシミュレーションした機器を用いて動作改善を図るもので、11 秒台の選手が 10 秒台で走れるようになったことなどを報告されています。その他にも「アニマルウォーキングマシン」や「投動作肩関節改善マシーン」などなどユニークな機器を開発発表されています（小林寛道、ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造、杏林書院、2001 年）。オランダのボッシュ先生は「アジリティトレーニング」や「ストレングストレーニング」でも、「生体」「課題」「環境」の相互作用の制約性に基づく運動学習・運動制御理論の重要性を指摘されています（ボッシュ、アジリティトレーニング、大修館書店、2024 年）。

0 歳から 100 歳までのスポーツ

76 子どものスポーツ実施は？

「最近の子ども」は、過度な競争環境下での運動不足と精神的ストレスの増加などの健康上の問題を抱えています。

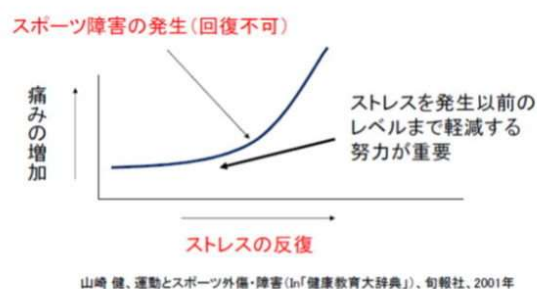
かつては、学校帰りに河原やお寺の境内、神社などの「秘密基地」で「みちくさ」ができたのですが、最近は学校の広域統合でのスクールバス導入や不審者への対応などから、なかなか運動遊びができる環境がなくなってきています。

そこでスイミングやサッカーなどのスクール通いが盛んになり、またトップクラスの選手を目指す「早期教育」ということで子どものスポーツ活動が注目されてきています。

ここで問題になるのが「勝利至上主義」に代表される「スポーツの歪み」の弊害です。勝つことをすべての前提に、子どもにも指導者にも「管理主義」が横行し、フェアプレイやリスペクトといったスポーツ本来の重要な価値観が置き去りにされるのです。テニスのジュニア大会のセルフジャッジのシーンで、コーチが「相手のオンラインショット（最高のショット）は”アウト”とジャッジしろ！」という信じがたい指示を出した例があると聞きます。最近の大学アメリカンフットボール部の事件も、この「勝利至上主義」と「管理主義」が根底にあります。

子どもの心とからだにとっての大きな問題は、勝つためのハードトレーニングと称して、オーバートレーニングによるスポーツ障害を招いてしまうことです。スポーツで輝いていた子どもたちが、指導者の無知と無理でスポーツ障害を発症して大好きなスポーツができなくなる・・・これはとても重大な「子どもの権利侵害」です。

スポーツトレーニングは一種のストレスですので一定のレベルを超えると障害を発症します。



図はスポーツ障害の発症をモデル化したもので、例えば練習の「強度」「時間」「頻度（週何回練習するか）」の三要素を考慮すればスポーツ障害は予防できるのです。つまり「トレーニング計画の妥当性」こそが最も重要で、指導者の根拠のない経験や勘、その日の気分などに依存しては

効果的なトレーニングはできず、子どもの心とからだに大きな問題を残してしまいます。また、練習後のストレッチなどの身体のケアもとても重要ですが、練習を終えてすぐ塾に行ったりして整理運動（逆の順では準備運動も）ができなかったり、練習後の栄養摂取が不適切であることも問題です。

また、子どもの発達段階には 10 歳までの「神経系」、11～14 歳までの「持久系」そして 15 歳以降の「パワー系」といった発達順序があり、かつ個人個人の発達段階に最大 ±3 年の違いがあることも指摘されています。つまり「発達段階の推定」が非常に重要になってくるのです。

77 “鉄は熱いうちに・・・” 打ってもいいのかな～？

「発達段階の推定」は子どものスポーツを考えるうえで大変重要な概念です。誕生日からの暦年齢と生物学的年齢に±3年のずれがあるとすれば、中学1年生では、発達段階が小学校5年生から中学校3年生に相当する子どもたちがいることになります。男の子では小学校5年生段階から遅筋系線維の発達が始まり、ある程度の筋力もついてきてスポーツらしい動作の獲得が可能となってきます。

しかし、身長急成長も始まるため、骨は成長軟骨の成長により長くなりかつ筋の伸長が追い付かないため関節可動域の低下もまねきます。また骨格－筋の構造上、成長軟骨の近くに筋が付着していますのでいわゆる「成長痛」をまねきやすくなっているのです。

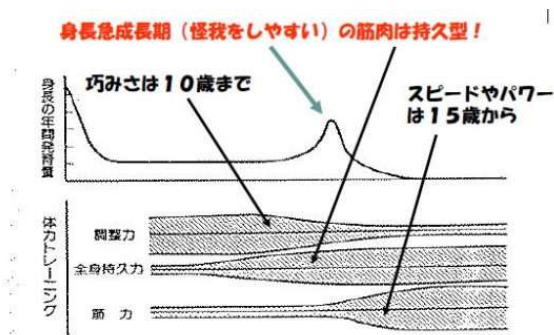
筋力がついてスポーツ動作ができるようになり、かつ持久的な筋の性質なので繰り返し練習に適しているのですが、骨格－筋の構造上スポーツ障害も発症し易いという大変複雑な段階にあるのです。

「鉄は熱いうちに打て」と例えられますが、打ち方の工夫も必要で、熱いうちに大きな衝撃で打つとスポーツ障害を発症するリスクも高いのです。また、子どもは「楽しい取り組み」でないと「糖動員性」という活動エネルギーを生み出す機能が活性化しません。大人は苦しい課題でも意義を理解してエネルギーを生産できるのですが子どもは楽しくないと活動エネルギー不足になってしまいます。

スピード＆パワー系の発達は、身長急成長が過ぎた高校生頃から始まります。これは大変合理的なことで、身長急成長期にスピード＆パワー系が発達すると自分の身体を自分で壊してしまうのです。

「臨界期（Critical Period）」という概念があります。これは特定の機能が発達するときにそれに必要な環境を準備しないと後からでは「手遅れ」となるという考え方です。小学校4年生までは「動きづくり」、小学校高学年から中学校期はその動きを繰り返す「持久性づくり」、そして高校生からは本格的な「スピード＆パワーづくり」というトレーニングカリキュラムが求められているのです。そして「発達段階の推定」という視点から、暦年齢と生物学的年齢を考えてゆくことが重要です。

特に身長急成長期の把握はスポーツ障害の予防に重要な意義を持ちます。毎月身長を測定して成長曲線を描くことはとても大切なことなのです。



（図 青木純一郎、発育期における適切なトレーニングとは、臨床スポーツ医学、1988 年を山崎が加筆）

2018.06.06

78 「タレント発掘」ということ・・・

2020年の東京オリンピック・パラリンピックにはすでに間に合いませんが「タレント発掘」は重要です。

では「タレント（≡才能）」であるかないかはどのように判定するのでしょうか？旧東ドイツでは、国家的規模での社会主義建設の課題としてスポーツが取り組まれ、国民の5人に1人が体操・スポーツ連盟に加盟し、子どもたちは全国大会（スパルタキアード）への学校の予選会を含めると300万人が大会に参加していました。各地には伝統のある「スポーツクラブ」があり、優れた能力を持つ子どもたちはそのクラブのスポーツ学校で専門的なトレーニングを行っていました（1987年、NHK放映：金メダルへの道）。

当然それだけの多くの子どもたちの競技成績や発育発達段階に関するデータが蓄積されていることから、生物学的年齢の指標としての「最終身長」の推定には体格、プロポーション、手足の周囲径などの63項目の測定が行われていました（現在の身長と最終身長との差が判定の基準であったようです）。例えば、15歳で素晴らしい成績を残していても、発達段階が18歳であれば将来的可能性は低くスポーツ学校からの退学を言い渡されるシステムです（クラブでのスポーツ活動は継続できた模様です）。しかしそれだけのシステムであっても、あるスポーツ学校では100名の入学者のうち60名が退学し内48名は将来性に疑問があるとの理由だったとのことで、タレント発掘の難しさがよくわかります。

日本では各競技団体も取り組んでいますが、福岡県教育委員会では、小中学生を対象にタレント発掘事業（福岡から世界へ！）に取り組み、4万7千人から60名を選抜し、適性検査と複数種目実施（経験）の結果から高校入学時に特定のスポーツ拠点校への入学を決定させるというシステムを実施しています（2014年、NHK放映：15歳の決断）。

現在では運動能力に関連する「遺伝子検査」が話題となっています（2014年、NHK放映：金メダル遺伝子を探れ）。

例えば筋の収縮特性にかかわるACTN3遺伝子検査では、瞬発型（RR）と持久型（XX）及び中間型が特定され、瞬発型ではスピード&パワー系種目が有利、持久型では長距離系種目が有利、中間型では「球技」に向いていると判定されます。日本でも検査ビジネスがあり、1万円ほどで結果が送付されてきますが、問題は「予測妥当性」ということだと思います。

北京五輪400mRの銅メダリスト朝原選手の別研究所での詳細な検査結果が紹介され、10の遺伝子の11の発現型（ジャンプ力やスプリント能力など）で0～2点評価の22点満点で18点という高い評価でしたが、走幅跳で8m19の記録を持つにもかかわらず「ジャンプ力」に関する遺伝子（NR3C1）評価が0点なのです。どうやらこの遺伝子は「垂直跳」などの「ゼロ～Max.タイプ」の動作に関連しているようで、朝原選手も「自分は垂直跳は全くダメなんです」とコメントしています。つまり「ジャンプ力」という遺伝子も「垂直跳型」と助走を伴う「起こし回転型」では動作の性質が異なるので「ジャンプ力のタレント性の予測」は難しいということです（アキレス腱の長さも大きく関係します）。

タレント発掘は、発達段階の推定と運動への身体適性（遺伝的なものとその年齢ごとの発現型・・・スピード&パワー系の発達が明らかになるのは15歳以降となること）など様々な要因がかかわるので一筋縄ではいかないようです。エプスタインは「ACTN3遺伝子の結果で予測できることは、リオ五輪の100m決勝に残れないのは誰かということだ」と述べています（エプスタイン：川俣訳、スポーツ遺伝子は勝者を決めるのか、早川書房、2014年）。

79 子どものランニングと心拍数の不思議な関係！

ここ3年ほど共同で、子どものランニング（1000～2000m）中の心拍数を検討しています。一昨年の宮城と東京と兵庫の小学6年生の調査では、心拍数が200拍／分を超える子どももいてビックリしました。時計型心拍計なので測定誤差かとも思ったのですが140拍／分程度の子どものもいるのでデータは正確なようです。面白いのはランニング速度（ラップタイム）と心拍数の関係が大人のように相関関係がない点です。大人であれば、ランニング速度に応じて心拍数が上昇するのですが、100m40秒以上の子どもでは多少心拍数が少ないように見えますが統計的な差はありません。どうやら子どもの負荷－心拍応答特性は大人とは異なっているようです（下図）。

昨年の岐阜の中学生の調査では、やはり心拍数が200拍／分を超える子どもが多くいましたが、一方陸上部で長距離トレーニングを行っている子どもでは170～180拍／分でそれなりに速いタイムで走っているのです。

ランニングを継続するとエネルギーを作り出したり乳酸を処理したりするために「酸素」が必要となり「心拍出量」が増大します。「心拍出量＝1回拍出量×心拍数」という関係が成立しますので、1回拍出量と心拍数はともに上昇し始め、1回拍出量が頭打ち（一定）になって心拍数は上昇し続けるというメカニズムでランニングを継続します。ところが2時間走など長期間の運動を継続していると、後半のペースは変わらないのに心拍数がじわじわと上昇し始めます。これはカルディオ・ヴァスキュラー・ドリフト（心血管変動）と呼ばれる現象で、発汗により血液濃度が高くなる（粘性抵抗が増える）と1回拍出量を減らして心拍数を上昇させて心臓への負担を減らしているようなのです。

つまり私たちの身体は大変良くできていて、心拍数だけではなく1回拍出量とも連動して運動を継続しているようです。また心拍数は自律神経系の支配も受けていますので「酸素需要量」だけではなく「緊張状態」や「準備状態」も反映します。スタート前の心拍数の高まり（ドキドキ状態）はこのメカニズムを反映しているのです。

運動経験の少ない子ども（多分大人も）の場合には、この「心拍出量＝1回拍出×心拍数」という関係が上手く成立せず、心拍数のみの上昇や1回拍出量の上昇が上手くいかない（いわゆる“空ぶかし状態”）のではないかと考えていますが、まだ結論は出ていません。

2022.10.05

80 ベテラン選手活躍の背景は？

最近様々な競技でベテラン選手の活躍が話題となります。また、トップクラスの選手だけではなくマスターズ競技などでも日本記録や世界記録が更新され続けています。

一番の要因は「競技を続けられる環境」が整ったことだと思います。かつては高校や大学を卒業すると仕事との両立（特にチームスポーツなど）がなかなかできず、一部の選手を除いて「引退が当然」という雰囲気でしたし試合のできる条件も整っていませんでした（この点でスポーツ連盟のスポーツ祭典は先進的でした）。また、競技を続けている選手が少なかったのでトレーニングやコーチングのノウハウも蓄積されていませんでした。

もう一つの要因は、スポーツ医科学やトレーニング科学の進歩とその適用範囲の拡大があります。これはスポーツを実施する年齢層の拡大にも対応したものです。年齢を重ねれば「機能低下（退化）」は免れません。しかし、どの程度低下するのかは実はよく解っていなかったのです（やったことのある選手が少なかったのでデータがなかった）。身体的コンディションがある程度維持できていれば、ベテラン選手は経験が豊富ですので当然有利になります。

また、ベテランのトップアスリートは、監督・コーチやゲームアナリスト、トレーナーや管理栄養士といった「スタッフ集団」を組織しています。当然財政的裏付けがなくでは集団を維持できません。国立スポーツ科学センタ（JISS）や国立トレーニングセンター（NTC）では、これらを競技団体（FS）と連携して支援していますが、一般のベテランスポーツマンでは支援を受けることができません。それでも、ある程度の経済的負担はありますが、医師やトレーナー、トレーニング施設の個人的利用ができるようになったこと（それなりのノウハウも蓄積されている）はかつては考えられなかったことです。

その一方で、ベテランになってもスポーツを実施できる人とそうでない人との「格差」の存在も深刻な問題です。「貧困」には、経済的・時間的・社会的・文化的の4つの「貧困」があることも指摘されています。本来この問題の解決こそが最も重要なことなのだと思います。（続く）

2018.08.11

81 マスターズ競技と年齢別記録

陸上競技や水泳競技のマスターズ競技では5歳ごとの年代区分があり、例えばM50クラスでは、50歳の方から54歳の方までが該当します。身体的能力は年齢とともに低下しますので当然50歳の方が「有利」です。しかし、陸上競技の年齢別記録を細かく見ていくと必ずしも節目の年（50歳、55歳、60歳など）に記録が樹立されているわけではありません。

運動生理学的には、速筋系筋線維のほうが遅筋系筋線維よりは加齢による機能低下が大きいとされているので、短距離・跳躍系よりは長距離系の種目のほうが記録低下は緩やかなのではないかと考えられています。しかし、最近の運動や健康に関わる遺伝子研究の進歩により、速筋系筋線維の加齢性萎縮が遅かったりトレーニングによる筋再生能力の高い遺伝子を持っている人がいたりして大きな個人差もあるようです。例えば30歳代でそれほど優れた記録ではなくとも、記録低下が緩やかであれば60歳代や70歳代でトップクラスのランキング入りができます。

マスターズ女子100mの世界記録は、別格・オットー選手がW35で10秒74、W40で11秒09、W45で11秒34、W50で11秒67、と驚異的記録を樹立しています。オットー選手はずっとトレーニングを継続していたことは知られているのですが、筋線維の遺伝子タイプ（ACTN3遺伝子など）は不明です。五輪や世界選手権でずっと金メダルが取れず、「ブロンズ・コレクター」といわれていましたが、58歳になる現在は大会には出場していない模様で、W55の100mのデータがありません。

またマスターズ選手では、トレーニング内容（強度×時間×頻度）とスポーツ障害との関係も指摘されていて、過度なトレーニングで運動器の損傷や炎症などをまねき「リタイア」してしまうケースもありますし、手術によりリハビリテーションを経て復帰する例もみられます。オーバートレーニングやスポーツ障害の発症を防ぐことは、スポーツ医学の対象ですので、科学的で原則的なトレーニング実施はマスターズ選手ほど重要な要因となりますが、まだデータ例が少なくまた個人差も大きいのでよくわかっていない部分も多いのです。ただ、陸上競技や水泳競技では「記録」という比較的明確な指標があるので、自分の目標やトレーニング内容を設定しやすく「自己実現性」という達成感（こころの健康の指標）は大きいのかもしれません。

2018.08.16

82 市民スポーツマンのパフォーマンスは？

五輪やパラリンピックなどのトップアスリートのパフォーマンスはまさに「心・技・体」の一体化した素晴らしいものとされています。またスポーツ心理学を中心に「フロー」や「ゾーン」といった特殊な心理状態の存在も話題となっています。関西大学の志岐幸子先生は「感性的体験」との関連を指摘し、その現象がスポーツを行っている当事者のベストパフォーマンスを生むことに貢献するものであること。さらに、その間や直後、当事者は幸福感に満たされていることを指摘しています（2013）。旧東欧圏では1960年代から「運動習熟」という概念からの「特殊な意識状態」の存在が指摘され（プーニ：実践スポーツ心理、不昧堂、1967）、山崎は随意運動における「感性的認識」と「理性的認識」との相互関係からパブロフの指摘した第一信号系と第二信号系による運動制御の二重構造モデルを提起し（1984）、さらに実際の運動遂行時には、運動習熟の形成はエネルギー供給系の変容と対応して「調和」を生みだすことを指摘しています（2015）。

つまり「無意識的（非言語的）」に高度な運動遂行状態が生ずることは、決して「動作の自動化」のみに留まるものではなく、筋疲労の進行に象徴されるエネルギー供給系の変動（減少）にも適切に対応しているようなのです。

トップアスリートは、日々のトレーニングの継続により高度のスキル獲得を進めるとともにそのスキルを身体や外部の状況に応じて変容させながら実際の試合の場面でも実現できるように「リアリティ」を求めて努力をしているようで、これはフィギュアスケートの演技後半で、同じ「4回転技」であってもより高く評価されることに象徴的なことです。

では、私たち市民スポーツマンやマスターズ選手ではこのようなことは起こらないのでしょうか？

私たちは当然100mを9秒台で走ったり4回転4回ひねりを実現するような身体能力は持ち合わせていないのですが、自己の能力の限界内で運動を実施することは可能です。山崎らが小学生の短距離疾走動作のトレーニング効果について、小学生はストライドがスタートからどんどん伸びていって「失速」すること、4週間のスプリント改善ドリルの実施によりストライドが抑えられてピッチが向上し、結果として40m走のパフォーマンスが改善されることを報告しました（1998）。実は1991年東京での陸上世界選手権100m決勝のデータでも、最後逆転されたバレル選手はオーバーストライドで減速したのに対しルイス選手はストライドを抑えてピッチを維持して世界新記録を樹立したことが報告されており「絶対値」は異なるものの類似したメカニズムであることが分かりました。

ですから市民スポーツマンであっても、それなりのトレーニングを積むことができれば、ゲーム後半の疲労の進行にも「チェンジ・オブ・ペース」などで適切に対応して「上々のパフォーマンス」を実現することは可能だと思います。単純なロードレースであっても、中盤からストライドを抑えてピッチを上げてペースアップをし、そのことが心理的高揚感（“よ～し、このままいけば久しぶりのベストタイムが出る”・・・このプロセスはエネルギー供給系でのグリコーゲン動員力も高まります）を伴って達成感と充実感と幸福感を感じながらゴールすることはできるのだと思います。私たちでも適切なトレーニングさえ実行できれば「心・技・体」の一体化は「それなりに」実現可能だと思うのです。

83 “筋膜リリース”って何ですか？

時々テレビやネットで“筋膜リリース”が話題になります。

整形外科や接骨院でも治療や施術をしてくれますし、専用の器具（でこぼこのあるパイプやマッサージ機）もネット上で市販されています。

筋膜は、筋繊維の集合体である全身のそれぞれの筋を束ねて区分している強靱なコラーゲンの「結合組織（サラミソーセージの外側のセロハンみたいなものをイメージしてください）」です。

この筋膜が“シワシワ”したり隣の筋膜と癒着したようになっていると、筋の動きが悪くなるのでコリがでたり可動範囲が狭くなったりする・・・ということで、その“シワシワ”や癒着を解消しようというのが治療の原理です。

TVでは生理食塩水などの該当部位への注射が紹介されますが、生体侵襲なのでお医者さんしか措置ができません。そこで、ストレッチングや器具を使って様々な方法でトライすることとなります。

毎日動かしている上腕二頭筋（力こぶ）などで筋膜の癒着が起きたという話はあまり聞きません。長時間のデスクワークやスマホの使用により同じ姿勢を続けていると肩（僧帽筋）や背中（広背筋）などで発症するようです。ラケットスポーツではあんなに激しく使用しても「肩こり」が起こらない・・・筋肉痛は起こりますが・・・のはよく動かしているからです。

ただ、「痛みを感じる（痛覚）」というのは大変に複雑な現象で、損傷した部位を保護して回復をはかるために炎症や痛みが生じますが、局所麻酔や鎮痛剤などでは痛みをあまり感じなくなります（ただし運動感覚も“あやふや”になるので高度なテクニックは発揮できません）。また「こり」と「痛み」はメカニズムが異なり、その時点での可動範囲を超えて動かそうとすると痛みが生じます。

ストレッチングは筋の緊張による短縮（こり：残存トーンズといわれます）をゆっくりとした伸展で刺激を与えたり、拮抗筋を利用して反対方向に収縮させること（PNF：固有受容性神経筋促通法といいます）でこの短縮を改善する方法です。何らかの方法で「動かす」ことを持続して適度な刺激を与えていれば筋の残存トーンズを軽減したり、筋膜の癒着を改善したりすることは可能なようです。特に可動範囲や筋緊張の「左右差」の改善は、スポーツ障害の予防にとって重要です（続く）。

84 "EMS"って何ですか

EMS（Electro Muscle Stimulation）は、低周波電流で筋肉を刺激して収縮させる器具のことです。○◎パルスとか✕▲ニクスとかいう名前の低周波肩こり治療器も同じ原理です。電気刺激で強制的に筋を収縮させるのですが、比較的遅い周期（周波数）で刺激を繰り返します。速い周波数の収縮では通常の筋収縮と同じで、自分の意志ではないので「痙攣」したような感じがします。

EMS トレーニングとは、この低周波刺激を利用して強制的に筋収縮を起こさせます。筋が収縮するので当然筋内のエネルギー生産も必要となりますので、随意的収縮と同じような効果が得られる（本を読んでいてもトレーニングができる！）といううたい文句となります。

ただし、スポーツ活動での筋収縮は、速筋系筋線維では1秒間に100回近い収縮（攣縮といいます）を行います（遅筋線維は30～40回程度）ので、「低周波刺激」では実際のスポーツ活動とは異なる収縮様式となってしまいます。負傷後のリハビリテーションや激しい運動後の筋の硬くなった「固縮」の改善には有効なのですが、スポーツトレーニング（筋トレ）としての効果には若干疑問が残り、フリーウェイトや実際の動きを利用した筋力トレーニングの方が効果的と考えられます。

マッサージや静的ストレッチングもゆっくりとした伸展刺激を利用しますのでクーリングダウン効果はあるものの試合前の適応には慎重な対応が必要といわれています。また、アイシングも患部の冷却で炎症を緩和する目的で行われますが、冷却したリアクションで血行を促進させる効果もあるといわれています。しかし、いずれも「程度の問題」がありますので個人の状況に応じた専門家のアドバイスが必要です。

85 身体が硬くて動かすと痛いのですが？

「痛み」の背景には大変複雑なメカニズムがあるといわれています。「末端が痛い」といっても「痛覚」を認知するのは脳での「意識（ことば）」です。末端が強い刺激を受けた時には「防御反射」で刺激を受けた側を屈曲して反対側を伸展して刺激を回避する行動が生じ、その後「熱かった」「冷たかった」「痛かった」といった言葉でその後の対応を行います。また「閾値」といってどのレベルの刺激量から防御反射が生じて痛いと感じるのか、予想外の刺激なのか予測された刺激なのかによっても反応は異なります。

運動との関係でいうと「関節の可動範囲」を越えて動かそうとすると痛みが生じます。つまり「動かさなければ痛くない」のですが、じっとして動かないでいるとコリのような痛みも生じます。本来私たちの身体の構造（骨と関節と筋肉、感覚神経と運動神経）は「動く」ようにできていますので「じっとしている」と不都合が生じます。また、特定の動きだけを反復していても身体の機能や構造の関係が「本来の多様性」を失い不都合（他の動きの可動域の制限による痛みの発生など）を引き起こします。これは犬や猫が目覚めるとストレッチングを行うことに象徴的です。

関節の可動域は、屈曲と伸展をつかさどる「拮抗筋」の長さで決まります。筋に緊張（トーン）が残っていて短縮気味だと可動域は狭くなりますし、収縮する距離も短いのでパワーが出ません（パワー＝筋力×収縮距離）。ストレッチングやマッサージを行うのは準備運動だけでなく運動後の筋緊張を低減させ関節可動域を回復させるためにも重要です。

動かしたときの「痛み」は、筋自体ではなく腱を介した骨との接合部で起こることが多いと思われます。アキレス腱痛や野球肩、テニス肘などはその典型で、炎症を起こしたり腫れたりして何らかの処置をしないと運動をすることが困難となります。原因の一つには「過伸展の反復」があるとされ、筋力がなかったり筋力低下があると可動域を「正常範囲に制限する」ことができなくなります。ジュニア用の運動用具が軽量に設定されているのはこのことと関連しています（これは筋力の低下してきたベテラン選手でも同じこと）。特に成長期の子どもは骨の縦方向への成長が大きいので炎症や「若木骨折」などを誘発する可能性が高いのです。（続く）

86 筋力低下で「ひざ痛」「腰痛」？

筋力不足が正常な可動範囲を越えた「過伸展」を誘発してアキレス腱や筋付着部の痛みを生ずることはよく知られています。この際「炎症」や「腫れ」にまで至らない場合はスポーツ医学的には「安静」や「練習量の制限」などが推奨されます。

女性や高齢者のランナーで膝が痛い方では「筋トレ」で大腿前面の四頭筋を強化することで痛みが改善されることがあります。また、テーピングなどで筋の走行方向に沿って補強をしたり「機能タイツ」を着用して筋力低下に伴う可動域の過伸展を制限することで症状が改善されることがあります。

「腰痛」のメカニズムは大変複雑で、TV番組でも「認知行動療法」を応用して痛みへの恐怖から可動範囲を自己規制している方への「可動域回復」をはかる取り組み（"痛みループ"からの解放）などが紹介されていました。

いわゆる「筋肉性腰痛症」は、腰椎の変形など整形外科的には異常がないレベルでの痛みでスポーツ愛好者を悩ませる「厄介者」です。

身体の構造上、背骨は骨盤の背中側 1/4 の位置にありますので、背筋と腹筋の筋力比は 3:1 となります。背筋力が相対的に低下してくると背骨が前弯していわゆる「猫背」になり顎が前方に出てバランスをとることで、背筋に対する負担は更に増大して腰椎下部の痛みを生じます（"ギックリ腰"も同じメカニズム）。

そこで「姿勢改善」が重要な課題となります。モデルさんのように背骨が直立して颯爽と歩行していれば腰部に対する負担は軽減されます。かつてTVでの「スーパーモデルのウォーキング特集」で、埼玉県立大学の藤縄理先生が「猫背」が腰痛や肩こり、頸の痛みを誘発することを指摘されていました。

「ひざ痛」や「腰痛」は運動にかかわって発症しますが、実は「悪い姿勢」も大きなインパクトを持っているのです。「加齢性筋萎縮症（サルコペニア）」は筋力低下による姿勢と歩行機能の低下を招きますが、「ひざ痛」「腰痛」のリスクも同様に増大させているようです。

2020.03.09

87 脚が痙攣するのは何故ですか？

痙攣は、本人の意思と関係なく特定の筋肉が「勝手に収縮する」現象で、“しゃっくり”は横隔膜の痙攣です。

動作を引き起こすための通常の筋収縮は、複数の筋が私たちの意志で活動し、動作をやめようとするれば筋収縮はなくなります。ですから私たちの意志とかかわりなくある筋だけが収縮する痙攣は「不随意収縮」とよばれ止めることが困難なのです。

脳からの指令なしに筋が勝手に収縮する原因は筋の内部環境にあるようです。

例えば、熱中症のひとつ「熱痙攣」は、大量の発汗に対して水分のみを補給した結果起こる「低ナトリウム血症」です。私たちの神経－筋システムは「ナトリウム」と「カリウム」で調整されていますのでイオンバランスが崩れると勝手に筋収縮をはじめます。

また、過緊張である筋だけの収縮感度（「閾値」といいます）が高くなっていると、わずかな刺激でも収縮が起こり一緒に働く筋群とのバランスが取れなくなります。一流の跳躍選手が痙攣をおこして競技が続けられなくなるケースはこれが原因のようです。

痙攣が一定時間以上続くと「筋肉痛」を引き起こしたり「コリ」のような残存筋緊張となって動作に支障をきたします。ストレッチングやマッサージで緩和することとミネラルの摂取が必須です。あまりにも頻繁で症状がひどい場合には「漢方薬」を利用するケースもあるようです。特に夏場は、大量の発汗があり脱水症やミネラルバランスの崩れが起こりやすいので注意が必要です。整理運動のストレッチングを心がけてください。

ちなみにビールなどのお酒は「利尿作用」があり脱水症で寝ている時の痙攣を誘発する場合があります。何事もほどほどが肝腎（肝臓と腎臓はとても大切な働きをしています）のようです。

2018.08.08

88 プレー中ガムを噛むことは？

外国人の野球選手がバッティングに際してガムを噛んでいる映像が良く見られます。日本的感覚からいうと「お行儀が悪い」とか「集中できないのでは」など批判的なコメントが多く寄せられます。仮にバッティングに支障があるとすれば、いかに文化的習慣が違うとはいえ多くの選手がプレー中にガムを噛んでいることはないものと思われます。何か効果があるのでしょうか？

私たちがかつて実験した結果では、ガムを噛み続けながら反応時間を測定すると「何もしない状況」よりも反応が速くなる結果が得られました。そして「噛みしめ続けている」と逆に反応時間が遅くなることも分かりました。これは「関節固定」にかかわって素早く動作を切り替えることができなくなるためと考えられます。

噛むことに関わる咀嚼筋の中心「咬筋」という筋肉は大変面白い筋肉で、食物の形状や硬さに応じてリズムカルな開口と閉口の咀嚼運動を調整します。ガムを噛む場合とナッツを噛む場合では対象の硬さや大きさの変化を感知し脳幹に存在する神経回路を装飾して適切な咀嚼運動を実現します。

230～130 万年前に存在し絶滅した「パントロプス」というご先祖様は硬い根や豆などを「噛み砕く」ために咬筋に加えて強大な「側頭筋」を持ち頭蓋骨最上部はウルトラマンのような矢状突起があって丸い顔をしていたようで噛む力は私たちの 3～6 倍（ちなみに私たちの噛む力は体重相当といわれています）あったようです。一方私たちに直結する「ホモ・ハビリス」は多様な食物を摂取していたようで側頭筋の発達はありませんでした。実は私たち現代人の一食での咀嚼回数は 600 回で、弥生時代の復元食から推定される 4000 回に比べるとずいぶん少なくなっている（日本咀嚼学会・斎藤滋先生）ようですが、食材や加工調理技術の変容があっても基本的な咀嚼に関連する機能は変化していないようにも思います。

咀嚼活動にともなう咬筋からの筋感覚の信号は脳への「覚醒信号」の役割を持ちます。咬筋からの感覚シグナルは「脳幹網様体賦活系」という脳全体を覚醒させるシステムを通じて脳・神経系の活動レベルを高めます。自動車を運転していて眠気が襲ってきたときにガムや昆布やスルメを噛むことが覚醒水準を上げることは私たちも経験することです。石川県立大学の小林宏光先生は、カツオの燻製など硬い食べ物を幼稚園児に 3 か月間給食で提供したところ知能テストの成績が向上したことを指摘しており、認知症の高齢者の方が自力で食事摂取ができなくなる（チューブ食や胃ろう手術など）と重症化するとの症例を考えてみても、咀嚼運動の継続が脳の覚醒水準を向上させることがうかがえます。

マウスガードの装着時も「噛みしめ続けている」と円滑な運動の遂行や切り替えを妨げる可能性もあることから、プレー中にガムを噛むなどの「適切な口内咀嚼環境」を維持することはパフォーマンスの改善に有効なのかもしれません。

89 スポーツで使う「マウスガード」って何ですか？

アメリカンフットボールなど激しい接触を伴うスポーツ実施の場合には口の中に「マウスガード」を入れてプレイをしていて、ヘルメットからアタッチメントを介してぶら下がっていると「何コレ・・・」と誤ってしまいます。

口腔内の保護の意味もありますし歯をくいしばることで「筋力発揮」に有効ともいわれ、自転車のロードレースなどでも最後の「ゴールスプリント勝負」に備えて、その直前にポケットから取り出してくわえていることもあるようです。インターネット上でも販売されていて、お湯で温めてから「喰いしばって」自分の歯型に合わせて使用することができます。

ところが私たちが行ったウェイトリフティング選手の研究（2009）では、自分の歯の咬合状態から4ミリ以上厚いマウスガードを使用した場合にはパフォーマンスの低下を招く可能性があることが分かりました。バーベルを一気に頭上に引き上げる「スナッチ」動作では、4ミリ厚のマウスガードでは動作に関わる筋電図解析で「関節固定」の傾向が強くなったのです。これに対して歯科医が製作し調整した3ミリ厚のマウスガードではそのような傾向はみられませんでした（新潟国体マウスガードプロジェクト報告書）。動作の筋電図解析では、必要な筋活動は基本的に「拮抗性」が求められますが、曲げる筋群と伸ばす筋群が「協働性」に活動すると「関節固定」をしてしまい動作の効率の遂行を妨げてしまいます。いわゆる「力んだ」状態です。

筋の活動には動作に関連して拮抗的に働く「Phasic Factor」と動作全体を背景的に支える「Tonic Factor」があります。マウスガードを必要以上に厚くしてしまうと「噛みしめ」による「協働性収縮」を誘発してしまい、その動作に必要な「拮抗性収縮」による「動作の切り替え」を妨げるようなのです。これはウェイトトレーニングの負荷（重量）設定でもいわれていることなのですが「最大挙上重量」では必要のない筋群の参加と動作を妨げる「関節固定」を招くようです。トレーニング効果の確認のためには必要かもしれませんが、日常的に行うトレーニング課題としての「1RM（1回挙上最大重量）」は多分必要がないように思います。現実的に考えても「全力」は決して「最大のパフォーマンス」をもたらすわけではないのです。

この点で必要以上に厚いマウスガードの使用は、「安全確保」のためには有効なのですが「パフォーマンス向上」のためには「制限因子」になっている可能性があるようなので、この研究は新潟の歯科医師会の先生方と「経験主義はダメ」「専門医にケアをお願いする」というキャンペーンになりました。

2022.01.22

スポーツと栄養

90 スポーツマンの栄養摂取は？

スポーツを行う人の栄養摂取上の課題は何でしょうか？

パフォーマンスの向上にかかわっては「増量」と「維持」と「減量」が重要となりますが、原則は「筋肉量の維持」だと思います。

増量では「体脂肪量を増やさず筋量を増やす」こと、減量では「筋量を減らさず体脂肪量を減らす」ということです。

運動選手が「体重を落とさなくては」と思い込み「低糖質ダイエット」を行うと、スピード持久力のもとである筋グリコーゲンが低下してすばやく動き続けられなくなります。また、筋や赤血球を分解してエネルギーを補うようになってしまい、筋力低下や貧血をまねき「本末転倒」の結果となります。体脂肪（特に内臓脂肪）の減量のためには「低強度の有酸素運動（ゆっくりとした持続的運動）」が有効で、脂肪と糖質をバランスよく消費させることが重要といわれています。

競技によっては、体脂肪を含めた体重がプラス要因になるケースもありますが、重くなった身体をスピーディーに動かすためには筋力が必要です。一部のお相撲さんのように、筋力に見合わない体脂肪量の増加は、関節や靭帯への負担増から怪我を誘発してしまいます。

最近では筋力トレーニングの重要性が指摘されています。パワーアップやスポーツ障害の予防には筋量の増大が効果的で、適切な筋トレとその後のタンパク質（アミノ酸）摂取が有効とされています。しかし、タンパク質の過剰摂取（体重 1kg 当たり 2g 以上）は体脂肪の蓄積をまねき、一方体重当たり 1g 以下ですとパフォーマンスの低下をまねくとされています。

筋グリコーゲンの蓄積には運動終了後 30 分以内の糖質摂取、筋量増大には運動終了後 30 分以内のタンパク質摂取の重要性が指摘されています。つまり、運動と食事のタイミングが重要で、練習後 30 分以内に栄養摂取が可能な環境を整えること（練習直後は「補食」で補いその後食事を摂取することなどの工夫）が必要なのです。

数十万年にわたる進化のなかで、人類は長時間の狩猟採集活動を続けるために糖質からも脂肪を合成することができるようになりました（皮肉なことにこの「非常用燃料の蓄積」という生存戦略が現代社会に蔓延する肥満をまねいています・・・）。一方体脂肪（特に内臓脂肪）は、「遊離脂肪酸」というかたちでゆっくりとした持続的運動を支えてもいます。そこそこのスピードが必要とされる競技（市民マラソンなど）では「筋グリコーゲン」と「遊離脂肪酸」の両者が活躍するようなトレーニング内容と栄養摂取への取り組みが重要なのです。

91 マラソンランナーの「高糖質食」？

非公認ながら人類初のマラソン2時間の壁を突破したキプチョゲ選手の「高糖質食」が話題となりました（NHK 放映：超人たちの人体、2021 年放映）。米国やオーストラリアや南アフリカなどの長距離トップランナーの PFC バランス（タンパク質と脂質と糖質の割合）が、ほぼ [20 : 30 : 50] であるのに対して、ケニアのランナーは [12 : 12 : 76] という「高糖質食」であることが紹介されていました。ただ、現在のスポーツ栄養学のデータからすると [20 : 30 : 50] という PFC バランスは「ジャンクフード・メニュー」とされているので「本当に？」と思ってしまいます。

スポーツ栄養学では和食の基本 [15 : 25 : 60] が理想とされ、総摂取カロリーの増大にともなって 1g あたりのカロリーが 4Kcal と少ない糖質が減少（量が増えて消化しきれない）して 9Kcal である脂質が増加します（1 日 4500Kcal の場合は [13 : 30 : 57] ）。かつての水の超人：フェルプス選手の 1 日 12000Kcal のメニューはあまりにも有名な話ですが「ジャンクフード」や「エナジードリンク」も加えないと賄いきれなかったようです。

ケニア人ランナーの高糖質食は、パンやご飯やジャガイモと砂糖たっぷりのお茶（チャイ）に加えトウモロコシ粉の「ウガリ」が有名です。そしてこのような運動習慣（トレーニング）と食事習慣を長期間継続することにより小腸内の絨毛線維の糖質トランスポーター（運搬体）が増加し糖の吸収能力を改善するとの英・ラフバラ大学のユーケンドロップ先生の「腸トレーニング説」を紹介していました。

また、運動中の糖質飲料摂取に関しては、従来の糖質濃度が 8% を超えると水分吸収が制限され上限の 16% では水分利用曲線が最低になるとのデータ（小林修平・樋口満編：アスリートのための栄養・食事ガイド、第一出版、2014 年）に対して、血糖値の上昇の指標であるグリセミック・インデックス（GI 値）の低い「イソマルツロース」という糖を含んだ飲料の有効性も指摘されています（鈴木志保子：スポーツ栄養学、日本文芸社、2018 年）。キプチョゲ選手らの摂取する「高糖質ドリンク」は胃酸でゲル状に変化する物質を含んでおり、高糖質に反応する十二指腸の信号による胃の通過制限機能（腸での下痢症状を防ぐため）を発現せずに小腸に糖質を送り込む可能性があるとのことでした。

2019 年・ハーバード大学の研究グループが、ボストンマラソン完走者のパフォーマンスと腸内細菌との関係を分析し、「ベイオネラ菌」という腸内細菌が運動によって生成された乳酸を「プロピオン酸」に変換（エサとして処理）しそれが肝臓に運ばれて有酸素エネルギーとして再利用される可能性を指摘し、マウスを使った実験では有酸素能力が 13% 改善されるとのデータが示されています。腸内細菌叢もまた、長期にわたる運動習慣や食習慣で形成されることから、パフォーマンスの改善にはまさに「運動－栄養－休養」の三大要素の継続が重要ということとなります。

ただ、長期間のトレーニングと高糖質食や高糖質ドリンクで「世界新記録」を生み出しているのは今のところキプチョゲ選手に限られていることからやはり最後には「本人の才能」がパフォーマンスを決定しているようでもあります。

2022.12.25

92 PFC バランスって何ですか？

私たちの食事の「5 大栄養素」は皆さんご存知の通りです。このうちタンパク質（P）、脂質（F）、炭水化物（C：糖質と食物繊維）はからだを作る栄養素、そしてビタミンとミネラルはそれらを調整する栄養素と分類されています。

例えばスポーツ活動で最も重要な「スピード持久力」は、糖質から作られる「筋グリコーゲン」がエネルギー源となりますが、その取り込みには原料である糖質とともにビタミン B2 とアリシル（硫化アリル）、クエン酸（お酢）などが必要といわれています。

PFC バランスとはこの食事に含まれる 3 大栄養素の比率のことで、「ファーストフード」「ジャンクフード」と表現される食事内容は脂質の割合が高くパフォーマンスや健康レベルを下げることはよく知られています。

スポーツ栄養学で推奨されているのは糖質 60～65%、脂質 15%、タンパク質 20～25%という「和食型バランス」です。

健康障害が指摘されている極端な「糖質抜きダイエット」は、相対的に脂質の割合が高まるいわば「低カロリーファーストフード」化でありかつスピード持久力の原材料である糖質を制限するという点で、筋や血液のタンパク質分解を促進するという「本末転倒」の結果を招いてしまいます。また、主食と主菜のみの食事内容ではビタミンやミネラルの不足を招き、サプリメントで継ぎ接ぎするという問題が生じます。この点でトレーニングでのカロリー消費量に見合った「栄養フルコース型」のメニューが推奨されています。

また、最近「腸内細菌叢」の役割の重要性も指摘されてきており、腸内細菌の「善玉菌」の餌：食物繊維質の多い海藻や野菜を含む和食の主菜や副菜の摂取が注目されています。この腸内細菌叢は「善玉菌」「日和見菌」「悪玉菌」から構成されていますが、その比率は食事内容や体調によって微妙に変化しているようで、脂質の多い食事をとり続けると「善玉菌」が減少して「日和見菌」が「悪玉菌」に味方をして体調を悪くするのではないかと指摘されています。慢性大腸炎などの恒常的な疾患に対する究極の「便移植療法（抗生物質で腸内をきれいにしてから他人の便を利用する）」も行われています。

2020.12.07

93 タンパク質摂取で筋肉づくり？

少し強めの筋トレをすると筋繊維が少し損傷し、身体はそれを補修するためにトレーニング後のタンパク質代謝を亢進させます。このことから筋トレ後のタンパク質摂取（変換されてアミノ酸になる）が重要といわれています。ただし体重当たり 2 g 以上のタンパク質摂取は、余剰タンパク質としてグリコーゲンや中性脂肪に変換され肥満を招くことと腎臓への負担となることが指摘されています。

また摂取量が体重当たり 0.5 g 以下の場合も食品タンパク質由来の血清アルブミン値の低下（4mg/dl 以下）をまねき筋量減少や血管や免疫細胞のトラブルを引き起こします。特に運動をしない人でも体重当たり 0.8g 程度の摂取が推奨され、筋力トレーニングを継続している場合は体重当たり 1.7g 程度が上限とされています。つまり筋肉再生量に見合ったタンパク質摂取が重要なのです。

タンパク質相当量は食品によって異なり、100 g あたり豆腐で 5 g、魚や肉で 20 g、牛乳で 3 g 程度です。ちなみにご飯も 2.5g、ピーナッツは 25 g もあります。

スピード持久力の要である筋グリコーゲン蓄積のための高炭水化物摂取の「グリコーゲンローディング」という方法は有名ですが、プロテインローディングというものはありませんので注意が必要です。また、いわゆる「アミノサプリ」はタンパク質をアミノ酸に変換するプロセスを省いているのでよりはやく吸収されるのですが、食品以外のサプリメントの摂取には配慮が必要です。

一方同じアミノ酸でも BCAA（分岐鎖脂肪酸）：「バリン」「ロイシン」「イソロイシン」はエネルギー供給系にかかわってくるので持久系運動でも運動中や運動終了後の摂取が進められていますし「顆粒状スティック」は携帯が可能なのでマラソン中の補給などに適しています。ただし、こちらも適切な糖質摂取との組み合わせが重要で、私もフルマラソンで使ったことがあるのですが 30Km 過ぎたあたりからは「ジュース」などの甘みのあるものが摂取したくなってきました。単一のサプリメントですべてをまかなうことは困難なようで、やはりバランスの取れた栄養摂取を心掛けることが必要なようです。

2020.12.13

94 “低糖質ダイエット”と健康

最近の「お父さんのメタボ対策」で話題の“低糖質ダイエット”ですが、確かに過剰な糖質（炭水化物は糖質と繊維質を含みます）摂取は、人類の宿命としての「脂肪蓄積」を進めます。これは数百年前の農業革命以降に起きた遺伝子的変化でもあり、20万年前から狩猟採集生活をしていた人類の宿命でもあります。

人類の大型化した脳は、一日のエネルギーの20%の糖質を必要とします（ β 酸化という体脂肪からのエネルギールートは使えません）。そこで狩猟採集生活をしていたころから、必要で貴重な糖質をすべて脳のために回して、移動のためのエネルギー源をとりあえず蓄積した脂肪から「遊離脂肪酸」という形で利用する（ゆっくりとした移動で使われる）ようになりました。チンパンジーなどは数%の体脂肪率ですが人類は20%以上の「非常用脂肪」を蓄積しています。このように脂肪組織から活動エネルギーを作り出せるようになったので、人類は“のべつまくなしに食べ続ける”という行為から解放されましたが、身体運動をせずに精神的ストレスが増加すると「脂肪の過剰蓄積」をはじめるといふ厄介な宿命も背負ってしまいました。

ですから肥満傾向の強いお父さんには確かに“低糖質ダイエット”が一定程度効果的なのですが、逆に現代の日本女性では「過剰な痩せ志向」の影響で、健康上必要なエネルギーに対して摂取エネルギーが平均300Kcal少ないという統計結果が示されています。いわゆる「痩せすぎ女性（実は高齢者も低栄養状態と言われています）」は、極度の糖質制限をしていますので、食事から必要なエネルギーが得られず、自分の身体の筋肉や赤血球、免疫細胞まで分解してエネルギー不足を補い、かつ脳の「低栄養状態（低血糖性昏睡を誘発する）」を進めてしまうといわれています。

また、タンパク質（P）と脂質（F）と糖質（C）から構成される食事内容のPFCバランスの崩れも健康上は問題です。タンパク質15%と脂質25%、糖質60%という「和食バランス」が推奨されているのですが、低糖質ダイエットは相対的にタンパク質と脂肪の割合が増加した「低カロリーファーストフード化」を進めてしまうのです。

「運動」「栄養」「休養」のバランスではなく、「運動抜き」の“自己流の低糖質ダイエット”を続けていると様々な健康上の問題を引き起こしてしまい、スポーツをやるところの問題ではなくなってしまう。

ではスポーツマンのための栄養摂取ではこういった注意が必要なのでしょうか。

95 パレオダイエットって何ですか？

時々耳にする「パレオダイエット (Paleodiet)」とは、200 万年前の旧石器時代の食事メニューで人類本来の健康を取り戻そう・・・という意味なのですが内容はというと様々あるようです。「低糖質食」と混同されているようですが、パレオダイエットではパンやご飯は当時はなかったということから、芋や果実などの糖質を推奨しています。そして旧石器時代ですので基本は狩猟採集生活・・・朝日で目覚めて 10~15Km ほど歩き回り早く寝る・・・という「清く正しい生活」が求められます。

2020 年、NHK で「食の起源」という特集が組まれました。「ご飯」「塩」「脂」「酒」「美食」というトピックスを進化の歴史から探るというもので、「ご飯」の特集では「低糖質ダイエット」の危険性が指摘されました。200 万年前の「ホモ・エレクトス」段階からの脳の大型化は、狩猟で恒常的に獲得した肉などのタンパク質摂取量の増加がもたらしたという従来の考えに対して、火の発見による「加熱調理」により根茎や芋や果実の炭水化物が「糖質」に変化し脳の神経細胞にエネルギーを大量に供給できるようになったことが原因であるとの見解を紹介しています。確かに脳は「糖質（時には乳酸）」しか利用できずタンパク質や脂質からエネルギーを得ることはできないのです。また、8000 年ほど前からの恒常的な穀物生産（農業革命）に伴い身体や脳の若干の小型化と炭水化物の消化（糖質化）にかかわる「アミラーゼ遺伝子」を獲得したことも指摘されています（遊牧民は乳糖分解の「ラクターゼ遺伝子」を獲得したので大人になっても乳製品を消化できる）。アミラーゼは炭水化物をすみやかに糖に分解し「甘さ」を感じるのでインシュリン分泌が改善され高血糖症を予防する可能性が指摘され、低炭水化物食の人たちは心臓血管系の疾病発症リスクが高いことも指摘されていました。つまり進化のプロセスで私たちは食べ物に関する遺伝的適応（有利な遺伝子を持った子孫が生き残る淘汰圧があった）を果たしたようで、その意味では旧石器時代のままではないようなのですが、「塩」「脂」「酒」などの過剰摂取の誘惑は現代の我々の健康に影響を落としていることも事実です。（続く）

2020.12.06

96 「貧血？」ですか・・・

水泳の池江璃花子選手が白血病の診断を受け競技休止中です。本人も合宿中の練習で疲労感が強く「肩で息をする」くらいの状況だったそうです。

白血病は血液中で白血球のがん細胞が増殖して結果として赤血球が減少して酸素運搬能力が低下します。つまり有酸素性の持久力が維持できない状態となります。

「貧血」には様々な要因が関係します。長距離ランナーや踵を強く打ちつける種目（剣道やバスケットボール）では、200 拍/分で高速で体内を巡回している赤血液が「ヒールストライク」で破壊されて貧血が起こります。おしっこの色が茶色になる「血尿」は赤血球中のヘモグロビンが破壊されて漏れ出したものです。これらは「鉄欠乏性貧血」に含まれます。

ところが本人は「貧血」と思っている場合、検査を受けていない場合には他の要因との関係も疑われます。

例えば「低血糖症」は、無理な糖質ダイエットなどにより炭水化物由来の糖質（グリコーゲン）が低下していると、脳は糖質しか使えないので意識低下を誘発する可能性があります。また「低血圧症」や「午前中不調症候群」の可能性もあります。貧血ではないにもかかわらず「鉄剤投与」を行っても効果は限定的ですので、体の不調や練習遂行に困難を感じたらまずは検査を受けることが重要です。

しかし、現実には女子長距離選手の三主徴（エネルギー不足、無月経、骨粗鬆症）が問題視されているように、これらの要因は「複合的」に生じます。3月のランニング学会でも「女性ランナーの諸問題～守れ思春期の笑顔と健康～」と題するシンポジウムが開催され、選手寿命の短さや骨密度低下が競技をやめても改善されないことなど、改めて問題の深刻さが浮き彫りとなってきました。（続く）

2019.03.18

97 「鉄材注射」は禁止？

2018 年 12 月、日本陸上競技連盟は「鉄材注射の根絶」についてのコメントを発表しました。

鉄欠乏性貧血は赤血球が減少し、特に持久系の酸素運搬能力を低下させます。パフォーマンスの極端な低下にはいくつかの要因が関与しており「鉄欠乏性貧血」や「極端な軽量化戦略（減量）による筋量の低下」などは大きな要因となっています。

スポーツ栄養学では、食事で練習量に見合ったカロリーや鉄分の摂取を重要視しています。これは安易な「サプリメント使用」の弊害（15%ほどがドーピングに該当するとの報告あり）に警鐘を鳴らすもので、「運動－栄養－休養」のスポーツライフ・マネジメント（鈴木正成）の重要性を示しています。

ただ食事由来の鉄分摂取は、消化器系を経由するために若干効率が悪く、重症の貧血症の場合には鉄分が 100%取り込める静脈注射が適用されています。

日本陸連の問題提起は「貧血の治療」ではなく「パフォーマンスを上げるには鉄材注射が効果的」という誤った考え方が、相当数の長距離指導者の間に蔓延している状況に対応したものです。

貧血症でない選手が安易に鉄材注射を繰り返すと「鉄過剰症」となって肝機能障害や鉄分がリンを吸収して「骨粗鬆症」を誘発することなどで選手生命に重大な悪影響を与えます。

最近の日本女子マラソン陣がなかなか有望な新人が登場しないこととの関連も指摘されています。身長 158 cm で体重が 36Kg（BMI が 15 以下）といった選手が、大学や実業団入部後すぐに全く走れなくなってしまったという事例も報告されています。

2019.04.02

98 脚が痙攣するのは何故ですか？

痙攣は、本人の意思と関係なく特定の筋肉が「勝手に収縮する」現象で、“しゃっくり”は横隔膜の痙攣です。

動作を引き起こすための通常の筋収縮は、複数の筋が私たちの意志で活動し、動作をやめようとするれば筋収縮はなくなります。ですから私たちの意志とかかわりなくある筋だけが収縮する痙攣は「不随意収縮」とよばれ止めることが困難なのです。

脳からの指令なしに筋が勝手に収縮する原因は筋の内部環境にあるようです。例えば、熱中症のひとつ「熱痙攣」は、大量の発汗に対して水分のみを補給した結果起こる「低ナトリウム血症」です。私たちの神経－筋システムは「ナトリウム」と「カリウム」で調整されていますのでイオンバランスが崩れると勝手に筋収縮をはじめます。

また、過緊張である筋だけの収縮感度（「閾値」といいます）が高くなっていると、わずかな刺激でも収縮が起こり一緒に働く筋群とのバランスが取れなくなります。一流の跳躍選手が痙攣をおこして競技が続けられなくなるケースはこれが原因のようです。

痙攣が一定時間以上続くと「筋肉痛」を引き起こしたり「コリ」のような残存筋緊張となって動作に支障をきたします。ストレッチングやマッサージで緩和することとミネラルの摂取が必須です。あまりにも頻繁で症状がひどい場合には「漢方薬」を利用するケースもあるようです。特に夏場は、大量の発汗があり脱水症やミネラルバランスの崩れが起こりやすいので注意が必要です。整理運動のストレッチングを心がけてください。

ちなみにビールなどのお酒は「利尿作用」があり脱水症で寝ている時の痙攣を誘発する場合があります。何事もほどほどが肝腎（肝臓と腎臓はとても大切な働きをしています）のようです。

2018.08.08

99 「ドーピング」って何ですか？

オリンピックや世界選手権、パラリンピックなどでもいつも話題に上るのが「ドーピング違反で出場停止」「メダルはく奪」などです。ではその中身はいったい何なのでしょう？

実は、スポーツマンの栄養管理で多用されている「サプリメント」の中身の 15% は禁止薬物に抵触するとの報告があります。また、カフェインを多量に含んだドリンク剤も一定量を超えると急性中毒症を発症しますが、カフェインも「禁止物質」なのです。

ドーピングの歴史は 19 世紀までさかのぼりますし、漢方薬などの「強壮作用」も該当します。ヨーロッパでは、競走馬への興奮剤の使用や自転車競技選手の成績向上を目的とした使用が指摘され、1886 年に自転車レースでの最初の死亡例が報告されています。1960 年のローマ五輪・自転車 100Km 団体レースではデンマークチームが興奮剤・アンフェタミンの使用によりチーム 4 名のうち 1 名死亡、2 名入院という事態が起こっています。また本来は疾病からの回復を促進するための薬剤の「筋肉増強剤」としての使用も 1950 年代から始まっています。

「ドーピング」が何故不正行為なのかについて、最大の問題点はこの「副作用」による健康被害の深刻さです（NHK：汚れた金メダル、2015 年放映）。

「運動」「栄養」「休養」のサイクルはトレーニング効果を左右します。持久的トレーニング後は 30 分以内に「炭水化物（糖質）」を摂取することがスピード持久力のもと「筋グリコーゲン」の蓄積を促進します。また、筋トレ後の「たんぱく質（アミノ酸）」摂取は、筋線維の再生を進めます。有名な「インターバル速歩」後の牛乳摂取はこのメカニズムを利用した筋トレで、筋力増加に効果があることが実証されています（信州大学・能勢教授）。

実は「筋肉増強剤」によるドーピングは、この効果的トレーニングのサイクルに一つだけ「間違い」を挿入しているのです。トレーニングを伴わない筋力増強剤単独では驚異的效果は得られないのです。また驚異的效果のある「サプリメント」と称する食品（薬品）のほとんどは禁止薬物を含有しているようです。

現在は「禁止薬物リスト」に載っていない物質であっても「通常以上のトレーニング効果」を目的に使用した場合は「ドーピング」を判定されます。選手に帯同するトレーニングドクターの仕事の多くは、選手のケアと「体調不調時の健康管理（治療薬物の管理）」とのことです。（続く）

2018.10.11

100 ドーピングは何故いけないのですか？

北京冬季五輪・女子フィギュアスケートで、15歳のロシアオリンピック委員会（ROC）・ワリエワ選手のドーピング問題が話題となっています

禁止薬物であるトリメタジジン（心臓病の薬）に加えて、禁止薬物ではない「ハイポクセン（2017年米アンチドーピング機構がリストアップを主張）」や「L-カルニチン」も検出されており疑惑が深まっています

またロシアなの・・・というコメントが多いのは、ロシアの場合は選手やコーチ「個人」の使用ではなく競技団体やアンチドーピング機構（RADA）自体も関与する「国家ぐるみのドーピング」が行われている疑惑があるからです（旧東ドイツの国家ぐるみのドーピングである「国家計画 14.25」は研究機関とアンチドーピング機構をも含むトータルシステムでした：NHK「汚れた金メダル」2016年放映）

実はロシアの国家ぐるみのドーピング疑惑は、2010年のバンクーバー冬季五輪で不振を極めたロシア選手団（冬季五輪はロシアの看板種目）に対してプーチン大統領が「怒りの檄」をとばしたことで本格化したとの噂もあり、ドーピングによる競技力向上は「最も経費の掛からない強化方法」なのです

ただワリエワ選手はだれが見ても「とびぬけた能力がある」ように思われドーピングなどは必要がないように思います、だからこそ逆説的に「組織的ドーピング（誰彼構わず適応する）」が疑われているのかもしれませんが

ではドーピングはなぜいけないのでしょうか？

「使用禁止薬物使用」や「規制違反」が根拠としてあげられるのですが、では何故禁止や規制があるのかということとなります

旧東ドイツでの筋力増強剤などの過度な使用は、重篤な後遺症や女性の男性への転換など健康上の重大な被害を引き起こしました（全国的な救済組織が活動している）

「健康被害」は本当に深刻な問題で、統計的に計上されていない死亡例は相当数に登ると指摘されています

かつて、現在も女子400mの世界記録（1985年）保持者であるマリタ・コッホ選手が「普通の身体に戻すトレーニング」をやらざるを得なかったとする映像が放映されました（NHK：東独のスポーツ、1987年放映）

また「スポーツの価値」として考えれば、ドーピングによって樹立された記録や栄光はあくまでも「偽物」であり選手本人の自己肯定感や人生観自体を崩壊させてしまうもので、スポーツの公正性やフェアプレイ精神を根本から覆すものにほかなりません

一方、選手強化システムとして考えれば、経済的な問題から十分なトレーニング環境のサポートが得られない国の選手やチームがあるのも事実で、ドーピング以外の潤沢な競技サポートを受けることができているスポーツ大国の選手やチームとの「不平等感」「不公正感」は依然として残ります

スポーツの成果を高めるためには「トレーニング」「食事」「休養」の組み合わせによる「スポーツライフ・マネジメント」の重要性が指摘されています（筑波大学名誉教授・鈴木正成先生）

実はドーピングはこのプロセスに「一つの間違い」として侵入してくるもので、ビタミン剤などのサプリメント摂取との境界は不透明で、唯一「禁止薬物リスト」「規制違反」が根拠となり、現在では禁止薬物リストにないものでも「効果」を認識して使用するとドーピングと認定されます

101 禁止薬物は何ですか？

禁止薬物リストは毎年毎年更新されています。インターネット検索を行うと「えっ！」と思われるものも該当します。「いたちごっこ」と例えられるように新たな薬物が次々と登場するからで、ある意味では「脱法ドラッグ」と同じような様相を呈しています。現在では「劇的効果を期待して使用する行為」自体がドーピング行為と認定されます。

では「疲労回復」のための市販ドリンク剤はどのようなのでしょうか、また「薬膳料理」などの食事メニューは大丈夫なのでしょうか？

結論的に言うといわゆる「サプリメント」の15%には禁止薬物が含まれており特定の「漢方薬」にも禁止物質が含まれていると指摘されています。漢方薬系のかぜ薬のうっかり使用でドーピング違反を問われる選手もいます。チームに帯同する医師の重要な仕事が治療薬や摂取する食品のチェックなのだそうです。

「禁止」の重要な根拠は「副作用」の存在です。1) 興奮剤：正常な判断力を奪いアクションをまねく、2) 麻薬性鎮痛剤：中毒症や依存症、3) 蛋白同化ステロイド（筋肉増強剤）：黄疸や肝機能障害、女性の男性化や男性の女性化、4) 利尿剤（ドーピング痕跡の隠蔽）：重度の脱水症、5) 血液ドーピング（自分の血液の再注入で持久力増）：感染症、6) β ブロッカー（標的競技での心拍数抑制）：心拍・血圧のトラブル、などなどです。先日カナダで「大麻」が合法化されましたがスポーツ競技ではドーピングとなります。

効果的トレーニングのためには「運動」「栄養」「休養」のマネジメントが重要です。持久力トレーニング後の炭水化物や筋力トレーニング後のタンパク質摂取が重要であることはよく知られています。問題はトレーニングとその回復過程に入り込む通常の食品由来以外の「サプリメント」が「何者」なのかということとなります。

ドーピングが不正行為である根拠のひとつは「副作用」とともに、ほぼ同じトレーニングを行ったアスリート間の「不公正性」にもあるものと思います。

しかし、トレーニング環境も経済的基盤がなくては十分に構築できません。日本の五輪本番の切り札「マルチサポートハウス」は期間中だけで5億円以上の財政的支援が必要です。これは当然「違反」ではありませんが経済的に厳しい国のチームから見ると「何となくフェアでない!？」のかもしれないのです。ロシアのドーピングの背景には、2010年バンクーバー冬季五輪でのロシアチームの不振にプーチン大統領が怒って檄を飛ばし、競技団体が「最も安価な選手強化システム」として組織的ドーピングを行ったのではないかと考えられています。

102 治療も制限されるのですか？

ドーピング禁止薬物の多くは病気の治療のために開発されたもので、人類の英知ともいえる治療薬がパラリンピックまで含めてスポーツの価値に影を落とすということは何とも皮肉なことです

アスリートも生身の人間ですから病気も怪我もしますので治療を受けなくてははいけません

ところが治療に使われる薬は禁止薬物リストにあるものが多いので対応する医師は「TUE（Therapeutic Use Exemption）申請」をする必要があります

参加する大会の30日前までにこの申請がない（もしくは申請が却下される）と禁止薬物・禁止方法違反としてドーピング規則違反となります（医師のためのTUE申請ガイドブック、（公財）日本アンチドーピング機構、2020年）

その基準は、①使用しないと健康に重要な影響が出る、②他に代えられる治療方法がない、③健康を取り戻す以上に競技力を向上させない、④ドーピングの副作用に対する治療ではない、の4つで、特に③と④は難しい選択が求められます

この意味で、トップクラスのチームのドクターの仕事は、治療やコンディショニングの維持とともにドーピング検査への対策でもあるといえます

現在五輪や世界選手権に出場するレベルの選手は、世界アンチドーピング機構（WADA）や各国のアンチドーピング機構による大会ごとの検査や競技会以外の抜き打ち検査（Out of Competition）を受ける義務（選手本人の同意が前提）が課せられています

また選手個人のデータベース化（ADAMSシステム）も進んでいますので、例えば血液検査で酸素を運ぶ血中ヘモグロビン値が「正常範囲」を逸脱していないかなどもチェックされています

しかしドーピングを隠ぺいする方法も年々巧妙化しています

ロシアでは、尿検査での「A検体」「B検体」を検査室内の「ネズミの穴」を使ってすり替えていたことが発覚し、競技団体やオリンピック委員会から独立しているはずのロシアアンチドーピング機構は現在資格停止中です

かつて東独では、男性ホルモンであるテストステロンと代謝産物のデヒドロテストステロンとの正常な比率を維持するために筋肉増強剤摂取とともにデヒドロテストステロンを注射するという方法を用いていました

オーストラリアでは犯罪組織がドーピングを利用して選手との関係を深め脅迫をして競技結果を覆す八百長（スポーツ賭博の利権）を行っていた報道もありました（NHK：見えないドーピング、2014年放映）

また、今回の北京五輪での混乱は、国威発揚に利用しようとする政府のメダリストやスタッフへの過度の報償制度とともに巧妙な組織ぐるみのドーピング（選手・コーチ・医師・栄養士を含めたシステム）を誘導しているとの疑惑も問題となっています

一方、トップアスリートだけではなく、私たちの周りにも「サプリメントと称する妖怪」が跋扈していて、高校生などが指導者から情報を得て摂取している実態（高校長距離選手での「鉄材注射」に日本陸連は禁止措置を出しています）もあり、スポーツの価値に影を落としているとともに選手の心とからだの健康を脅かしていることも事実なのです

103 「サプリメント」の使用効果はあるのですか？

__ドーピングと関わり問題になるのが「サプリメント」の使用です。国際オリンピック委員会（IOC）の報告では、サプリメントの15%ほど（無作為に抽出された94/634個）にドーピング禁止物質が検出されたことが指摘されています。スポーツ栄養学の鈴木志保子先生は、サプリメント使用について、①活動量が高く食事だけでは十分に栄養を補給できない、②消化吸收の時間が取れない、③偏食である、④減量のために食事制限をしている、⑤内臓が弱っている、⑥食欲がない、⑦特定の栄養素を摂取しなくてはいけない、⑧菜食主義者である、などの理由を挙げています（鈴木志保子、スポーツ栄養学、日本文芸社、）2018年）。過労や疾病罹患などの問題が存在しなければ、基本的にはバランスのとれた通常の食事内容から栄養素を摂取することが望ましいとされています。

__食事内容におけるタンパク質と脂質と炭水化物（糖質）の比率（PFCバランス）の重要性も指摘されており、和食型（2500Kcal）の15：20：65が理想とされています。しかし、運動強度の高い競技種目では1日5000Kcalを越えるエネルギー摂取が求められます。この点で、炭水化物（糖質）やタンパク質はエネルギー量が1g4Kcal程度ですので相対的に脂質（1g9Kcal）の摂取量が増加してきます。また「糖質制限ダイエット」では相対的に糖質の摂取量の少ない「低カロリージャंकフード」となってしまう、摂取カロリー不足分を筋肉や血液などの分解によって補ってしまうこととなりアスリートにとってはパフォーマンス低下を招いてしまいます。

__今問題となっている「機能性表示食品（2015年から認可）」は、消費者庁が厳密なエビデンスにもとづいて認可する「特定健用保健食品（トクホ）」とは異なり、事業者が責任をもつ「届出制」であることが特徴です。その意味では「サプリメント」とも類似していますが、サプリメントの場合はまさに「玉石混交」の状況となっています。私たちが行った新潟県のジュニアスポーツ選手を対象にした調査では、「朝食抜き」などの不規則な食事習慣であるにもかかわらず安易にサプリメントを摂取している実態（指導者からの情報もある）が明らかとなりました。

__「サプリメント」は決して「魔法の薬」ではありませんしドーピングのリスクも含んでいます。また日本陸上競技連盟は、2015年に長距離選手への安易な「鉄材注射」を禁止しました。貧血の改善には有効であっても、短絡的に持久力アップに有効ではなく、また急性や慢性の「鉄中毒症」をまねく危険性があるのです。その意味で、安易なサプリメント摂取ではなく、日常のしっかりとした食事習慣と練習計画こそが重要なのです。

2024.04.23

104 運動後のサプリメント摂取は？

サプリメントはあくまでも「補助食品」です。また「劇的效果」をうたったものは「ドーピング禁止物質」を含んでいる可能性があります。最近子どもの摂取で問題になっている「エナジードリンク」も高カフェイン含有でドーピング規制量と急性中毒の危険性が指摘されています。

基本的には日常の食事で、3大栄養素であるタンパク質（P）、脂質（F）、糖質（C）のPFCバランス（P:20、F:15、C:65）とビタミン・ミネラルを摂取して、活動量に見合ったカロリー摂取に注意をしていれば十分です。

ただし激しい運動終了後の生体反応では、筋グリコーゲンが消費されていて早急な回復をはかるための「糖質補給」や筋の修復のための「タンパク質摂取」が有効であることも指摘されています。身体機能の回復過程でこれらの糖質やたんぱく質が不足していると筋や血液、免疫細胞などを分解してエネルギーをつくり出してしまう可能性があるからで、女子長距離選手などの過度な摂食制限による弊害も指摘されています。

糖質は筋肉や肝臓のグリコーゲンへ、タンパク質はアミノ酸に分解され筋組織の修復や分岐鎖アミノ酸（BCAA）からエネルギー補填に利用されます。運動後30分～1時間位はこの「修復反応」が亢進していますので激しい運動後のおにぎりやパン、牛乳などの補給が有効とされています。

このことから特別なサプリメントでなくとも構わないのですが、食品の保管・保存や携帯性を考えてゼリー状やタブレットや粉末のものが利用されています。

また、運動中（スタート前も）の水分とミネラルの摂取もパフォーマンス維持のために重要なことが指摘されています（先日NHKでの日本競歩陣へのサポートでも紹介されていました）。

2020.02.18

105 夢のダイエット？

TV コマーシャルやネットでは様々な「夢のダイエット法」が宣伝されています。「苦
労せずに・・・」「食事制限なしで・・・」「1 ヶ月で 10Kg 減・・・」などなど様々です。

スポーツマンのダイエットはどう考えるべきなのでしょうか。日本産婦人科学会や日
本スポーツ協会などが「女性アスリート健康委員会」を立ち上げています。女子長距離
選手や「審美系（新体操やフィギュアスケートなど）」選手がジュニア期から練習量に
見合わない（足りない）カロリー摂取を行い、結果として無月経や骨粗しょう症、摂食
障害をまねき、早期に選手生命に致命的影響を与えると警鐘を鳴らしているのです。

スポーツマンの体重管理は「筋肉量増加による増量」と「脂肪量減少による減量」が
原則です。筋組織は運動を行うために必要なものですが、糖質制限など極端なダイエッ
トを行うとストレス反応から筋や血液、免疫細胞などを分解してエネルギーに変換しよ
うとして運動能力を低下させ「本末転倒」の結果を招きます。練習量と内容（筋力なの
かスピード持久力なのか）に見合った食事摂取が重要で、当然練習が休みの日（または
ケガなどで練習ができない期間）の食事内容も考慮する必要があります。

またスポーツマンのエネルギー代謝システムは、十分な練習量と食事量に対応して身
体運動のエネルギーをつくり出すことに適応しています。「夢のダイエット」のような
「運動抜き」や「糖質制限」などによる体重管理とは別のシステムとして働いていま
す。現役を引退した選手が肥満傾向に陥るのは運動量と食事量のアンバランスに対する
「不適応」なのです。（続く）

2020.01.07

106 運動をしても痩せない・・・！

現代のストレスと運動不足の常態化する社会環境では、人類史的に形成されてきた私たちの身体との「不適合」を起こしていわゆる「基礎疾患」を蔓延させます。ハーバード大学のリーバーマン先生は「ミスマッチ病」としての「非感染性」の49の症例を指摘しています。

そこで悪化した健康指標の改善（健康づくり）を図るために、「運動－栄養－休養」のライフスタイルの見直しが推奨されるのですが、ライフスタイルの改善はいわば「価値観の転換」が必要でアルコールや薬物の依存症の治療とも共通する困難さが存在しています。例えば毎日の摂取カロリーVs消費カロリーの不等式で150キロカロリーオーバーのケース（例えばご飯一杯とかココア一杯程度）で非活動的な生活を継続すると、1年間で脂肪6Kg相当（ $1.7\text{ g} \times 365\text{ 日}$ ）が増加することとなります。

ですからいわば「今までのライフスタイルを断ち切る」ような「糖質制限ダイエット」のように糖質摂取を“めのかたき”のように拒否する不健康な方法が横行することとなります。栄養学的にはタンパク質と脂質と糖質の「PFC バランス」を崩した「低カロリージャンクフード」となってしまいます。また脳は糖質（と乳酸）しか利用できないので低血糖症による脳機能低下や筋収縮でのエネルギー源である「筋グリコーゲン不足」による行動能力低下を招いてしまいます（アスリートは絶対にやってはいけません！）。

では単純に「運動をすればよいのか？」というと事情は少し複雑となります。デューク大学のポンツァー先生は、狩猟採集民であるアフリカのハッザ族の人も欧米の先進国の人も一日の消費カロリーに大きな差はないという「制限的日次エネルギー消費モデル」を示します（H.ポンツァー：小巻靖子訳、運動しても痩せないのはなぜか、草思社、2022年）。どうやら私たちの身体は「単純な機械」としては動いていないようで、行動パターンや消化吸收機能や身体組織維持・再生プロセスなどを変容させながら「適応」しているようなのです。個人的な経験ですが、私はこの4年間で、月200Kmほど走り三食食べてビールも毎日飲んでいますが、ほぼ6か月周期で年間53～56Kgの体重変動を繰り返しています。

2024.04.18

107 「運動でのエネルギー消費」はひとそれぞれ？

・週末のテニスや野球は「心のリフレッシュ」にとって必要（やめられない）なものなのですが、それだけではメタボリック・シンドロームなどの「基礎疾患」を防ぐことはできないようです。単純に考えると、365日の「基礎代謝+活動代謝」という「消費カロリー」と食事で摂取される「摂取カロリー」とのバランスで増量や減量は決まるのですが、日常の「生活習慣」としての私たちの年間を通しての行動パターンは意外と意識されていないようです。

・例えば、健康づくりの基準とされる週3〜4回20分のランニングをしていても、仕事や家で毎日13時間座っていれば、睡眠時間を除いた残り3〜4時間を「どう過ごしていたのか」が問題となりますし、食事などでの摂取カロリーとの関係も問題となります。

（例えば毎日300Kcalのカロリー消費の余剰があれば $33\text{ g} \times 365$ 日で年間体脂肪12Kg相当の増加）。米・メイヨークリニックのレヴァイン先生は、同じ体格の人であっても、日常の生活パターンで1日の消費カロリーが2000Kcalも異なること（NEAT：非運動性活動熱生産の動態）を指摘しています。

・ところがデューク大学の人類進化学のボンツァー先生は、「一般的な総カロリー消費量推定法は間違っている」として、単なる機械と異なる私たちの身体は大変に複雑であり、いろいろな要因を加算していても1日の活動レベルと1日の消費カロリーとはほとんど関係がない・・・との見解を示しています。そして、狩猟採集民である活動的なアフリカのハッザの人たちと欧米の人たちとのエネルギー消費量はほぼ同等であるとの測定結果から、1日のカロリー消費量を一定の狭い範囲に収める「制限的日次カロリー消費モデル」を提示します（小巻靖子訳：運動しても痩せないのはなぜか、草思社、2022年）。つまり運動量が増えても、身体はそれ以外の活動にエネルギーを費やすのを控え、1日のカロリー消費量を一定の範囲に抑えるメカニズムが働いていると指摘します。因みに、運動に対する適応としての「エネルギー効率の改善」はエネルギー消費量を若干低下させることが考えられますが、「訓練」と「技術」の影響は予想外に小さいことも指摘しています。

・運動生理学的には、同一距離を同一速度で走った場合の消費エネルギーは「体重」の影響がありますが、実際には発汗による体重減少やランニングスキルの運動効率を改善する工夫など様々な要因が複雑に絡んでくる（ストライドを抑えてハイピッチ走法に転換するとか「カーボンプレート入りの厚底シューズ」に履き換える：数%ランニング効率が改善される場合がある）ため「ひとそれぞれの」カロリー消費量となっているようです。

2024.04.04

108 「超加工食品」って何ですか？

「最近「超加工食品」の健康への影響が話題となっており、メキシコでの食生活の急変が肥満の劇的な増加を招いていることが紹介されています（NHK：ヒューマンエイジ 食への欲望、2024 年放映）。

「超加工食品」の定義は、2016 年にブラジルの研究者らが提唱した「NOVA 分類」にしたがったもので、加工度により食品をグループ分けしています。第 1 群は、新鮮な、あるいは冷凍の果物や野菜や魚介類や肉類、小麦粉、乾燥パスタや生パスタなど、未加工または最小限の加工しかされていない食品で、1 つの原材料のみからできているもの。第 2 群は、植物油、砂糖、コーンスターチなどの「加工食品の原料」で、未加工食品から直接抽出されるもの。第 3 群は、防腐剤の入っていないベーカリーパン、ほとんどのチーズ、塩と水だけを加えて缶詰にしたツナ缶や豆や野菜の缶詰などの「加工食品」。そして第 4 群が「超加工食品」とされるソーダ、キャンディー、クッキー、ケーキ、エナジーバー、フルーツヨーグルト、食品代替バー、シェイク、ホットドッグ、大量生産された各種包装パン、シリアル、冷凍食品などです。

塩分、糖分、飽和脂肪酸のとりすぎが、慢性の炎症、高血圧、高血糖、心臓病、2 型糖尿病などにつながることはよく知られていますが、超加工食品の摂取量が増加すると、肥満を誘発するだけでなく、がんのリスクを 12%、認知症のリスクを 25%を上昇するのなど様々な指摘がなされています。

ボストン大学のシェル先生は、栄養学者のホール先生の研究を引用して、栄養士が綿密に調整したカロリーやエネルギー密度、脂肪、炭水化物、タンパク質、砂糖、ナトリウム、食物繊維の量をそろえた自由選択メニューでは 超加工食品のメニューで一日 500Kcal 多く摂取し、2 週間で 900g の体重増加を招いたことを紹介しています（食欲の暴走を招く？超加工食品、別冊日経サイエンス：食と健康、2020 年）。

特に工業化で精製されたトウモロコシや大豆からの「異性化液糖」「加工デンプン」などが食品に加工（当然これらの生成抽出されたものには天然由来の「食物繊維」は一切含まれていません）され、ハンバーガーで 50%、ミルクシェイクでは 80%がトウモロコシ由来であることが指摘され、まさに高度に加工された「食品の単一化」となっているのです。また養殖された牛や豚や魚でもこれらの穀物由来の餌で育てられたものであることも指摘されています。

2024.11.30

109 「食欲」は何によって決まるのですか？

1994年に発見された「レプチン」というホルモンは、脂肪細胞から分泌されて脳内の摂食中枢を刺激します。強力な飽食シグナルを伝達し、交感神経活動亢進によるエネルギー消費増大をもたらすもので、肥満や体重増加に関連するものとして注目されています。

正常な状態では、摂食中枢のレプチン受容体が刺激を受け「満腹感」を発生するのですが、肥満状態になるとレプチン受容体の「抵抗性」が亢進して摂食行動が抑制されなくなります。自然科学研究機構・基礎生物学研究所の研究では「PTPRJ」という酵素が働くとレプチン抵抗性が増大して肥満マウスになるのですが、PTPRJを欠損したマウスでは、食後の血糖値の上昇がおだやかで、インスリンの働きが増大し、正常なマウスと比べ体長は同じだが、食餌摂食量が少なく、低体重で脂肪量が少ないことを報告しています。膵臓から分泌されるインスリンは、食後に上昇した血糖値を低下させる働きがあり、「糖毒性（血糖値の異常な上昇により血管内タンパク質の損傷を招く）」を抑制すると考えられており、1型糖尿病（後天性ではないタイプ）ではインスリン注射などが必要となります。

また食品には、グリセミックインデックス（GI）という食物をグルコース（ブドウ糖）に変換する速度の指標があります。高GI食品（容易に消化される炭水化物や人工甘味料の多いもの）と低GI食品（タンパク質や食物繊維を多く含むもの）との比較では、高GI食品の過剰摂取が長期的に体脂肪の増加を招くことが指摘されています。また前回紹介した「超加工食品」の過剰摂取も食欲亢進を招きます。

つまり「正常な食事内容」を逸脱したケースが継続すると「食欲が異常亢進」して脂肪の増加による体重増を招くようなのです。食物繊維を多く含む「精進料理」が健康に良いことやアスリートの食事では「和食メニュー」が薦められていること（ただし摂取カロリー総量は普通の人の2倍以上ですが・・・）もこのことと関連しているようです。

2024.12.03

110 女性の極端な痩せ志向の問題点は？

軽量化が有利と考えられている女子の競技種目は、陸上競技長距離や新体操（細く手足の長い方が良い？）、フィギュアスケート（跳躍の高さや回転数が評価）などがあげられます。しかし、競技力としての筋出力の高さや後半でのスピード持久力も求められますので単純に軽量であればよいという訳ではありません。アスリートの軽量化は筋量を維持しての体脂肪の減少であり、増量では体脂肪を増やさずに筋肉量を増やすことが求められます。

ただ女子アスリートの場合、体脂肪率が 12%以下となると生理不順や骨密度低下を招き FAT（女子選手の 3 主兆）の弊害も指摘されてますので注意が必要です。FAT は、強迫観念ともいえる「深刻な摂食障害」を誘発し無月経や骨密度低下を招き、選手生命を奪うほどの深刻な事態を招きます。

この「痩身願望」は一般女性であっても存在します。実は 20 年前のマネキン人形では、現在市販されている G パンや上着は入らないそうで、服装業界を含め「痩身志向」を推進しているようです。身体運動を行わない一般女性の場合でも、1 日 1950Kcal のエネルギー摂取が必要なのですが 1500Kcal 未満の女性が増えていることも指摘されています（NHK：クローズアップ現代～ニッポンの女性は「やせすぎ」!?、2015 年放映）。

単純に不足分の 450Kcal の体内組織からの補填を計算すれば、脂肪は 50 g、糖質とタンパク質は 112 g に相当します。しかし脂肪の分解には手間がかかる（ミトコンドリア内の β 酸化プロセスが必要）ので優先的に糖質（グリコーゲン）を分解しますが、グリコーゲンは脳機能を維持するのに絶対に必要なものなので脳機能の低下を招きます。またタンパク質では筋や内臓組織、免疫細胞などを分解しますのでまさに「活動レベル」や「生命機能」の低下などきわめて不健康な状態を招いてしまいます。

また最近話題の「低糖質ダイエット」では、摂取食品のタンパク質・脂肪・炭水化物の割合（P F C バランスといい 20：15：65 の和食メニューが健康的とされる）を「相対的ジャンクフード化」することとなり栄養バランスも崩壊します。サプリメント摂取はあくまでも「栄養補助食品」ですのでトータルな食事内容を改善してくれるわけではありません。

やはり「運動－栄養－休養」の枠組みの中で、必要な食事内容と三食摂取のタイミングを計っていくことが重要なのだと思います。

2024.12.18

111 女子アスリートの「FAT」って何ですか？

駅伝シーズンとなりましたが、TVで放映される女子長距離選手は「細〜い！」という印象を強く感じます。実はTV映像で「細い」と感じる選手の皆さんは、直接見ることがあると本当に細いのです（普通の体形の選手もTV放映では“ガッチリ”しているように見えます）。

食事にも気を使いながら月500〜800Km以上走りますので体脂肪率も低く、月間走行距離と5000mなどの記録との相関も指摘されています。

新谷仁美選手は、本人がSNSで発信しているように、2013年モスクワ世界選手権女子10000mで5位に入賞した際は、身長165cmで体重40Kg、体脂肪率3%であったとのことですが、問題はこの時点で「無月経」であったことです。そして一時期引退後再び2020年東京五輪を目指し、2019年の日本選手権では2013年の記録を越える「日本新記録」で優勝していますが、実はこの時は「生理初日」だったそうです。新谷選手は自分のシビアな経験から、女子長距離選手が「無月経」となるようなトレーニング内容に対して選手や指導者に強い警告を発信しています（NHK：#アスリートは黙らない、2021年放映）。

女子アスリートのFAT（3主兆）とは、①利用可能エネルギー不足（過度な栄養摂取制限）、②視床下部性無月経（体脂肪率12%以下で頻発）、③骨粗鬆症（生理周期に関わるエストロゲンというホルモン不足にともなういわば“更年期並みの骨密度低下”）を指します。当然日常の練習でのエネルギー消費を支えることはできませんので筋や免疫細胞の分解で「生存するため」のエネルギーを補填します。骨密度は更年期女性並みのレベルですので月800Kmを越える練習量では容易に「疲労骨折」を発症します。そして摂食障害は「絶食」とその反動での「過食と直後の嘔吐」を誘発します。

これらの問題点を理解していない（理解しようとしない？）指導者の間違ったトレーニングのガイドラインは、女子アスリートの心理的問題をも引き起こします。実はFATを発症しやすい心理的特徴は「完璧主義（1位以外は意味がない）」「（指導者に対しての）良い子志向」「自己抑制志向」などがあると言われています（Health Management for Female Athletes－女性アスリートのための月経対策ハンドブック、東京大学附属病院 女性診療科・産科、2016年）。

2024.12.17

112 腸内細菌がパフォーマンスを改善？

2019 年・ハーバード大学の研究グループが、ボストンマラソン完走者のパフォーマンスと腸内細菌との関係进行分析し、「ベイオネラ菌」という腸内細菌が運動によって生成された乳酸を「プロピオン酸」に変換（エサとして処理）しそれが肝臓に運ばれて有酸素エネルギーとして再利用される可能性を指摘し、マウスを使った実験では有酸素能力が 13%改善されるとのデータも示されました。2020 年・慶應大学の福田真嗣先生は、腸内細菌が作る短鎖脂肪酸が持久力を向上させ、タイムの良い選手ほどその腸内細菌が多い可能性を報告しています。また運動習慣により腸内細菌叢のバランスが変化すること、多様性の高い腸内細菌叢を保有しアミノ酸合成や炭水化物代謝の経路や短鎖脂肪酸の濃度が高いことを指摘します（福田真嗣編、腸内細菌叢、羊土社、2019 年）。

有名な「乳酸シャトル」は筋肉内で速筋線維で生成した乳酸を、そのまま混在しているミトコンドリアの豊富な遅筋線維がエネルギーに変換するものですが、これは乳酸が腸に送られ、腸内細菌が短鎖脂肪酸に変換して肝臓に戻すという少しスパンの長いプロセスとなります。

特定の腸内細菌がアレルギーの発症や免疫細胞の暴走を抑制することは以前から知られていました（NHK：新人体_腸が免疫のカギだった・2018 年放映）が、パフォーマンスとの関係も最近多く指摘されてきています。これは、遺伝子解析のコラムでも触れた「次世代シーケンサー」の登場が大きなインパクトとなっています。従来の腸内細菌の研究方法は便のサンプルを培養して分析していたのですが、今は便から直接 DNA を取り出します（時間をおいてサンプリングをすると情報が失われたり変性したりする）。

順天堂大学病院では重篤な「潰瘍性大腸炎」の治療に、好ましくない腸内細菌叢を抗生物質で除去してから他人からの「便移植」で対応する方法を行っています（順天堂大学・石川大先生）。面白いことに移植対象者は年の離れた親子ではなく兄弟などの親族の方が好結果が得られているとのこと（NHK：ヒューマニエンス_腸内細菌・2022 年放映）。

ただあくまでも大腸炎治療のための医療措置なので、便移植療法でパフォーマンスを改善するようなことはあり得ません。やはりトレーニング方法や食事内容の改善（食物繊維や乳酸菌等の意図的摂取）で対応してゆくこととなります。

2022.05.11

113 腸内細菌叢の「多様性」って何ですか？

最近話題の腸内細菌叢（フローラ）ですが、腸内細菌の多様性が失われると様々な不都合を引き起こすことが指摘されています。かつて、ブルガリアの長寿村の研究から牛由来の腸内細菌が関係していることが指摘され「ヨーグルト」が注目されてましたが、実はそれだけではなく長寿村の伝統的食材や料理法によって後天的な遺伝子変異（エピジェネティック）も含め総合的に長寿に貢献していることが分かってきています（日本人がブルガリアのヨーグルトだけを摂取しても効果は限定的？）。

腸内細菌（Microbiota）は生物進化の営みの中で私たちのおなかに住み着いたもので「免疫寛容」という仕組みで自身の免疫システムからは攻撃されません。有名なビフィズス菌や乳酸菌、悪さをする大腸菌やピロリ菌、ウェルシュ菌などなどの善玉菌 2 割、悪玉菌 1 割、日和見菌 7 割のおよそ 100 兆個が、悪さをしたりビタミンや酪酸などの栄養素の合成をしたりしながら共存しています。また、子どもは出産の際にお母さんの産道で最初の「洗礼」を受けその後母乳からお母さんの腸内細菌叢をもらって成長してゆき、3 歳くらいの腸内フローラが最も好ましいパターンであるといわれています。そして老化に伴ってビフィズス菌などの善玉菌が減少してゆくこともよく知られています。

京都府立医科大学の内藤裕二先生は、日本人 1800 人分の AI 解析データから、腸内細菌叢が A~E の 5 つのタイプに分類されることを示し、「高たんぱく高脂質食」「洋風バランス食」「炭水化物偏重食」「高たんぱく高脂質＋多マヨネーズ食」「和風バランス食」といった食事内容（摂南大学データによる）に対応して腸内細菌の様相が大きく異なっていることを指摘しました。そしてタイプ A はタイプ E と比較して糖尿病や高血圧のリスクが 11~12 倍高く、それまでの食習慣を反映している可能性を指摘します。そして、多様な腸内細菌叢を維持するためには、乳酸菌やビフィズス菌等の摂取に加え、腸内細菌の「エサ」となる水溶性植物繊維の摂取を推奨しています（NHK：クローズアップ現代、腸内細菌、2022 年放映）。

つまりキーワードは「腸内環境（細菌叢）の多様性」のようで、食事や運動といった生活習慣をダイレクトに反映し、腸内細菌叢の単純化は「潰瘍性大腸炎」などの重篤な障害を引き起こします。

さらにロンドン大学のスペクター先生は「腸内細菌の殺戮兵器」としての抗生物質の存在（特定の菌に特化した「狭域抗生物質」ではなく非特異的な「広域抗生物質」の乱用）を指摘します。つまり抗生物質によって生得的な腸内細菌叢がクリアされてしまい様々な不都合を発症するリスクです（T.スペクター、ダイエットの科学、白楊社、2017 年）。じつは病原性大腸菌による重症の下痢は、病原性大腸菌が他の腸内細菌を「追い出し」て縄張りを独占するための戦略ではないかというジョークがある位なのです。

2022.10.21

114 遺伝子と腸内細菌叢は関連して変化する？

ロンドン大学のT.スペクター先生は、健康に関わる双子研究の第一人者です。最近の著書で、肥満や糖尿病といった私たち人類にとっての「時限爆弾」が、巷で様々な問題を引き起こしている「非科学的ダイエット」によって更に深刻化していることを指摘しています（ダイエットの科学、白揚社、2017年）。そして、「ジャンクフード」や「トランス脂肪酸」などが引き起こす健康障害は明確であるのに対して、いわゆる「健康にいい」とされる様々な食品の効用が、地域と個人によって異なることを指摘します。

確かにイヌイットの人たちのアザラシ肉や内臓、脂肪など動物由来96%のカロリー摂取であるのに対してペルー高地ケチャの人たちは植物由来95%のカロリー摂取であり、タンザニアのハッザの人たちは野生動物の肉とハチミツ、ベリーや塊茎が主食で、ケニアのマサイの人たちは肉と牛乳の大量摂取と少量の野菜、アマゾンのヤノマミの人たちは加熱調理したバナナやキャッサバの主食に野菜、果物、昆虫とわずかな野生動物の肉、というそれぞれが地域特有の「メニュー」でそれなりの健康を維持しています。実はこのことが根拠の乏しい様々な「〇×ダイエット法」が横行する背景でもあります。

有名な旧ソ連のメチニコフ博士のコーカサス地方の長寿研究では、牛由来とされる「腸内細菌叢」が、長い歴史の中で営々と築き上げてきた食生活と生活習慣とに関連してヨーグルトなどの乳製品を「餌」として好ましい腸内環境を生みだし長寿を支えているものと考えられています。健康的とされる「地中海料理」もイギリスの人たちへの貢献度は限定的であることも象徴的です。いわゆる「腸内細菌叢」が地域特有の食メニューから必要な栄養素とメッセージ物質をつくり出していることは間違いのないことのように、この「腸内細菌叢の多様性」が失われると潰瘍性大腸炎や免疫細胞の暴走をまねくことも指摘されています（NHK：ヒューマニエンス 腸内細菌、2021年放映）。

このように長期にわたる食習慣に対応して私たちの腸内細菌叢は、集団的にも個人的にも変容してきたようで、様々な機能を発現する遺伝子スイッチの発現にも関連しているようです。最近「エピジェネティックス」といって各種遺伝子スイッチの「後天的なオン＝オフ」を変化させて遺伝子を変化させる働きがあることが指摘されてきています。

国立遺伝学研究所の佐々木裕之先生は、いわば「獲得形質が遺伝する？」との仮説との関連を指摘し、エピジェネティックな病気発症のメカニズムと「DNAメチル化（塩基配列には変化を与えないで化学装飾というかたちで遺伝子に目印をつけ、遺伝子に転写してゆく）」や遺伝情報に関わる「ヒストン受容体」との関係から環境要因や生活習慣とも関連してメチル化が起こる可能性を指摘します（エピジェネティック入門、岩波書店、2005年）。

2022.06.23

115 スポーツ実施中の暑さ対策は？

人類（ホモ・サピエンス）は 20 万年の進化の中で「発汗による体温調節」を獲得した極めて珍しい「動物」です。これは、アフリカのサバンナで「昼間」に移動する必要性があったからです。「持久狩猟」といって、発汗により体温調節のできないシカ（アンテロープ）を 20～30Km 追い回して熱中症にして仕留めます。ライオンやヒョウも発汗による体温調節ができませんので昼間は寝ていて安全です（まさに”ライオンは寝ている”！）。

発汗により体温調節ができるものを「能動汗腺」といいます。これは子どもの頃の生育環境によってその数が決まり、後天的なトレーニングでは増加しないといわれています。これが暑さに強い「ヒートランナー」がいる所以です。

ですから「発汗機能」があまりよくない（他人より汗をかきにくい）人の場合は、長時間体温上昇を伴うような運動は苦手ということです。ただし、長距離ランニングを繰り返すと発汗機能は改善しますし、その日の体調によっても発汗機能は異なります。

スポーツ実施中は、発汗のための適切な水分補給が必要です。また、水だけを飲んでいると塩分補給が追いつかず「低ナトリウム血症（昔でいう”水あたり”）」になり痙攣を誘発します。マラソン後半、水分補給したのに「脚の痙攣でリタイア」はこのケースが多いのです。スタート前のウォーミングアップから、300～500cc の水分やスポーツドリンクを摂取して発汗機能を活性化しておくことをお勧めします。また高温環境下では、熱中症対策のいわゆる「塩飴」など（飴ですので糖質もある）の摂取も必要かもしれません。

ウェアは「通気性」の良い素材と「襟付きやVネック」デザイン（新しいTシャツなどの通気性のない”丸首”はNG）が体熱の排出（伝導・対流・輻射・蒸散の4ルート）には有利です。（続く・・・）

2017/12/15

116 「熱中症」と「低体温症」

私たちヒト（ホモサピエンス）は、発汗による体温調節のできる珍しい動物です。そして「恒常性」といって体内環境を極めて狭い範囲に安定させながら熱帯から氷雪環境に至るまで進出し、様々な身体活動を行ってきました。

体温調節にかかわって「体毛」を失ったため、寒冷環境においては衣服をまとして保温をする必要が生まれました。ちなみに絶滅したネアンデルタール人は「縫い針」を発明しなかったとされ毛皮を羽織っていたようです。また身体が大きく脚が短く発熱源の筋肉量も多かったようで、消費カロリーの多い分摂取カロリーも高かったと推定されています。

私たちは「恒常性」を持っているがゆえ、暑熱環境や寒冷環境下での身体運動時の体温変動は運動遂行に大きな影響を与えます。

「熱中症」は、継続される運動により数分間で3～4度上昇する「産熱」を十分に「放熱」できないため直腸温が40度を超えて発症します。世界のトップクラスのランナーの参加する夏の五輪や世界選手権のマラソンでも30～40%がリタイアします。

一方、冬のマラソンやロードレースで最近報告される「低体温症」によるリタイアや救急搬送は、深部体温が35度以下になる症状（28度以下は重症とされる）です。厳しい環境要因（低温・雨や雪による濡れ・強い風など）によって、ペース低下（発熱量減少）や過度の放熱（対流・伝導・輻射など）が誘発され、寒さ・ふるえ・悪心・嘔吐・意識障害等の症状がみられ、医療機関への緊急搬送も報告されています。

最近選手も「アームウォーマー」「帽子」「タイツ」などで冬のレースに備えるようになりましたが、かつてはランニングとパンツという軽装で臨んで、いわゆる「30Kmの壁（筋グリコーゲンの枯渇）」で調子を崩し、疾走速度が低下して低体温症で苦しんでいる選手も多かったようです。

また、熱生産のエネルギー源である糖質摂取（たんぱく質も食後の熱生産効率が良い）も大事です。冬のレースに「空腹」で参加するとトラブルの原因となりますので注意しましょう。

2017/12/22

117 暑い時に走っていると・・・

最近の異常な暑さの中で走っている方は大変な苦勞をされていることと思います。

いつものコースをいつものペースで走っているのに途中から心拍数が上がってきて下がらなくなる・・・という経験はありませんか？

これは CVD (Cardio-Vascular-Drift) という現象と関係があるようです。

暑熱環境下では発汗量が増大して血液の粘度が上昇します。つまり「濃い（重たい）血液」になるので全身に送り出すのに苦勞することとなります。そこで一回拍出量を減らして心拍数を増加させる（自転車のギアチェンジのようなイメージ）戦略をとって酸素供給量を確保しているようなのです。また末梢血管も拡張させて血流抵抗を減らしても対応しているようです。（林恵嗣・西谷保：暑熱、寒冷環境、斉藤満編「循環 運動時の調節と適応 II」、NAP、2007 年）

通常のランニング中にも発生するのですが暑熱環境下では顕著に現れます。重症化すると体調不良を誘発しますので、通常より水分摂取量を増やす必要があるようです。

運動開始前に 350～500cc の水分を摂取することが薦められていますが、あまりに暑い時は運動中であっても「経口補水液（ジェリー状のものも含む）」の摂取が有効なこともあります。水分だけの摂取の場合には発汗によるミネラルの損失が補えずに「低ナトリウム血症」を引き起こして痙攣や意識障害を招くことがありますので注意してください。

他のスポーツ活動中であっても心拍数をモニターしていないと気が付かないことがありますので注意が必要です。「なんか変？」と感じたら一旦運動を注視して水分補給を心がけてください。

2023.08.15

118 発汗量が多いのは “マズイ” のでしょうか？

マラソンレースのTV中継序盤、アナウンサーが「〇〇選手、大変汗をかいていますが大丈夫でしょうか？」とコメントすることがあります。多分その根拠は「大量発汗」≡「水分損失」≡「脱水症発症」という図式があるようなのですが、大量発汗している選手がそのまま上位でゴールすることもあります。また運動時の発汗量は個人差が大きく、環境温度や湿度や運動強度との関係でも大きく変容しますし、ミネラルの損失によるトラブル（水分のみの摂取による低ナトリウム血症発症など）にも対応する必要があります。

現在世界的レベルにある日本競歩陣は、この発汗量と水分摂取に関するスポーツ医科学的サポートを最大限活用しています（NHK：“歩いて”東京オリンピック金メダルへ、2020年放映）。

競歩競技をサポートする医科学チームは、レース当日の気象コンディションを想定し、スタート後何時間で気温と湿度、コースの路面温度（現在の大会は2～2.5Kmの周回コースで実施される）が変化するのも予想したうえでの給水計画（給水地点での給水量やスペシャルドリンクの内容）を立てます。

日本陸連科学委員長の日体大・杉田正明先生は、運動生理学的には2%の発汗量からパフォーマンスが低下するとのデータから、事前のトレーニング段階から選手個々人の発汗特性を把握して対応しています。発汗量はほぼ体重変動（エネルギー産生のための糖や脂肪の消費量は100g以下）ですので、トレーニング時の気温や湿度を考慮した体重変動から発汗特性を推定します。また、安静時の汗は汗腺での塩分再吸収があるので無味無臭なのですが、多量の発汗時は再吸収が間に合わないので汗にミネラル（ナトリウムやカリウム、アンモニアなど）が混入してきます。そしてミネラル損失量にも個人差がありますので、体重変動のチェックとともに背中に張ったパッチを回収・分析してミネラル成分の分析も行います。ある選手の30Km練習時のデータでは発汗量が3.4%と推定され、本来であれば1610ml必要であるのに760mlしか給水していないことがわかりトレーニング時からの適切な水分補給を心掛けるようになった（選手本人の意識改革の成功）ことが報告されています。そして、選手の発汗特性に合わせて給水量やスペシャルドリンクの摂取タイミングを決定します。また、暑熱環境で行われるオリンピックや世界選手権では「冷却グッズ」を準備します。帽子内部や頸や手掌につける冷却材の映像を見た方もいらっしゃると思います。

「大量発汗」は暑熱適応に対するその個人の適切な反応であると考えられますで、必要な水分とミネラルの補給を心掛けることで脱水や熱中症のトラブルを回避することができます。ところが実際には推奨されている運動開始前の水分摂取（ウォーターローディング：350～500ml）の実施や運動序盤での水分摂取を心掛けている選手が少ないのも事実なのです。

119 お酒を飲んだ翌朝の運動は・・・？

定期的に運動を行っていても「飲酒習慣」のある方は多いと思います（私もそうですが・・・）。そこで話題となるのが飲酒と運動の関係で「適量」とは何かということです。

飲酒によるアルコール摂取はヒトに様々な反応をもたらします。最近話題の「ノンアルコール飲料」は大変良くできていて味も香りも「本物」並みなので、過去の経験と重ね合わせて「リラックス感」や「親近感」を生み出します（顔が赤くなったり心拍数が上がったりする人もいます）。

アルコールも薬と同じで「消化」の必要がないので胃で20%程がすぐに吸収され20～30分ほどで「酔い」が始まります。そして人体最大の化学工場である肝臓に送られ、90%程は「アルコール脱水素酵素（ADH）」によってアセトアルデヒドに分解され、残る10%は汗や尿や呼気から体外に排出されます。

このアセトアルデヒドは毒性を持っており、顔が赤くなったり動悸や吐き気、頭痛などの原因となりますので、肝臓での次の解毒作用として「アセトアルデヒド脱水素酵素（ALDH2）」によって酢酸（お酢）に分解されます。アセトアルデヒドが分解しきれずに翌朝も体内に残っているのがいわゆる「二日酔い」状態です。

このアセトアルデヒド脱水素酵素の働きが強い人がいわゆる「酒豪」で、働きが弱い人がお酒に弱い人になります。人類の進化のプロセス（ヒトとチンパンジーなどの共通のご先祖だったころ）で、腐った果実（発酵してアルコールを含む）も食べる生存戦略で生き残ってきたようなのですが、アジアでは水田農耕が起こった南部の人たちはお酒に弱い（中国内陸部の人には強い）とされています。これは、アセトアルデヒドを分解せずに残して体内で感染する水辺の細菌への対抗措置として獲得されてきたのではないかとユニークな仮説があります（NHK、食の起源：酒、2021年放映）。

個人差もありますが、ビール1缶（350cc）のアルコール分解に2～3時間かかると言われてしますので、大量の飲酒の翌朝はまだアセトアルデヒドが残っている「二日酔い状態」です。私の実験では、「1次会」で終了した場合よりも「2次会」まで行ってしまうと、ランニング前の安静時心拍数が高く、ランニング開始からいつもより10拍ほど心拍数が高いのですが、さらに1時間走後の心拍数が60分以上たってもなかなか低下しないというデータがあります（山崎健、飲酒翌日のランニング、1994年ランニング学会大会）。ランナーの方はいつもご自分の心拍数をモニターしていると思いますが、ランニング前の心拍数が高いときは「ご用心！」。

2023.03.28

120 「〇×ダイエット」で健康上は大丈夫なの？

先日（3/25）、NHKで「フロンティア：糖でヒトは進化した」が放映されました。

実は「低糖質ダイエット（糖質制限）」や「パレオダイエット（石器時代並みに肉食優先）」や「ヴィーガンダイエット（動物製食品を摂取しない）」など様々なダイエット法が紹介されていますが、「スポーツ栄養学の視点」から見ればいずれもアスリートには不適切な方法です。当然「運動－栄養－休養」を基本とする健康的なライフマネジメントの観点からNGということとなります。

実は他の番組でも指摘されていることなのですが、肉食に偏ったパレオダイエットは人類学的には事実誤認です。狩猟採集生活を実施していたといっても獲物である動物を日常的に狩猟することは困難で、採集による「果実」「木の実」「根茎」「塊茎」などの炭水化物（澱粉）を摂取することが原則となります。ハーバード大学のランガム先生は、200 万年前のホモ・エレクトスの段階から火の利用による「加熱調理」が澱粉から糖質への変換を可能とし、脳の大型化を促したとの指摘をしています（R. ランガム、火の賜物 ヒトは料理で進化した、NTT 出版、2010 年）。

では何故このような様々なダイエット法に関心を集めるのでしょうか？

最大の要因はハーバード大学のリーバーマン先生が指摘する「ミスマッチ病」です。これは、メタボリックシンドローム・2型糖尿病・肝硬変・冠状動脈疾患など47の症例に代表される健康障害で、人類の進化プロセスに逆行する「ディスエボリューション」とされています（D. リーバーマン、人体600万年史、早川書房、2015年）。お馴染みの「過食」「運動不足」「精神的ストレスと社会的不安感」「生活リズムの乱れ」などなど様々な要因が複合して体脂肪（内臓脂肪）の過度な増加を誘発することによるものです。内臓脂肪からは「アディポサイトカイン」と総称される様々な生理活性物質が分泌され「高血圧」「冠状動脈疾患」「高血糖症による糖尿病」などを誘発します。

このことから「内臓脂肪の過度な蓄積」を改善するための食事制限としての総カロリー量の「適正化」のための様々なガイドラインが示されています。体脂肪蓄積は「貯金」に当たりますので「解約」する必要があります。身体運動量を確保してカロリー消費を増やす「普通預金の解約」が前提ですが、過度な体脂肪はいわば「高額定期預金」に当たりますので解約にはそれなりの時間と方法が必要で、長期間の「断食」などの劇的な方法も試みられています。

従来通りの「日常生活」と「食事」を繰り返しては「定期預金」は解約されませんので、「糖質制限」や「非動物食」などの様々な「実行可能なダイエット方法」が提案されることとなります。（続く）

121 PFC バランスと腸内細菌叢

「NHK「フロンティア：糖で人は進化した」で紹介されたパプアニューギニア高地の人たちは、主食はほぼ「サツマイモ」であるにもかかわらず筋肉隆々であり、サツマイモに含まれる1%弱のタンパク質の再合成・再利用を行う腸内細菌叢を持っていることが紹介されました。そしてこの腸内細菌叢の様相には大きな集団差や個人差があります。

「イヌイットの人たちはアザラシ肉や内臓、脂肪など動物由来96%のカロリー摂取であり、ペルー高地ケチャの人たちは植物由来95%のカロリー摂取であること。アフリカタンザニアのハッザの人たちは野生動物の肉とハチミツ、ベリーや塊茎が主食で、ケニアのマサイの人たちは肉と牛乳の大量摂取と少量の野菜、アマゾンのヤノマミの人たちは加熱調理したバナナやキャッサバの主食に野菜、果物、昆虫とわずかな野生動物の肉、というそれぞれが地域特有の「メニュー」でそれなりの健康を維持しています（W.レナード、美食が人類を進化させた、別冊日経サイエンス：食と健康、2020年）。

「このタンパク質（P）・脂肪（F）・炭水化物（C）の比率から構成される食事内容は「PFC バランス」と呼ばれています。和食は健康食とされ、通常男性 2500Kcal/日では、15：25：60 となりますが、ハードなアスリートの 4500Kcal/日では、13：30：57 となります。炭水化物は1gが4Kcalで脂肪の1g9Kcalに比較して「かさ」が大きくなり消化不良を引き起こすので脂質の割合が増加しますし、エナジーゼリーなどの補食も必要となります。

「ロンドン大学のスペクター先生は、肥満や糖尿病といった私たち人類にとっての「時限爆弾」が、巷で様々な問題を引き起こしている「非科学的ダイエット」によって更に深刻化していることを指摘しています（T.スペクター、ダイエットの科学、白揚社、2017年）。そして、「ジャンクフード」や「トランス脂肪酸」などが引き起こす健康障害は明確であるのに対して、いわゆる「健康によい」とされる様々な食品の効用が、地域と個人によって異なることを指摘します。健康的とされる「地中海料理」もイギリスの人たちへの貢献度は限定的であることも象徴的で、いわゆる「腸内細菌叢」が地域特有の食メニューから必要な栄養素とメッセージ物質をつくり出していることは間違いのないことのように、この「腸内細菌叢の多様性」が失われると潰瘍性大腸炎や免疫細胞の暴走をまねくことも指摘されています（NHK：ヒューマニエンス 腸内細菌、2021年放映）。

「腸内細菌叢の多様性は、個人の食事内容や運動習慣・生活習慣によって経時的に変化してゆきますので、現在は便の検査による検査サービスが提供されており、その結果に応じて食事内容の個人差メニューを提供するサービス（同じ食品でも結果に個人差が生ずる）もあるようです。

運動と遺伝子

122 遺伝子解析とゲノム編集

21 世紀にはいって遺伝子解析の急速な発展が起こり「次世代シーケンサー」といわれる解析手法を用いた全ゲノム解析が進み、それに関わり幾つかの運動機能に関連する遺伝子（遺伝子多型）が特定されてきています。順天堂大学の福典之先生は、筋力・筋パワーや最大酸素摂取量、速筋と遅筋の筋組成に関わる遺伝的要因の関係について 56 の遺伝子座が検討されていることを指摘しています。速筋線維の構造に関連する ACTN3 遺伝子多型で有名な RR 型・RX 型が速筋系筋線維に発現するのに対し XX 型と持続的能力との明確な対応はみられないこと、国際級の長距離ランナーでは RR 型や RX 型の頻度が高いこと、血管収縮に関連する ACE 遺伝子に関してはアジア人とヨーロッパ人では表現型が異なること、有酸素的能力に関与すると考えられる細胞ミトコンドリア DNA 多型（全ゲノム DNA とは異なる）にも持続的能力だけではなく瞬発系の運動能力にも関与する「ハプログループ」が存在することを指摘しています。これらの遺伝子多型の解析は選手の運動能力の「適性判定」に寄与する可能性があることも論議されています。（福典之、DNA とパフォーマンスの関係、SPORTS SCIENCE MAGAZINE、ベースボール・マガジン社、2015 年）

一方、iPS 細胞に代表される遺伝子操作に関わる革命的方法の進展は、研究者からは「ある意味ではヒトをつくるほうが簡単」とのコメントも寄せられています。「ミオスタチン」という筋再生にかかわるホルモンは食用のため「簡単に筋肉の多い動物（当然食料利用の生産性需要が高い）」をつくり出しており、このミオスタチンの遺伝子操作をすれば「筋力アップ」した「人間」が誕生する可能性は否定できません（というか懸念されています）。

スポーツ工学のシェフィールド・ハラム大学のヘイク先生は、身体能力の増強に関して世界アンチドーピング機構（WADA）が治療に関わる TUE 申請で、治療に限って幹細胞治療を認めているのですが、そのドーピング利用の可能性に懸念を示しています。マウスの実験では遺伝子改変による遅筋系筋線維の増加や肝臓や腎臓の脂肪組織における代謝を亢進させる PEPCK-C 酵素を改変した「スーパーマウス」の事例も報告され、貧血治療に用いられる「レポキシジン」使用の可能性も懸念しています。（S.ヘイク：藤原多伽夫訳、スポーツはどこへ行く：スポーツを変えたテクノロジー、白揚社、2020 年）

2018 年中国での双子の胎児へのゲノム編集を行いエイズウィルスへの耐性を持つ遺伝子操作を実施したことが倫理面を含め大きな話題となりました。また「優性教育」を標榜する中国政府のスタンスから受精卵へのゲノム編集実施（いわゆる“デザイナー・ベビー”）を加速するのではないかと懸念も持たれています。難病治療のための遺伝子操作の可能性と“人間改造”の可能性がどこまで許容されるかはまさに“未来への分岐点”なのかもしれません。（堀内健太、ゲノムテクノロジーの光と影：テクノロジーは神か悪魔か 2030 未来への分岐点 II、NHK 出版、2021 年）

2022.04.27

123 ジャンプ力遺伝子？

2010 年 NHK 放映の「金メダル遺伝子を探せ」では、速筋線維の機能に関係する ACTN3 遺伝子だけではなく、他の様々な遺伝子が示されました（善家賢、金メダル遺伝子を探せ！、角川書店、2010 年）。そのなかで、東京健康長寿医療センターの田中雅嗣研究部長が、日本屈指のスプリンター・朝原宣治氏の遺伝子解析を行い、10 の遺伝子の 11 の発現型からそれぞれを 0・1・2 点で評価して 22 点満点で評価する方法を紹介していました。それぞれの遺伝子（多型）は「1 回最大挙上重量」「ピークトルク」「徐脂肪体重（筋量：3 種）」「筋再生（2 種）」「腕の筋量」「ジャンプ力」「筋力」そして「ACTN3＝スプリント能力」から評価され、22 点満点で 18 点とやはり天性のスプリンターであったことが証明されました。また、筋の再生だけではなく筋の萎縮や筋力低下を防ぐ遺伝子スコアも高く、筋量にかかわる遺伝子からも 36 歳までオリンピック選手を継続できた背景がうかがえます。

ところが、走幅跳 8m13 の記録を持つ朝原選手のジャンプ力に関連するとされる遺伝子（NR3C1）が 0 点という評価が示されました。朝原選手は「僕は垂直跳は全然ダメなんです。そういうジャンプ力のこともかもしれませんね」とのコメントでした。

じつはジャンプには垂直跳や立幅跳のように膝の屈曲伸展を最大限に使う「ゼロー Max.」タイプのものと走幅跳やカンガルージャンプのように弾性エネルギーの再利用というリバウンドジャンプの 2 種類があります。秒速 11m の助走スピードから「膝の屈曲伸展」を使っているのは潰れてしまって跳躍することができないのです。

ですから運動関連遺伝子だけでは、機能評価はできても、実際の表現型では異なる結果をもたらすようなのです。

ケニアのカレンジン族長距離ランナーの遺伝子構成は、ジャマイカのスプリンターと同様の瞬発型の筋遺伝子をもっていて ACTN3 遺伝子の TT（XX）型が長距離に有利との定説とは異なっています。ケニア人ランナーの持続的能力の指標である「最大酸素摂取量」はそれほど高くないことも指摘されていて、運動能力はそう単純には決定されていないようなのです。

2019.01.18

124 運動にかかわる遺伝子って？

最近「遺伝子検査」サービスが話題となっています。ガンや生活習慣病、肥満や肌のタイプなどのリスクについて数万円程度で検査結果がわかるとうたっています。医学研究では血液採集が主流ですが、通常の検査キットは「唾液（口腔内皮のかげら）」を採集して送付する方式です。

結果の受け止め方は様々なようで「全くあてはまらない」から「何となく納得できる」まであります。遺伝子の判定は、特定の遺伝子（多型といいます）についてその「機能」や「表現型」から推測します。また、質問項目（本人や親族の身体状況や既往歴など）への回答からも判定しているようです。

スポーツに関係して話題になるのが筋の性質を決めると考えられている ACTN3 という遺伝子で、バンクーバー冬季五輪の 2010 年 2 月に「金メダル遺伝子を探せ」の TV 放映で話題となりました。

ACTN3 の 577 番目にある速筋系筋線維の構造を強化するアルギニンというたんぱく質を作れるか否かで「CC (RR) 型」「CT (RX) 型」「TT (XX) 型」に分類され、CC 型は「瞬発系競技」に TT 型は「持久系競技」に向いているとされています。

特殊なたんぱく質を作らない能力が何故持久的運動に有利なのかについては、オーストリアのノースが、ネズミの持久的能力の実験で TT 型に類似したマウスのほうが長時間運動を継続できるとのデータが根拠です。ただこれはランニングベルトの速度が遅いので、ベルトの速度が速ければ、短時間でも TT 型はついていけず CC 型は走れるということを意味しています。

じつは私も 3 年前にこの「運動遺伝子検査」を受けたところ、三段跳選手である私の筋線維のタイプは TT 型で、一流跳躍選手になれなかった理由が垣間見えました。

また持久的能力にかかわる他の遺伝子多型に ACE があります。これは血圧上昇にかかわるアンギオテンシノーゲンというホルモンに関連する因子で、血管収縮能力に関連していて、持久型と瞬発型にかかわります。更に PPARGC1A 遺伝子は、有酸素的能力にかかわる筋肉内のミトコンドリアの生合成（PGC-1 アルファたんぱく質の増殖）にかかわる因子で、持久的トレーニングの効果に関連しています。この遺伝子がネガティブなタイプの人、持久的トレーニングの効果が期待されませんので「走るのなんか大嫌い！」となるのかもしれませんが、ただし、持久的運動は健康維持のために必要ですので、テニスやバドミントンや卓球を長〜く楽しくやる必要があるのです。

2019.01.09

125 DNA スイッチ？

私たちの全遺伝子（ゲノム）はデオキシリボ核酸（DNA）という形でアデニン（A）、グアニン（G）、シトシン（C）、チミン（T）という4つの塩基から二重らせん構造で構成されていることはよく知られています。2020年放映のNHK特集「人体 遺伝子」では、この塩基30億個から構成される全ゲノムのうち、からだを構成するタンパク質を生成する役割が明確ないわゆる「遺伝子」は2%程度で、他の98%の役割は従来はあまり良く知られていなかったことからタンパク質を生成しない“非コード領域”とされ、“ジャンク DNA”と表現されていた時代もあったとしています。ところが最近の研究では、その98%のDNAがどうやら2%の遺伝子のコントローラーの役割を担っているらしいのです（ラザフォード、ゲノムが語る人類全史、文芸春秋、2017年）。放映ではこれら98%の中に様々な機能（健康や病気）や形態（身体つきや顔つき）に関する「トレジャー（お宝？）DNA」があることを指摘しています。そしてこれらの遺伝子は受精に際して両親からのゲノム30億塩基のうち70個程の“突然変異”が生じるとのアイスランドのdeCODE社のステファンソン教授の研究を紹介しています。遺伝子変異で生存に有利なものは淘汰圧となり私たちに貢献します。私たちホモサピエンスに2%ほど含まれているネアンデルタール人由来の遺伝子は、5万年にわたった世界拡散の中で寒冷環境への適応や免疫遺伝子への貢献があったとされています。

さらにこの遺伝子の変異が「DNA スイッチ」ともいうべき役割を果たしていることを指摘し、生活習慣を反映した遺伝子変異が生ずるということ、更にそれらが「受精」に際してリセットされず、孫子の代にまで影響するといったスウェーデンのカロリンスカ研究所のビグレン教授の研究を紹介しています。これは北部の孤立した村の疫学研究の結果、祖父の代に「大豊作」を経験した子孫が心臓病や糖尿病を高い頻度で発症していること、さらにオーストリアのアデレード大学でのマウスを用いたシミュレーション実験での同様の結果を紹介しています。

つまり98%に含まれる様々な遺伝子スイッチのONやOFFが、私たちの健康や様々な能力に影響を与えておりそれが受精に際して子どもに引き継がれる可能性があるということです。故に私たちはいつも“清く正しく”生きないといけないのでしょうか？

2020.12.15

126 練習した能力は遺伝する？

2020 年放映の NHK 特集「遺伝子」では「DNA スイッチ」が、現在の生活習慣を反映し、ついには「食欲」や「脂肪蓄積」のスイッチが ON のままで受精により子どもに反映される・・・という指摘がありましたが本当なのでしょうか？

どうやら身体にとって不利益となる遺伝子の「メチル化」と呼ばれる DNA の二重らせんをクチャクチャにして遺伝子発現を抑制する「負の遺産」は、食事や運動などのコントロールで遺伝子レベルでも改善されるようです。オリーブオイルやナッツなどの「地中海食」によって脂肪生成や肥満や炎症の抑制に関わる遺伝子が増えるとのスペイン・ナバーラ大学のマルチネズ教授の研究が紹介されています（別の研究ではイギリス人では効果が低かったとの報告もあります）。デンマークでは「精子トレーニング」というタイトルで、男性が有酸素トレーニングを実施してメタボリックシンドローム傾向を改善して受精に備える運動プログラムが実施されており、運動実施にともなう脳由来神経成長因子（BDNF）が記憶力のアップに関わっていることなども指摘されています。

運動能力にかかわる遺伝子はいくつかが特定されています。筋繊維の収縮特性に関連した ACTN3 遺伝子は有名ですが、他にも血管収縮に関与する ACE 遺伝子やエネルギー生産の主役ミトコンドリアの増加に関わる PGC-1 α を発現する遺伝子などの運動能力遺伝子（持久的運動が不得意な人はこの遺伝子の増加傾向が低いので運動が楽しくない・・・走るのなんか大嫌い！となる）の検査はビジネスレベルで広く利用（1 万円程度）されています。

ただ、これらの遺伝子は潜在的なものであり、またミトコンドリアの DNA は母系遺伝で男性のミトコンドリア DNA は受精の際に排除されます。つまりお母さんの持久的能力は子どもに伝わる可能性があるのですがお父さんのミトコンドリア増殖遺伝子は伝わらないようです。また、遺伝的には獲得していてもそれなりのトレーニングを行わなければ、瞬発的能力も持久的能力も開花することはなく「遺伝型（先天的）」と「表現型（後天的）」ともいう関係になります。

トレーニングによって改善された能力は遺伝するのかどうかということでこの「DNA スイッチ」が注目されているのですが、アスリートの DNA スイッチはおそらく健康や運動に好ましい方向に調整されているので何とも言えません。実はゲノム編集により能力や性質を変えようとする「デザイナーベビー」や「遺伝子ドーピング」という可能性も現実のものとなってくるのかもしれないのです。

2020.12.15

127 “過去の経験”は「記憶されている？」

2022年9月に行われた第77回日本体力医学会で「運動が多臓器に誘導する多彩なエピジェネティクス調整機構」というシンポジウムがありました。エピジェネティクスというのはいわゆる「遺伝子スイッチ」として遺伝子の発現を調整するもので「後成遺伝学」という新しい研究分野です。1600組の遺伝子的にほぼ等しい「一卵性双生児」の一人がガンになる原因は遺伝子由来は8%ほどで、他は遺伝子に影響を与える何らかの要因の「引き金がかかれたこと」によること、スウェーデンでのメタボリックシンドロームが原因とみられる死亡例が高かった村では「祖父の代での大豊作」が遺伝子スイッチをオンにして平均して15年ほど寿命が短かったという報告もあります（NHKスペシャル「人体」取材班、遺伝子、医学書院、2020年）。

このエピジェネティクスを引き起こすメカニズムは、「メチル化」といって遺伝子を“くちゃくちゃ”にして転写を進めたり阻害したりするものと、4個の「ヒストン」というたんぱく質に2重のDNAが巻き付いた（八畳体）「クロマチン」というビーズ状の構造が転写可能と転写抑制とを装飾していると考えられています（佐々木裕之、エピジェネティクス入門、岩波書店、2005年）。

そして、どうやらこのメカニズムが“過去の経験”を反映しているようで、体力医学会のシンポジウムでは、高校時代の運動経験がその後の再トレーニングにおいても機能の改善に影響を与えているようで、クロマチンの4つのたんぱく（H2A/H2B/H3/H4）が過去の運動経験時に「入れ替わって再合成（ヒストン置換）」されたもの（運動誘発性の装飾）が長期にわたって転写されている（順天堂大学・吉岡松本利典先生／松本大学・河野史倫先生）ようなのです。これは「トレーニングの中断と再開」や「怪我からのリハビリテーション」などにもかかわるメカニズムのようで、さらに運動実施による脳由来神経成長因子（BDNF）の発現により、脳の運動野や認知症に関わる海馬の不安関連遺伝子の変化にも影響を与え（北海道大学・前島洋先生）ており、更に妊娠期の運動が子の肥満予防効果を規定するとの報告もありました（東北大学・楠山譲三先生）。

つまり「じじ・ばばの経験は孫にも伝わっている」？（続く）

2022.09.26

128 「進化」は獲得形質の遺伝ではないのですか？

「進化」というと何か生存に有利な一定の方向に適応しているように思われます。しかし「突然変異」と「自然淘汰」そして遺伝的進化の関係は大変複雑です。

1940年代に旧ソ連の植物学者のルイセンコが小麦の品種改良にかかわって「獲得された形質は遺伝する」という説（ミチューリン＝ルイセンコ学説）を発表し、当時のソ連指導部にも支持され（おそらく後天的な努力によって人間は発達するのであって生まれつきの差は克服できるとの教育哲学に通じる？）、それまでの「獲得された形質は遺伝しない」という学説と対立する「二つの遺伝学論争」が世界的な規模で展開されました（佐藤七郎、遺伝学と進化学の諸問題：武谷三男編『自然科学概論 第2巻』、勁草書房、1960年）。国立遺伝学研究所の佐々木裕之先生は、旧ソ連での指導部の行き過ぎた反対派の粛清が逆に旧ソ連の遺伝学の発展を著しく阻害したことを指摘し、現在の遺伝学研究では獲得された形質の遺伝は、遺伝子スイッチとしてのメチル化やヒストン置換というエピジェネティクス（後成遺伝学）が担っていることを指摘します（佐々木裕之、エピジェネティクス入門、岩波書店、2005年）。

人類の進化のプロセスを考えても、アフリカに20種以上存在した我々の祖先が、食性や狩猟採集行動と集団数との関係（食料量との関係）で生存と消滅を繰り返し、現世人類（ホモ・サピエンス）のみが生き残っていることはよく知られています。様々な遺伝的形質のうち生存に有利な個体が生き残るという「淘汰圧」があったことは事実ですがいわゆる「神の意志」のような「定方進化」ではなかったようで「たまたま」生き残ったようなのです。また、私たちホモ・サピエンスのご先祖様が10万年前以降「出アフリカ」を果たして世界拡散をする（いわゆるグレートジャーニー）のですが、中東でネアンデルタール人と交雑しアジアでデニソワ人（先行してアフリカを出たホモ・エレクトスの子孫と考えられている）と交雑していることが遺伝子解析から解明されており、それぞれから生存に有利な遺伝子を受け継いで（2～6%）現在に至っているようなのです（NHKスペシャル「人類誕生」制作班、大逆転！奇跡の人類史、NHK出版、2018年）。

そして進化と適応との関係をエピジェネティクスとして考えると、ハーバード大学のリーバーマン先生が指摘するように長期間にわたって獲得された人類形質との「ミスマッチ」による「ディスエボリューション（進化の否定）」を世代を超えて引き継ぐ危険性も否定はできません。ケント大学のクリガン＝リード先生はこの問題を「人新世（アントロポセン）」の「サピエンス異変（Primate Change）」と指摘しています（V.クリガン＝リード：水谷・鍛原役、サピエンス異変、飛鳥新社、2018年）。

129 3つのパフォーマンス

鹿屋体育大学の福永哲夫先生が、1985年に「マッスル・パフォーマンス」「モーター・パフォーマンス」「スポーツ・パフォーマンス」という概念を示し、エネルギー発揮の側面からその「階層性」を指摘しました。ボート競技のローイング動作でいえば、膝を伸ばしたり後ろに反ったりオールを引く動作はそれぞれに関与する筋のパフォーマンス（出力）が重要だが、最後にオールに力を加えるには全身動作のパフォーマンス（漕ぐ力）が重要であり、最終的なボートの速さを決めるには更にボートやパドルの形状、オールの硬さ（弾性係数）などが関与して決定されるというものです。やり投げのところででもお話したのですが「弾性体としてのやりの構造」は、選手の出力特性とかかわって重要な因子です。男子マスターズ陸上のトップクラスのやり投選手の方が、M60クラスから600g（女子の規格）に変わるときに「日本国内の女子用やりは柔らかすぎて使えない」とのコメントを残されています。選手のモーター・パフォーマンスは70m級なのに女子やりは60m級で設計されているかららしく、これも「インピーダンス・マッチング」と関連しています。

パフォーマンスを改善するために「筋力トレーニング」を実施するのですが、実は「向上した筋力は向上させた使い方で最も効率よく発揮される」という「特異性の原則」があるのです。マシンや器具を使った動かし方は、実際のスポーツの動作とは異なりますので「再構成（トレーニング）」をして「マッスル」から「モーター」や「スポーツ」パフォーマンス改善への取り組みが必要です。

東京大学の小林寛道先生は「認知動作型トレーニングマシン」を提唱し、スプリント動作マシンやアニマルウォーキングマシンなど動作とパワー発揮を結びつける大変独創的なメソッドを提示しその効果を示しています（お近くに「十坪ジム」といった施設があれば利用できます）。

実は「全く新しいコンセプトの用具」が当初使いこなせないのは、その用具に応じた「マッスル」と「モーター」のパフォーマンス改善ができていないからなのです。さらに「3×3システム」のところででもお話したように「マッスル・パフォーマンス」は低下（いわゆる疲労発現）しますのでそれに応じた対応が必要で、これが「コーディネーション（協応性）」トレーニングが必要な本来の意味だと思うのです。

130 用具とパフォーマンス

ランニングシューズだけではなく、様々な新テクノロジーをうたった用具が発売されると何となく「使ってみたいな～」という感情が生まれます。

厚底シューズが話題になった時も「履いてタイムアップできるなら使ってみようか？」と思った方も多かったと思います。

テニスの「デカラケ」や「カービングスキー」は、今や当たり前のように皆さん使用していますが、発売当初は様々な意見が登場しました。「打ちやすい」「回しやすい」「軽くて操作が楽」という肯定派と「きちんとした技術が習得できない」「適当にできしてしまう」「シビアな用途には使えない」という慎重派がいました。結果的に言えば「デカラケ」も「カービングスキー」もなくなることはなく、それぞれのコンセプトの中で「入門用」「中級用」「上級用」と用途を限定して高性能化しています。

工学的な用語で「インピーダンス・マッチング」という概念があります。本来は入出力での機器間の抵抗値をそろえることです（例えばオーディオのスピーカーは4Ωとか8Ωの抵抗値・・・ヘッドフォンは32Ωなど・・・があるのでそれに合わせて本来の音楽のディテール：全情報が再現できるようにアンプの出力仕様が設定されています）。

投擲競技でいうと男子砲丸とハンマーは7.26Kg、円盤は2Kg、やり投げ800gですのでそれぞれの重さと動作に合わせた筋の出力特性が求められます。ところが「ペットボトル投げ」といって自分が最も遠くに投げることのできる重量を自分で調節する課題をやってみると個人個人で微妙に重さが違います。500gが最も飛距離が出る人もいれば600gの方が飛距離が出る人がいます。つまり自分の出力特性に合わせた重量があるようなのです。さらにやり投げの場合は、投げる瞬間（リリースといいます）にやりが撓みその撓みが戻る反発係数によって飛距離が決まるので「弾性体としてのやり」を考慮しなくてははいけません。自分の投げ動作の特性に対して「柔らかか過ぎる」ものも「かた過ぎる」ものもこの撓みを上手く利用することができず飛距離が出ないのです。ある指導者の方が「女子用600gのやり（男子用より軽くて柔らかい）をうまく投げられる男子選手はスキルレベルが高い」と評価していました。

水泳でも泳速にあわせたキックやプルの動作速度があって、必要以上に速くキックやプル動作をしても泳速には貢献しないことも指摘されています。

ゆえに「革新的なテクノロジー」をうたった用具を使用したからと言って自分の出力特性とのミスマッチが生ずることもあり、動きと出力特性を変えるトレーニングのプロセスが必要となります。

1998年の長野五輪で、新たに登場した踵部分の離れる「スラップスケート」への対応が遅れ、前シーズン連戦連勝・無敵であった堀井学選手の苦闘はこの典型例だったので。スラップスケート登場以前は銀メダリスト・ウォザースプーン選手は「普通の選手」であり、スタートダッシュを得意とする清水宏保選手は登場前後も「相変わらずトップ選手」の金メダリストであったことも象徴的な出来事でした。

131 厚底シューズの威力は？

最近話題の N 社の厚底シューズ・・・重量は 200～250g 程度なので厚底の割には軽いのですがポイントは反発性の高いカーボンプレートを挿入している点です。履いたらみんな自己ベスト更新・・・との噂が流れ品薄で予約待ちの状況も・・・値段は高いものでも 3 万円で普及モデルは 1 万円・・・かつての競泳水着：レーザーレーサーのように数万円で予選と決勝 2 本でおしまい・・・に比べれば高いわけではありませんし、履いて自己ベストが出るなら魅力的な選択肢のひとつになります。

A 社とウェア契約をしている大学が全員 N 社のシューズで箱根を走りました。「商標」に関する陸上競技のルールでは、ウェアとシューズのメーカーは同じでなくともよいのですが関係者の間では少し話題になっています。

問題はこの高反発性を生み出すカーボンプレートが、ルール上で禁止されている「バネ」に該当するかです。しかし陸上競技の短距離用スパイクでは、すでにカーボンプレート内蔵の硬く設計されたものが市販・使用されているので、即「違反なので使用停止」とはならないように思います。鹿屋体育大学の永田隆先生は、この短距離用スパイクで、厚さ（反発性）の異なるカーボンシートについて選手の脚力や体重との関連を含め検討をされています。この研究では選手のタイプに合わせて反発性の異なるカーボンシートを選択したほうがパフォーマンスが改善される可能性があることを示唆されていますので、おそらく長距離ランナーでも市販のものがマッチする選手とそうでない選手がいるものと思われます。

実はランニングフォームにはプロポーションも含め様々なタイプがあり、大変複雑な関係にあります。また、レース前半と後半とではランニングスキルを変える必要があるのですが「シューズ交換」という究極の選択肢もあるのかもしれません。

2020.01.10

132 厚底シューズ規制基準は？

2019年1月31日、世界陸連はいわゆる「厚底シューズ」に関する規制基準を示しました。①ソールの厚さは40mm以内、②カーボンプレートは1枚のみ、③東京五輪での使用は、4月までに市販されているもの、そして④「試作品」は使用禁止です。実は④の規制基準が実質的には最も厳しく、選手に合わせてアレンジすることができなくなります。これは「公平性」の点からも、通常は使えない高額な素材を使用して記録を伸ばしメーカーの宣伝塔となることを規制したもので、この点はもっと早くから規制すべきだったと思います。

N社の厚底シューズは2017年から販売されています。ただソールが厚いだけではなく、反発力のあるカーボンプレートをサンドイッチしていて、柔らかいソールのクッション部分がつぶれるとカーボンプレートが撓んで元に戻る反発力を推進力に利用できる、との理論です。ですから薄くて硬い靴底ではプレートが撓まないで踵側のプレート下が柔らかく厚くなっていないと反発力がうまく利用できない構造です。このことから「踵着地」ではなく「フォアフットかフラット着地」でないとこの撓み現象は起こりにくいと考えられます。また、高速で走った方が4%ほど効率が良くなるとのデータ（モデル名の由来）も示されています。またN社はこのシューズ以外にもカーボンプレートのない厚底シューズを「エキデンレース用」として市販もしています。

ただ、使用したトップ選手の感想のほとんどは「クッション性が良く足の疲労感が少ない」というもので「推進力が得られる」というものはないようです。また、カーボンプレートの反発力や靴底の柔らかさと体重やレースでの疾走速度、ランニングスキルとの相性もあるようで、誰でもがハーフマラソンやフルマラソンが速く走れるというわけではないと思われます。この推進力に貢献するかどうかは、工学的には「インピーダンスマッチング」と表現されます。例えば水泳のキックやプルの動作が速いからといって必ずしも推進力に貢献しないことと同じです。また、ハーフマラソンやフルマラソンではレースの前半・中半と後半ではランニングスキルが変容（通常ハイピッチモードに変わる）しますので最後まで同じようにランニング効率に貢献できるかどうかはわかりません（通常の実験では限定された時間のみの分析）。

長時間に及ぶレース中のランナーとシューズの関係は大変に複雑なのだと思います。ちなみに規制対象は「陸連登録者」のみで一般ランナーの方は対象外です。マラソン30Km地点で「シューズ履き替え」という離れ業も可能です。

2020.02.02

133 いわゆる「厚底シューズ」の規制基準が変わりました

2020年12月に、世界陸連（WA）がいわゆる「厚底シューズ」に関する規定を改定しました。有効期限は2021年8月まで（五輪後）です。

全体的なポイントは、①市販されていて規則に準じていてメーカーがWAに申請登録していること、②市販されているものを足のケガなどを防ぐために改造したもの（外反母趾への対応など）、③市販目的でテストシューズとして開発されたものはWAに申請すること・・・が使用可能で、④個人のためだけ作られた市販されていない「唯一無二」のシューズは使用禁止となります。

また、トラックレースでは、800m以下の距離は20mm以下、800m以上のレースでは25mm以下で、例外的に競歩競技だけが40mm以下となっています。もしも役員に黙ってレースの時に取り換えて25mm以上の厚さのシューズで走ると「失格」になるばかりではなくそのレース自体が無効になり「新記録も無効」となる可能性があります。また、道路競争は従来通り40mm以下となっています。

本年3月のランニング学会で東海大学の丹治史弥先生が、ランニングシューズとランニングエコノミー（効率）に関するプロジェクトの報告を行い、同じ40mm厚のシューズでもカーボンプレートを入れたモデルでは平均6%近くランニング効率が高いこととともに選手によってはランニング効率が低下することを指摘しています。さらにカーボンプレート入りの厚底シューズでは「最大スピード時の血中乳酸濃度が高い」という興味ある結果を示しました。最大スピード時の血中乳酸濃度が高いということは「速筋系繊維が利用されている」ということで、ランニングスキルを変えている可能性があるのです。変わったランニングスキルがその選手とマッチしていれば結果としてのパフォーマンスが向上するということのようにです。また、踵接地気味の選手や足首や膝をうまく使っている選手では逆に恩恵を受けにくいようなのです。

結論はまだはっきりしないのですが、厚底だけ（当然シューズの重量が増えますのでエネルギーは必要となります）ではランニング効率はあまり変わらず、カーボンプレートの挠みをフラット接地やフォアフット接地ではうまく利用することができる選手にはランニング効率改善に貢献しているようなのです。

因みに陸上競技連盟未登録のランナーはどんなシューズを履いてもかまいません。30Km 地点でシューズ交換という必殺技も可能です。実はロードレースでのシューズチェックをどうやって行うのかは陸上競技連盟としても頭の痛いところです。一般の競技会では「選手召集所」でチェックできるのですが1万人を超えるレースでは「陸連登録者」だけをスタート前にチェックすることはできないので、入賞者だけゴール後シューズチェックをするしか方法がないようです。

2021.04.28

134 “フォアフット接地”て何ですか？

マラソン男子で日本記録を更新した大迫傑選手に関わって「フォアフット接地（着地）」が注目されています。これは、ケニア人ランナーの強さの秘密にかかわって、最大酸素摂取量という持久力の指標はほぼ同じなのに「ランニング効率（いわば燃費）」が大きく異なることとの関連から関心を集めている要因の一つです。リフトバレーという高地環境での生活、子どもの頃からの生活習慣、プロポーション（特に下腿の長さや細さ）、フォアフット接地に代表されるランニングスキル、ハングリー精神などなど様々な仮説が検討されていますが結論は得られていません。遺伝的要因から考えれば、同じケニア人（カレン人族）でも世界トップクラスの選手もいれば日本人より遅い選手もいます。このことはエチオピア人ランナーのオモロ族やジャマイカ人スプリンターでも同様です。

ですから「速い選手」は何が異なっているのかを解明することが第一義的問題です。そして、ではその違いは「生活経験やトレーニングによって改善されるのか」あるいは「遺伝的に決定されていることなので不可能なのか」という研究が必要となってきます。

「フォアフット接地」は、踵から接地する「リアフット接地」に比べて幾つかの優れた点があることが指摘されています。一つは、裸足に近い感覚で接地するので「接地衝撃が少ない」ということです。もう一つはリアフット接地では前方で接地して踵がブレーキをかけ、その減速した分を取り返そうとエネルギーを無駄遣いするので下腿の筋への負担が大きくなるのではないかと、という点です。ただし、フォアフット接地といっても「つま先走り」ではなく、踵もほぼ同時に接地していますのでかつては「フラット接地」とも表現されていました。

また、ケニア人ランナーの細くて長い下腿の形状は、エネルギー消費が少なく前方に振り出しても戻ってきやすい（より重心に近い位置に接地できる）という特徴も指摘されています。

この下腿の形状だけはトレーニングでは変更しにくいのですが、意識的にランニング動作を変更することができれば改善効果は得られます。足首の屈曲や伸展による無駄な動きを制限すればふくらはぎの腓腹筋の肥大は起こりません。スタートダッシュのような足首の動きを日常的に制限することに努めれば、下腿の形状の変容が起こる可能性があるのです。ただし、瞬間的なダッシュ力は犠牲にしなくてはなりません。

実は短距離スプリントでは、スタートダッシュでは足首や膝関節の伸展が必要なのですが、30m以降の最高スピード区間では、足首や膝関節を固定して使わない方がより効率的であることが解明されてきています。（続く）

135 裸足のランニングは？

ケニア人ランナーの「フォアフット接地」に関連して、子どもの頃から裸足で走り回っているので「深部足底屈筋群」が発達してそのような走り方を可能としていることが指摘されています。この筋は足底の縦横アーチを形成して「バネ」を生み出します。一方ふくらはぎの「腓腹筋」は足首を伸ばすことで力を生み出しその場ジャンプやダッシュ力に貢献しますが、疾走速度が高いとエネルギーが大きくなるので貢献（関与）しにくくなってきます。これは、疾走速度が増大するにつれて、推進力を生み出す主役が「足首」⇒「膝」⇒「股関節」へと移ってゆくからです。

ランニングシューズには「衝撃吸収性」と「反発性」という矛盾した性能が求められます。あまりに柔らかいとショックは緩衝してくれるのですが反発性がありません。ベアフット（裸足）シューズといわれるヒールもソールも薄いタイプでは、反発性はあるのですが衝撃吸収性がないため、「踵接地」は改善されるのですが脚へのショック（ストレス）が増加してランニング障害を誘発することがあります。

また、シューズの重さが増えるとエネルギー消費量が増加し、長時間走っていると後半疲労感が生じます。かといってあまりにも軽いシューズ（かつては片足 100 g 以下の製品もあった）では、接地衝撃の吸収（緩衝）にも筋力を使ってしまうのです。ですからシューズメーカーは、この矛盾を解決しようと軽いが衝撃吸収性がありかつある程度の反発力のある素材（クッション材）の開発に力を入れています。

裸足やベアフットシューズでのランニングは、踵接地をすると衝撃が大きいので自然とフォアフット（フラット）接地になるのですが、この衝撃の緩衝に使われる筋力発揮（膝関節の動きで前面の大腿四頭筋が対応する）をいかに軽減できるのかがポイントとなります。

原理は実に簡単で「ストライド（歩幅）を狭くする」のです。ストライドが狭ければ滞空時間が短いので接地エネルギー衝撃は少なくなりますので緩衝エネルギーも軽減されます。また、接地位置もブレーキのかかる前方から、腰の下に近くなります。ただし、ストライドを狭くするとスピードが落ちますので回転数（ピッチ）を上げる必要性が出てきます。実は、 $\text{疾走速度} = \text{ストライド長} \times \text{ピッチ}$ という関係は、短距離スプリントであっても長距離ランニングであっても同様で、「ピッチアップ」こそがスピード持久力改善のポイントのようなのです。そして、接地衝撃の軽減が可能となるのでランニング障害の発症予防にも貢献する可能性があるのです。

136 義足使用とパフォーマンス

2012 年のロンドン大会から障がい者スポーツやパラリンピック関係の話題がマスコミにも多く登場するようになりました。2019 年 11 月のドバイの世界陸上ではライブ中継も・・・

障がい者スポーツのレベルは高く、イラン・ラーマン選手の持つ重量挙げパワーリフティングの世界記録 310Kg は、健常者を上回っています（サポートウェアをつけない”ノー・ギア”タイプ）。陸上・走幅跳のドイツ・レーム選手の 8m48 も、世界選手権や五輪の記録を上回る驚異的なものです。

障がい者と健常者が同じトップクラスの競技会で競い合うようになったのは、2008 年北京五輪・陸上 400m 出場に向けに挑戦を開始した南ア・ピストリウス選手が最初です。問題は「義足が有利に働くか否か」で、当初世界陸連は選考対象の競技会出場を認めませんでした。その後「有利に作用するとは言えない」との裁定があり、北京五輪出場は参加標準記録に 0.3 秒届かなかったのですが、翌年の世界選手権やロンドン五輪では準決勝にまで進出しています。

走幅跳のレーム選手は、ロンドンパラリンピックでは 7m35 でしたが、2015 年ドーハの障がい者世界選手権では驚異的記録の 8m40 を跳躍しました。レーム選手は、2012 年から同じ義足を使用しているので記録向上はトレーニングの成果であるとのコメントを残しています。ドイツ選手権では 5 年前から、レーム選手の記録が健常者の記録を上回っているのですが「ドイツ選手権者」としては表彰されず 1～3 位にレーム選手を加えた 4 名の表彰セレモニーの後、レーム選手に別途金メダルを授与するということになっているようで、「メダルはいらないと言ったが、ドイツ陸上連盟がそうしたいと言うんだ。障害者が健常者と同じ距離を跳べることを示して、パラスポーツを宣伝したいただけなんだ」とのレーム選手のコメント（日経新聞：2019 年 9 月 12 日より）です。

2019.11.11

137 義足は有利なのか？

レーム選手の障がいクラスは膝下切断（T64）、日本の山本篤選手は障がいの程度が上の膝上切断（T63）で6m62の記録を持っています。両者の記録の差は1m86cm、ただT64クラスの歴代2位とも1m以上の差がありレーム選手の記録が突出していることを示しています。400mのピストリウス選手は膝下切断クラスで45秒07の世界記録を持っていますが、2016年リオ・パラリンピック400mでは上位3名がいずれも46秒台とレベルアップしてきています。

外部からエネルギーを得ているわけではないので、義足を撓ませてエネルギーを蓄えるのは自身の体重と筋力とスキルとの「身体の使い方」でなされます。この点で「助力」とはいえないのですが「運動様式」が異なるか否かが論議の分かれるところだと思います。車いす（Wheel Chair）でのフルマラソンは、障がいの軽いクラスではハインツ選手の1時間20分14秒が世界記録です。これは運動様式が全く異なりますので有利不利はありません。自転車競技で小型モーターを隠して着装する「メカニカル・ドーピング」も「外部動力」使用の不正を規制したものです。

また、走幅跳は「義足側」で踏切ますが、走高跳では「健足側」で日本の鈴木徹選手が2m00をクリアしています。これは助走スピードの変換方向に関係しているのかもしれませんが、単純に「義足が有利」とは言えないように思います。レーム選手は、7mジャンパーだったころは「よく頑張っているね」といわれていたのに、8mを超えて五輪出場が現実味を帯びてきたころから、代表枠の人数を含め「義足は有利ではないか？」と他のコーチから問題視されるようになったとコメントしていました。

私自身は、同様の運動様式で障がい者と健常者がともに競い合うということに特に問題はないのだと思います。車いすテニスは「ツーバウンド・ルール」がありますが、かつて国枝慎吾選手は関東選手権に通常のルールで参加していました・・勝った相手選手は”完全アウェー状態（？）”だったとコメントしていたそうですが・・。

2012年のロンドン五輪でピストリウス選手が400mと1600mリレーに出場して「門戸」を開きました。私たちが「人々の多様性を尊重し共生してゆく社会」を目指すとき、障がい者とともに競い合うスポーツは「人間の尊厳とは何か？」を改めて問いかけてきているように思うのです。

2019.11.13

138 脳の代償性適応？

障がい者アスリートに関わって、東京大学の中澤公孝先生（リハビリテーション科学）が運動機能をつかさどる脳の機能について fMRI（磁気共鳴機能画像法）という手法を使って興味ある知見を発表しています。

パワーリフティング競技で健常者を上回る（305Kg 以上）とされるイランのラーマン選手の運動にかかわる脳の活動領域について、下肢機能の喪失が上肢機能の発達を促したとする可能性を示唆しています。これは、走幅跳のレーム選手でも、踏切脚である右足を動かすときに、健常者であれば左半球の膝を動かすのに該当する運動野の活動があるのに対し、レーム選手では右半球も活発に活動していて、更に動作感覚にかかわると考えられている右側の二次体性感覚野にも活動がみられるデータが示されています。これはリハビリテーションのプロセスの中で義足からの感覚入力を膝でいわば「翻訳」するような機能を獲得したのではないかと考えられています。

パラ・アーチェリーのマット・スタッツマン選手は生まれつき両腕がなく、右脚で弓を支えたスタイルで世界最長距離射的でギネスブックにも登録され、健常者ランキングでも全米8位になったこともあります。マット選手は、弓を構えた時の身体の動揺がほとんどなく、脳機能も右脚を動かす際、該当部位だけではなく左半球全体が活動しているデータが示されていました（2017、NHK 放映）。

脳のこのような「代償性適応」は視覚障がい者や聴覚障がい者でも指摘されていることで私たちの身体機能の無限の可能性を示唆しているようです。

東京大学の多賀巖太郎先生は、「神経系」「身体系」「環境系」の三者の不断のトップダウンとボトムアップの反復によりシステムが完成されてゆくモデルを示し、個々の要因が全体を制限をする「スレイビング」から「シナジェティック」という、システムを構成する多数の要素が相互作用により全体としての秩序を生み出す協力現象の概念を示し、環境の不確実性に対する「グローバルエンタテインメント（大域的引き込み）」による「脳と環境の強結合」の可能性を指摘しています。

2019.12.23

139 プレー中ガムを噛むことは？

外国人の野球選手がバッティングに際してガムを噛んでいる映像が良く見られます。日本的感覚からいうと「お行儀が悪い」とか「集中できないのでは」など批判的なコメントが多く寄せられます。仮にバッティングに支障があるとすれば、いかに文化的習慣が違うとはいえ多くの選手がプレー中にガムを噛んでいることはないものと思われる。何か効果があるのでしょうか？

私たちがかつて実験した結果では、ガムを噛み続けながら反応時間を測定すると「何もしない状況」よりも反応が速くなる結果が得られました。そして「噛みしめ続けている」と逆に反応時間が遅くなることも分かりました。これは「関節固定」にかかわって素早く動作を切り替えることができなくなるためと考えられます。

噛むことに関わる咀嚼筋の中心「咬筋」という筋肉は大変面白い筋肉で、食物の形状や硬さに応じてリズムカルな開口と閉口の咀嚼運動を調整します。ガムを噛む場合とナッツを噛む場合では対象の硬さや大きさの変化を感知し脳幹に存在する神経回路を装飾して適切な咀嚼運動を実現します。

230～130 万年前に存在し絶滅した「パラントロプス」というご先祖様は硬い根や豆などを「噛み砕く」ために咬筋に加えて強大な「側頭筋」を持ち頭蓋骨最上部はウルトラマンのような矢状突起があって丸い顔をしていたようで噛む力は私たちの 3～6 倍（ちなみに私たちの噛む力は体重相当といわれています）あったようです。一方私たちに直結する「ホモ・ハビリス」は多様な食物を摂取していたようで側頭筋の発達はありませんでした。実は私たち現代人の一食での咀嚼回数は 600 回で、弥生時代の復元食から推定される 4000 回に比べるとずいぶん少なくなっている（日本咀嚼学会・斎藤滋先生）ようですが、食材や加工調理技術の変容があっても基本的な咀嚼に関連する機能は変化していないようにも思います。

咀嚼活動にともなう咬筋からの筋感覚の信号は脳への「覚醒信号」の役割を持ちます。咬筋からの感覚シグナルは「脳幹網様体賦活系」という脳全体を覚醒させるシステムを通じて脳・神経系の活動レベルを高めます。自動車を運転していて眠気が襲ってきたときにガムや昆布やスルメを噛むことが覚醒水準を上げることは私たちも経験することです。石川県立大学の小林宏光先生は、カツオの燻製など硬い食べ物を幼稚園児に 3 か月間給食で提供したところ知能テストの成績が向上したことを指摘しており、認知症の高齢者の方が自力で食事摂取ができなくなる（チューブ食や胃ろう手術など）と重症化するとの症例を考えてみても、咀嚼運動の継続が脳の覚醒水準を向上させることがうかがえます。

マウスガードの装着時も「噛みしめ続けている」と円滑な運動の遂行や切り替えを妨げる可能性もあることから、プレー中にガムを噛むなどの「適切な口内咀嚼環境」を維持することはパフォーマンスの改善に有効なのかもしれません。

140 スポーツで使う「マウスガード」って何ですか？

アメリカンフットボールなど激しい接触を伴うスポーツ実施の場合には口の中に「マウスガード」を入れてプレイをしていて、ヘルメットからアタッチメントを介してぶら下がっていると「何コレ・・・」と思ってしまいます。

口腔内の保護の意味もありますし歯をくいしばることで「筋力発揮」に有効ともいわれ、自転車のロードレースなどでも最後の「ゴールスプリント勝負」に備えて、その直前にポケットから取り出してくわえていることもあるようです。インターネット上でも販売されていて、お湯で温めてから「喰いしばって」自分の歯型に合わせて使用することができます。

ところが私たちが行ったウェイトリフティング選手の研究（2009）では、自分の歯の咬合状態から4ミリ以上厚いマウスガードを使用した場合にはパフォーマンスの低下を招く可能性があることが分かりました。バーベルを一気に頭上に引き上げる「スナッチ」動作では、4ミリ厚のマウスガードでは動作に関わる筋電図解析で「関節固定」の傾向が強くなったのです。これに対して歯科医が製作し調整した3ミリ厚のマウスガードではそのような傾向はみられませんでした（新潟国体マウスガードプロジェクト報告書）。動作の筋電図解析では、必要な筋活動は基本的に「拮抗性」が求められますが、曲げる筋群と伸ばす筋群が「協働性」に活動すると「関節固定」をしてしまい動作の効率の遂行を妨げてしまいます。いわゆる「力んだ」状態です。

筋の活動には動作に関連して拮抗的に働く「Phasic Factor」と動作全体を背景的に支える「Tonic Factor」があります。マウスガードを必要以上に厚くしてしまうと「噛みしめ」による「協働性収縮」を誘発してしまい、その動作に必要な「拮抗性収縮」による「動作の切り替え」を妨げるようなのです。これはウェイトトレーニングの負荷（重量）設定でもいわれていることなのですが「最大挙上重量」では必要のない筋群の参加と動作を妨げる「関節固定」を招くようです。トレーニング効果の確認のためには必要かもしれませんが、日常的に行うトレーニング課題としての「1RM（1回挙上最大重量）」は多分必要がないように思います。現実的に考えても「全力」は決して「最大のパフォーマンス」をもたらすわけではないのです。

この点で必要以上に厚いマウスガードの使用は、「安全確保」のためには有効なのですが「パフォーマンス向上」のためには「制限因子」になっている可能性があるようなので、この研究は新潟の歯科医師会の先生方と「経験主義はダメ」「専門医にケアをお願いする」というキャンペーンになりました。

2022.01.22

トレーニングの科学

141 ウォーミングアップって必要なのですか？

スポーツを始めるときに、通常はいきなり運動を行わずに「準備運動 ⇒ 主運動 ⇒ 整理運動」という手順を踏みます。

準備運動の目的は、スポーツ外傷・障害の予防と主運動の効率的目的達成です。特に激しいトレーニングを行うときや特定の運動スキルの効率的獲得を目指すときには「準備運動」を工夫することの重要性が指摘されています。準備運動では、該当部位の可動域の拡大や筋温上昇などの全般的な準備だけではなく、運動形態の個別的準備も重要です。例えば、距離を目指す跳躍動作の練習実施時に、準備運動でうっかり高さを目指す跳躍運動を入れてしまうと、その後の本練習で何となく違和感を感じてしまう例もあります。また短助走での跳躍運動が全助走での跳躍運動に悪影響を与えることもあります。

このような現象の背景には「運動の特異性」があることが指摘されています。旧ソ連の走高跳のコーチ・ジャチコフは、ジャンプ運動には様々な特異性があり「一般的なジャンプ力」というものは存在しない・・・と指摘しています。速度やテンポ、リズムや強度はそれぞれのジャンプ動作で異なる・・・ということです。

ましてや球技などではポジションによって「運動の特異性」が異なります。フォワードとバックス、ゴールキーパーなどでは最終的にはそれぞれのポジションに応じた準備運動を入念に行わなくてははいけないのです。

スタティック・ストレッチングだけでは準備運動にならない・・・という指摘もこの「運動の特異性」を反映しているものと思われます。実際のプレーに類似した動きから構成されるブラジル体操などのバリスティック・ストレッチングから主要な動作のリハーサルを経て、当日の課題である主運動の実施に進んでゆくことが効率的なトレーニングには求められています（続く）。

2019.12.24

142 「動き（スキル）の獲得」が先行する・・・？

トレーニングはその種目やポジションの「特異性」に合わせて実施されます。250Kmの自転車ロードレースと42.195Kmのフルマラソンとはともに高い持久力が求められますが、持久的能力の発揮の仕方が異なります（ペダリングとランニング）。ペダリングでは「アングリング」といって真下ではなくやや前方に踏み込むテクニックが求められますのでサドルの前後位置も調整が必要です。またレース中の回転数（ケイデンス）も90～110回転/分と高いので、通常の自転車エルゴメーターの測定で用いられる60回転/分のプロトコールではレースの状況とも合致していません。筋の「3×3システム」から考えても、60回転/分では速筋繊維×ハイパワー系に負担がかかってしまいます。

一方ランニングでも踵から接地する「ヒールストライク型」では推進力にブレーキ要因が発生しますので「フラット型」や「フォアフット型」の接地が有利になりますので「ストライドをやや狭くしてピッチを上げる戦略」をとることでランニングのエネルギー効率が改善されます。最近話題の「カーボンプレート内蔵の厚底シューズ」はこの接地方法のランナーのエネルギー効率（ランニングエコノミー）が高くなることが指摘されています（丹治史弥他、カーボンファイバープレート内蔵厚底ランニングシューズによるランニングエコノミーへの影響、ランニング学研究 Vol.32、2023年）。

つまりトレーニングのプロセスでは「効率的な動き（スキル）の獲得」が先行するのであって、効率の悪い動きのままではトレーニング効果は限定的になってしまいます。また、レースの進捗に伴いエネルギー供給系が「変容（筋疲労の進行だけではなくレース戦略の変更も含む）」してきます。この点で変容したエネルギー供給系の「モード（ハイパワーモードとミドルパワーモードの比率など）」に応じて運動スキルを変容させて破綻をきたさない戦略が必要になってきます。これがいわゆる「適応制御」としての「巧みさ」です。「いろいろな動きができること」ではなく「状況に応じて適切な動きに切り替え」「破綻をきたさず最適な運動経過を継続する」ことが重要なのです。

この時、脳内での「大脳基底核」の働きが重要であることが指摘されています。複数の動作の選択肢の中から最適な経過を予測して上手く実行した場合にはその「予測誤差」が少ないことが「褒賞系（ドーパミン系）」を作動させるようなのです（強化学習）。まさに「褒めてもらう」ことが直感的な判断を支えているようです。

2023.07.05

143 「ルーチンワーク」って何ですか？

前回のラグビーワールドカップで話題になったのが五郎丸選手のキック前の「ルーチンワーク」です。重要なプレーを行う前に一定の手順を踏んだ連続した動作を繰り返すことでゴールキックを成功させるというものです。トップクラスの選手は動作の「誤差」はほとんどないのですが、やはりプレッシャーのかかるプレイの前に不安を解消し安定したプレイを実現する行動をとるようです。

引退した大相撲の高見盛関の立ち合いに向かう前のルーチンワークを覚えている方も多いと思います。高見盛関は稽古場ではそんなに強くはないのだが、本場所では無類の集中力を発揮するのだそうで、確かに稽古場で申し合いのたびにあんな気合を入れることは現実的ではないと思われます。

ネットゲームの試合前のウォーミングアップは、「ラリー」「スマッシュ」「サーブ」など試合中に行われる動作をお互いに繰り返します。この際「あるプレーは必ず入れる！」という選手がいます。これが決まれば「これからの試合は大丈夫！」という縁起担ぎもあるようです。

「ルーチンワーク」はある意味でスポーツ心理学的な行動で、次の事態への不安解消やリハーサルといった意味が大きいのです。

毎日の練習で必ず「ルーチンワーク」を入れるということは、トレーニングの安定性を担保するものでもあります。実はこれが「ウォーミングアップ」の「ステレオタイプ化」という問題を引き起こす可能性もあります。新たなプレーやスキルの獲得には「ルーチンワーク」が邪魔をする可能性もあるのです。（続く）

2019.12.24

144 「メンタルプラクティス」って何ですか？

かつては「イメージトレーニング」とも言われた「メンタルプラクティス」は、実際の運動を伴わずに心理的に運動経過を確認し実際のパフォーマンスの向上を目指すものです。

トレーニングの原則には「意識性」と「感覚性」というセットがあります。言葉によるトレーニングの目的や意義、経過の確認とそれに対応した実際の運動感覚を想定した練習方法です。私は「感覚（随意）的－言語（意図）的制御ループ」と呼んでいます。運動の遂行は上手になれば言語的確認はバックグラウンドに後退し、意識せずに行えるのです。ところが何かトラブルが発生すると「アレ、何だ？」という反応（定位反応といいます）が起こり、続いて「グリップか？」「テイクバックか？」といった言語的確認と修正が起こり、再び非言語的な運動遂行が始まります。

言葉による確認は時間がかかりますので、通常は感覚的に行われています。シューティングゲームなどの際に「右上だ」「こんどは左だ」などと喋っている間は間に合わないで、感覚的に状況を判断して感覚的に対応しているのです。このプロセスで不具合が生ずると「定位反応」が起こって動作系が停止します。

問題はこのプラクティスの「リアリティ」です。実際に想定される状況での入念な実施が重要です。かつてあるメンタルトレーナーの方が「プロ野球投手でいい加減なのが多くてね・・・」と嘆いておられました。あまりにもメンタルプラクティスの時間が短かったので内容を尋ねたところ「バッチリです、全員三球三振です・・・」だったそうです。選手の願望としては理解できるのですがそのような状況は「非現実的」で「非効果的」なのだと思います。（続く）

2019.12.27

145 “メンタル” が弱いのですか？

練習で「できた」ことが実際のプレー場面で「できない」のはよくあることです。ついつい「自分は精神的に弱気になるので・・・」と思いがちなのですが本当にそうなのでしょうか？「ブルペン・エース」という言葉もあるようですが、ブルペンは所詮ブルペンであって実際の試合でのマウンドではありません。バッターもいなければアウトカウントもなくピンチでの緊張感も何もない訳ですから「リアリティ」がありません。ですから「そこでの」パフォーマンスが「全く別の環境」で発揮できると考えるほうが無理があります。

かつて桑田真澄さんが東京大学野球部の特別投手コーチになった番組が放映されました（NHK・クローズアップ現代：最弱チームは変わるか？、2013年放映）。東京大学野球部員は、甲子園出場経験はないものの大変真面目で春のシーズン前は1日12時間も練習していたのだそうです。そこでの練習原理は「時間をかければ上達するという“神話”」だったという内容でした。野球の場合プレー場面が多岐にわたるので練習時間が長くなるのはやむを得ない部分もありますが「リカバリーと機能向上のための時間の確保」を考えると長すぎるようにも思います。

この点で前回触れた「メンタルトレーニング」の重要性がクローズアップされてきます。が、問題はこのトレーニングの「リアリティ」で、バーチャル環境や試合場面のリアルな再現といった「実際に想定される状況」での入念な実施が重要です。かつてあるメンタルトレーナーの方が「プロ野球投手でいい加減なのが多くてね・・・」と嘆いておられました。あまりにもメンタルプラクティスの時間が短かったので内容を尋ねたところ「バッチリです、全員三球三振です・・・」だったそうです。選手の願望としては理解できるのですがそのような状況は「非現実的」で「非効果的」なことだと思うのです。

かつて、スピードスケート500mで「スラップ」という踵の離れるスケート靴が導入された際に対応に悩んでいたH選手のメンタルリハーサルの内容が紹介されました。内容は実況中継のアナウンスで「100mを驚異のラップタイムで通過・・・速い！・・・そのまま世界新記録で金メダル！」というものだったのですが、スラップスケートの場合高速のまま最終コーナーに突入し転倒のリスクも高まるわけですので「100mはまずまずのラップタイム・・・ここから徐々に加速して最終コーナーでトップに立った・・・速い！・・・世界新記録！」というシナリオのほうがよりリアリティが高かったのではないかと思います。

2023.01.11

146 ウォーミングアップと "ドリル"

スタティックストレッチングからブラジル体操などのバリスティックストレッチングが終わると次の課題はパフォーマンス改善のためのドリルに取り組みます。

ドリルは実際のプレーでの動きを想定したものですので同じダッシュでも陸上競技のスタートと球技でのボールへの反応では異なります。また、サッカーなどは足でボールを操作する必要があるので脚運びも若干異なるようです。球技ではコーンなどを置いてインターバルも異なるセッティングでジグザグダッシュを繰り返します。1回の実施時間と反復のインターバルとは動作課題により異なり、瞬間的動き（ハイパワー系）であれば数秒以内、スピード持久力（ミドルパワー系）を伴う場合は40秒～1分間程度となります。

また、リバウンド能力を改善するためのドリルとして「プライオメトリクスジャンプ」もよく行われます。「爆発的パワーを生む」などと誤解されていて50cm以上の高さから膝の曲げ伸ばしを使って実施している例がありますが、あくまでも「リバウンド能力の改善」が主目的ですので膝の曲げ伸ばしを「使わない」10～30cmほどの高さでも十分効果が得られます。接地時間も極めて短かく「ポンッ！」という感覚で10～50回繰り返します。脚部だけではなく上体や上肢（肩と腕）も連動させカンガルーのようにリバウンドをするのです。

マシンやフリーウェイトを使ったトレーニングも「どのような動き」の改善を目的にするかで効果が異なってきます。ワールドウィングの小山裕司先生の「初動負荷理論」のマシンは運動スキルに関係した「最初の運動方向と動作部位」に着目したものですし、東大の小林寛道先生の「認知動作型トレーニングマシン」も実際の動きをシミュレートしたもので効果が注目されています。ただし、マシントレーニングは台数が制限されているので内容を十分理解して各自が取り組む必要がありますので同時に多くのメンバーが実施するのは困難です。

いろいろなドリルは、実際のプレーの動きと関連させて実施することが重要で「意識性」と「感覚性」の原則を守ってください。

2019.12.29

147 「フェイント」や「フェイク」は必要なのですか？

ボールゲームの対一の場面では、オフェンス側は相手との関係性から幾つかの「選択肢」を実行します。相手との距離が近づいてくるとオフェンス側は、右へ行くような「そぶり」を見せて相手に右側を守るような行動を誘発します。ディフェンス側の右側への反応が起これば「ワンフェイク」で左側へボールを運びますし、相手が既に「ワンフェイク」を予測している「そぶり」があれば「ツーフェイク」で再び右側にボールを運びます。

面白いのは「ノーフェイク」といって、ディフェンス側がフェイクを予測している場合にはそのままダイレクトに右側へボールを運ぶとディフェンスを振り切ることができます。

これらの現象は反応時間における「不応期」として説明されます。私たちの身体は質量が大きい（重たい）ので、事前に特定の方向に行動を起こすよう脳や脊髄を経由して筋収縮の準備をしています。そして「絶妙のタイミング」で反応を開始します。予測が正確であれば相手のコースを止めることができますが、相手の仕掛けてくる方向が読めないときや相手のフェイントに惑わされてしまうとボールを止めることができません。

実は反応時間においては、光刺激に対してすばやく跳びあがる「単純反応時間」にはあまり個人差がないことが分かっています（0.2～0.3 秒くらい）。ところが光刺激が提示されるタイミングを予測すると当然それ以下で反応することができます。陸上競技のスタートではピストルの音から 0.1 秒以内にスターティングブロックに一定以上の力を加えるとセンサーが反応して失格（フライング）となります。しかし「真面目に反応する」と 0.08 秒ほどで反応できる選手が一定数存在します（2008 年 NHK 放映、反応の限界）ので、こういった選手は失格しないように「人並みにスタートする」練習をします。100 m は「反応時間競争」でも「一歩目競争」でも「30m 競争」でもないので「トータルとして 100m の記録」が最終課題となります。

「刺激提示」から動作システムを起動させ運動指令が脊髄経由で「筋収縮を開始」されるまでを「反応時間」といいます。さらに筋収縮で動作が開始されて課題達成されるまでを「反応動作時間」といいます。「反応時間」にはあまり大きな個人差はないのですが「反応動作時間」は筋収縮のパワーや動作の巧拙により個人差が生じます。さらに「予測付き反応時間」になると「予測精度」の問題もあり大きな個人差（運動場面での経験の差）が生じます。

つまりボールゲームなどでのいわゆる「反応のセンス」は、数多くの運動経験による予測の精度やトレーニングによる身体動作の速度や巧拙（スキル）が複雑に関連して決定されていることとなります。

148 ボールゲームの「センス」って何ですか？

あのプレーヤーは「センスがいい！」と言われることがよくあります。一方「今のプレーはセンスが悪い？」とも言われることがあります。そういわれると「何となく？」わかったような気もするのですがその実態は何なのでしょう？

サッカーでは、3大B（Ball Control と Body Balance と Brain Work）やT I P S（Technique と Intelligence と Personality と Speed）の重要性が指摘されています。多分「センスがある」ということの基本にはこれらのことが関連しているのだと思います。またスポーツにおける3大T（Training と Technique と Tactics）という指摘もあります。ベテランアスリートのように技術的にはそれほど問題はなくても体力的な出力レベルが維持できないケースもあり、実際のパフォーマンスとしては「体力不足」と評価されることとなります。

ではトレーニングによって体力レベルを向上させればパフォーマンスは改善されるのでしょうか？

答えは「ノー」です。実は技術的な課題は身体的能力と密接に関連して変容してゆきます。ゲーム後半にはスピード持久力は低下してきますので、前半と同じような「ボールスキル（技術×身体能力）」は発揮できなくなりますので他の選択肢が要求されます。実はこのことが本来の「センスがある」という表現につながっているように思うのです。

今まで指摘してきたように、私たちの運動司令は「結果を予測して発せられている」ようですので、「このステップでは相手をかわせない」と他のステップに切り替えるケースと同じステップを繰り返してボールを奪われるケースとが生まれます。前者は「センスがある」、後者は「センスが悪い」ということになるのでしょうか？ ドイツのシュライナー先生は「サッカーのコーディネーショントレーニング（大修館書店、2002年）」において、「ある運動を行う際に、それがうまくいくように神経や筋肉が協調して働くこと」との視点から様々なトレーニング（ドリル）を提示しています。（続く）

149 「100本ノック」の意味は？

野球の守備練習で「100本ノック」は有名です。1964年東京五輪女子バレーボール・ニチボウ貝塚チームの伝説のレシーブ練習は世界的にも注目（批判も）されました。

「黙って俺についてこい！」とのキャッチコピーもあったため「非科学的」だとか「根性主義」だとか「女性蔑視」だとかいろいろなコメントがありました。

昔ある学会のシンポジウムで、大学野球のコーチの方が米国の大学野球の関係者に自チームのノック練習を公開したそうです。そしてどうせ「非科学的だ！」とコメントされるのだろうと思っていたら、案の定「Bad！」で「あれは捕球をしているだけで送球（アウトにする）をしていない！」、「Too Long！」で「内野手はあんなに疲労困憊でプレーをすることはない！」とのコメントだったそうで、改めて「本場の合理性」を痛感したとのコメントが印象的でした。

しかしノック練習では「絶対にとれない打球」は課しません。ある程度の範囲で打球を調整してギリギリ捕球できる課題で実施しているのでその意味での「合理性」（「100本ノックミスでやり遂げた！」とのメンタリティ獲得）は担保しています。ただ野球の内野守備では、卓球やテニスやバドミントンのように10数回ラリーが続く状況とは異なりますのでもう少しスピード感のある現実的な練習課題のほうが良いようにも思われます。

現在では「脳の認知機能トレーニング」が注目されています。従来の用語では「メンタルトレーニング」と言われてきましたが、実際の動作を伴ったり筋電図や動作解析を伴ったり今流行りの「メタバース」での課題も含んでいます（NHK・BS：メンタルを鍛えて勝利をつかめ、2021放映）。

ボールゲームでの個人の感情のコントロール改善についてのリアルなバーチャル環境でのVRトレーニングの効果、2020年からのコロナ禍での新たなトレーニング方法（運動シミュレーションの行動化と言語化による脳内再編）、対戦型競技での反応速度や予測能力の改善（言語指示に対する反応性の改善やゲーム映像の活用）などが紹介され、スポーツ心理学と神経科学との連携（脳神経系と筋活動との関連性）の重要性が指摘されていました。

イタリアでのリーバ・リハビリテーション研究所・ズッカ先生は脳の運動野に対する「経頭蓋直流電気刺激」による自転車競技選手の認知能力の向上がパフォーマンスの改善（1%程度でも表彰台が可能となる）に貢献する可能性を報告しています（ただ「脳ドーピング」になるのではないかと指摘もあります）。またベルギー・ブリュッセル自由大学のシェロン先生の、いわゆる「フロー」と表現される高いパフォーマンス発揮時の心理状態についての前頭前野の脳活動と筋活動関連のデータ比較によるフロー状態の再現可能性についての研究も紹介されていました。

東京大学の中澤公孝先生は障がい者スポーツのアスリートについて、機能的脳画像検査（fMRI）と経頭蓋磁気刺激（TMS：上記の直流電気刺激ではなく磁気を用いて筋収縮を起こす方法）を用いて健足側と義足側との脳内での「代償性適応」の可能性を指摘しています（中澤公孝：パラリンピックブレイン、東京大学出版会、2021年）。つまり障がい者アスリートでは、長期間にわたるトレーニングの継続により脳の運動実現様式を劇的に変容させて対応しているようで、神経科学や運動生理学やバイオメカニクス研究の発展と応用が新たな地平（健常者へのフィードバックの可能性）を切り開いているようなのです。

私たちの身体運動は「脳神経系（運動指令）」と「筋-骨格系（運動実現）」と「環境系（外乱）」との相互作用の中で行われていますので、その練習課題は「どのような根拠とねらいを持って行われているのか」を理解して取り組むことがトレーニング効果を高めるうえで大変重要なこととなるのです。

2023.01.07

150 「筋トレ」は何のための筋力アップ？

レジスタンストレーニング（いわゆる筋トレ）は「筋出力アップによるパフォーマンス改善」を課題としています。ところが私たちの身体は大変複雑にできていて「パフォーマンス」はあくまでも「相対的」かつ「総体的」に決定されるようなのです。

脚伸展力は主として大腿前面の大腿四頭筋が活動しますが、大腿四頭筋は膝関節には「伸展」作用をしますが股関節では「屈曲」作用をします。大腿裏側のハムストリングスは、膝関節には「屈曲」作用をし股関節には「伸展」作用をします。そして、あるタイミングでは適度に共同性に収縮して膝関節を「固定」してバネを生み出します。

ですから大腿四頭筋の筋力トレーニングはどのような動きを目的としてどのような方法（負荷と速度）で実施するのが重要となってきます。

100m走のような一見単純な課題であっても、「スタート」「加速」「等速維持」「失速回避」という全体の戦略が重要です。実は20世紀の戦略は、60mまでに得られたトップスピードをそれ以降いかに維持するのかという風に理解されていたのですが、どうやらそれではベストタイムが狙えないようなのです。21世紀の100m戦略は70mまで自分の最高速度を出さず（出してしまうのと最後まで持たない）そのまま低下を防ぐ方が結果として最速タイムが出るようなのです。北京の五輪で9秒58の世界新記録で走ったウサイン・ボルト選手の世界新記録を見ると、70mまでで得られた速度の低下を最小限に抑えながらゴールしたようです。つまり後半のランニングスキルは如何に速度低下を防ぐのが重要な課題となり、筋力は速度低下を防ぐランニングスキルを維持するために発揮されます。100mはスタート競争でも50m競争でもないで最後にベスト記録を残すというのが本来の課題です。

トップクラスのコーチングをされている方はこのことを良く理解されているのですが、「科学的経験論（それなりに勉強をされていてかつご自身の成功体験を持っている？）」に陥りがちな方には全体の戦略やバランスにも注意を払っていただきたいのです。スタートで先行することは決して悪いことではないのですが、それを中心課題とするトレーニングメニューだけでは最速タイムは望めないのかもしれませんが。自分の武器は「スタートダッシュ」だ・・・といってもその武器を使ってしまったが故に「最速タイム」が出ない可能性も否定はできないのです。

私たちの研究では、100mを10秒台で走るスプリンターが同一タイムで走っても、日によって疾走速度とストライドとの相関が高いケースもあればピッチとの相関が高いケースもあります。これはその日の身体状況に応じて戦略を変えているようなのです（いわゆる「適応制御」のようなものと考えています）。

短距離選手でも長距離選手でも、跳躍選手でも投てき選手でも「体幹トレーニングの重要性」は指摘されていますがそれをどのように実践してゆくかは選手とコーチの経験と決断にゆだねられているといってもよいのです。

実は「本当に普遍的で確実なトレーニング方法」は存在しないようで、選手個別にフィットさせなくてはならないようなので、身体状況やパフォーマンスをモニターしながらトレーニング内容を再検討していく必要があるようです。

2021.08.26

151 「体幹トレーニング」は「動きとの連動」が前提？

ここ数年「体幹（コア）トレーニング」の重要性が指摘され、様々なトレーニング法（コアトレーニング、スタビライゼーション、ファンクショナルエクササイズなど）や器具（バランスボールやストレッチポールなど）が紹介されています。

ところで、何故「上肢」や「下肢」ではなく「体幹トレーニング」なのでしょう？

私たちの身体は骨と骨が関節を介して繋がって、複数の関節をまたいだ筋肉が連動して収縮し必要な「動き」を生みだします。そして全身の関節の「動きの自由度」が大変高くなっていますので、マリオネットのようにバラバラと動かないようにある程度のまとまりを持った「セグメント（上肢とか上肢帯、体幹+骨盤や下肢など）構造」を必要としています。

このセグメントは骨や筋肉の形状や重量によって「動かない人体」での「重心」というものが計算されます。ところが現実には運動を行うと姿勢が変わりますので「合成重心」として計算される重心位置が刻々と変動します。疾走動作のような比較的単純と思われる運動でも動作や姿勢によってこの重心位置が変動しますのでキックで得た力を身体の推進力に変換するため、下肢の状態や骨盤の位置と体幹の姿勢などの「位置調節」をして効率的に疾走速度に変換する必要があります。

この時にお臍の下あたりにあると想定され、キック力を受け取る重心が不安定だと「ロス」が生ずると考えられ、「体幹」を鍛えて重心がフラフラしないようにする方が良い・・・というロジックで「体幹トレーニング」が必要ということになるようです。

ところが合成重心は刻々と変動するので「ガチっと固めて」いては対応できないという矛盾が生じます。つまり体幹の安定性は「動的安定性」なのであって、その改善には工夫が必要です。様々な規格のバランスボールは不安定な状況下での姿勢をコントロールする能力を改善するものと考えられています。

バーベルなどのフリーウェイトでの筋力トレーニングでは、「RM」という何回連続して挙上できる重量かが重要な指標となります。ところが1RM（1回しか上げられない最大重量）では「全力」が求められるのですがスポーツの動作としての「全速」にはなり難いのです。

私たちの身体の構造上、最大筋力を発揮すると付随して他の筋（拮抗する筋や協働する筋）の活動も誘発しますので、関節周りでは余分な筋緊張が生じて「全速」を阻害します。ですからパワーアップのためのトレーニングでは3RMとか10RMが用いられます。つまり「全力」≠「全速」なのです。また発揮筋力と収縮速度の関係からも最大筋力の3分の1の際が「最大パワー」が得られることも知られています。

ですから「体幹トレーニング」では、様々な条件下で自分の求める動きとの連動を図るエクササイズを工夫する必要があります。因みに「コアマッスル」と定義される筋群は、腰椎と大腿骨を結ぶ「大腰筋と小腰筋」及び骨盤（腸骨）と大腿骨を結ぶ「腸骨筋」でいずれも股関節で大腿を前方に屈曲する筋群です。

152 “キネティック・チェーン”って何ですか？

私たちの身体は、上肢や上肢帯（肩甲骨と鎖骨）、体幹と骨盤、下肢などのセグメントといわれるもので構成されて「全身運動」を実現します。そしてこのセグメントをうまく連動させて動かすことで効果的に力を発揮することができます。カンガルーの連続ジャンプは、接地の直前にふくらはぎの腓腹筋を収縮させてアキレス腱を引き延ばし接地エネルギーをアキレス腱に蓄積させその反動で連続ジャンプを行います。腓腹筋の収縮力でジャンプをしているわけではなく、足首の関節を固定してアキレス腱を伸長させることによって大きな連続跳躍力を発揮しているのです。

実は垂直跳や立幅跳という「ピストン型」のジャンプと足関節と膝関節を固定した「スイング（起こし回転）型」のジャンプとは異なるので、接地時間を短くした“プライオメトリクス・トレーニング”が有効とされています。

ボート競技でのローイングでは、先ず膝関節を伸ばして座椅子を移動し次いで体幹を後屈させ最後に腕でオールを漕ぐという3段階を連結して力を発揮をします。このような身体セグメントの連続的な使い方を“キネティック・チェーン”といいます。またこの際、セグメント同士の固定や解放のタイミングが重要で、下肢や体幹の動作がまだ主要な段階なのに焦ってオールを引くタイミングを早めてしまうと上手く力が伝わらないのです。

体幹トレーニングの重要性は、このセグメント同士の連結と解放の関係性（タイミングや力の強弱）を改善することが重要なので様々なメニューとその目的を理解したうえで実施することが重要です。先日、NHK：ランスマで紹介された東京国際大学駅伝チームのトレーニングも、13種類の体幹トレーニングや20種類の動きづくりメニュー、その他の様々なドリルもその狙いと効果を意識して実施することの重要性が指摘されていました。

トレーニングの効果を確認するにはビデオ画像を用いることが効果的です。最近のデジタルカメラでは、1/30秒だけではなく、1/120秒や1/1000秒などの高速度再生（スローモーション化）ができるものがあります。また、身体にセットする「ウェアラブル・センサー」も開発されています。ランニング用ではC社とA社が共同開発した9軸加速度センサー（腰部装着型）が、前後動・上下動・左右動・左右回転・前後傾などから接地時間や接地衝撃、減速量と関節の硬さなどのデータを表示しランニングの特徴を示してくれます。疾走速度や疾走動作を意図的に変えるとそれぞれのデータが変化するのが分かります。また歩行解析用のシステムも市販されていますので、自分の動作の情報を得ることができればトレーニングの効果を確認することも可能になります。スポーツ科学者にでもなった気分チャレンジしてみるのも楽しいと思います。

153 クロス・トレーニングって何ですか？

「自分の専門以外のトレーニングを行うこと」がクロス・トレーニングの定義です。同一のトレーニングを反復していると使用部位や動作が偏ってしまい、他の部位や動作とのアンバランスが生ずることやスポーツ障害の発生などの弊害を防ぐことができる理由です（横浜市スポーツ医科学センター編、スポーツトレーニングの基礎理論、西東社、2016年）。では、球技同士のような組み合わせや全く異なる動きが特徴の種目（水泳長距離などの持久的なものとボールゲームなどのスキル系のもの）の組み合わせの場合はどうなのでしょう？

例えば、週5日間の専門的トレーニング＋1日の完全休養日＋1日の専門外トレーニングといった組み合わせが推奨されていますが、外国の選手はシーズン制に応じて複数の種目に取り組んでいるのに対して日本選手は1年中同じ種目のトレーニングを行っていることも指摘されています。

サッカーコーチの植田文也さんは、著書のなかで、いわゆる「1万時間の法則」や「早期専門化」の弊害を指摘し、「早期多様化：アスレチック・スキルズ・モデル（ASM）」のマルチスポーツ実践の優位性を主張します。オランダのウォームハウトの研究例から、サッカーのヨハン・クライフは野球を、バスケットボールのマイケル・ジョーダンも野球を、テニスのロジャー・フェデラーはサッカーやスキーや卓球を、スプリンターのウサイン・ボルトはサッカーやクリケットを実施していたことを紹介しています。そして本人たちの「若い頃多様なスポーツ経験をしたことが現在のプレーに役立っている」とのコメントを紹介しています（植田文也、エコロジカル・アプローチ、ソルメディア、2023年）。

実は単純な動作の反復と思われがちな陸上競技のハードル競技であっても、それぞれの時点で「最適なハードリング」が存在します。400mH 日本記録保持者の為末大さんは、ハードリングが上手な選手は1台毎に最適な動きをしていて「子どもの頃に河原で石から石へ跳び移る遊びなどを経験していたことが多い」との興味深いコメントを残しています（NHK、ヒューマニエンス 遊び、2023年放映）。

スポーツパフォーマンスを支える「結果の正確性」とそれを保証するための「動作の冗長性」という矛盾した課題を達成するためには長期にわたるトレーニングが必要で、まさに「全面性」と「個別性」、「漸進性」と「反復性」、「意識性」と「感覚性」という原則を「過負荷の原理」に従って継続してゆくことが必要なのだと思います。

2023.10.22

154 「ファンクショナルトレーニング」って何ですか？

最近「ファンクショナルトレーニング」や「コンテクスチュアルトレーニング」という用語をよく聞きます。

「ファンクショナルトレーニング」は個別の筋の収縮ではなく、ひと纏まりの筋－関節から構成される全身運動を基本とする方法で、スタビリティボールやラダーを用いたトレーニングが知られており、自体重を負荷として競技で必要とする体勢などスポーツの特異性を理解した上での様々なプログラムが紹介されています。（M.ボイル、ファンクショナルトレーニング、大修館書店、2007 年）

「コンテクスチュアルトレーニング」の原題は “Strength Training and Coordination” ですが、“Contextual”は「文脈上の前後関係」ですので、個々の要素による「還元主義」ではなく、スポーツにおける運動学的な「複雑系」を前提とし、ストレングスエクササイズからスポーツ動作への転移での運動感覚の同一性を指摘します。（F.ボッシュ、コンテクスチュアルトレーニングー運動学習・運動制御理論に基づくトレーニングとリハビリテーション、大修館書店、2020 年）

東京大学名誉教授の小林寛道先生は、動作の質を高める「認知動作型 QOM トレーニング」による動作を学習するトレーニングマシンを開発し、有名な「スプリントトレーニングマシン」「アニマルウォーキングマシン」「車軸移動式パワーバイク」などを用いたトレーニングの有効性を示しています。（小林寛道、健康寿命を延ばす認知動作型 QOM トレーニング、大修館書店、2013 年）

いずれの方法も、個々の筋や限定的・要素的な動作ではなく、多関節をまたぐ全体的で一連の動作を課題としている点が特徴です。認知動作型 QOM は、様々な動作の特徴を抽出したマシンを用います（近く：首都圏に「十坪ジム」というところがあれば体験できます）。ファンクショナルトレーニングもコンテクスチュアルトレーニングも、基本は自体重を負荷とした全身運動で、負荷としてダンベルやバーベルも用います。かつてハンマー投の室伏選手が行っていた様々な「不思議なトレーニング」も、スポーツ動作の特異性やそれによる過度で偏った身体の負担の軽減と改善をはかるという意味での理学療法士（PT）などのリハビリテーションとも通ずるものと思われます。

ボイル先生は「自動車でいえば馬力を高めるといよりも、燃費を改善するという考え方でトレーニングをとらえてみる」とし「トレーニングが理にかなっていることが重要であり、よってコーチは選手にとって理にかなったトレーニングを作成しなくてはならない」と大変印象的なコメントを残しています。

2022.07.15

155 「全力」と「全速」・・・？

「○×選手 “フルスイング” で逆転タイムリースリーベース・・・」という表現があります。では、この”フル”は「何がフル」だったのでしょうか？「打った打球速度が最速だったのか？」「バットスイングの速度が最速だった（で、たまたまボールに当たった）のか？」「力の入れ方が”全力”だったのか？」・・・と考えるとよくわからないのです。

実は筋力トレーニングには「RM（繰り返し挙上できる最大回数）」というガイドラインがあり「最大筋力発揮時」は1RMとされています。ところが「最大筋力」を発揮しようとする「他の筋収縮（付随する余分な筋活動）」を誘発して「速度低下」をまねくケースがあるのでトレーニング課題としては3RM（3回繰返せる負荷量）の方が効果的ではないかと考えられています。

私たちは「拮抗筋群」という「屈曲」と「伸展」を交互に繰り返す筋群で効率的な運動遂行を支えています。これは「伸張反射」や「立直り反射」といった生理学的なメカニズムを利用して効率的な運動を実現します。そして走幅跳や走高跳などの踏切動作では「屈曲」と「伸展」の筋群を同時に収縮させて「関節を固定」して”バネ”を生み出します。これは1960年代から「鎖と棒」の理論として理解されてきました。

ところがこの筋収縮の「拮抗性」と「同時性」の関係が破綻するとパフォーマンスが低下することが指摘されています。股関節大腿前面・大腿四頭筋の「伸筋」と「屈筋」の大腿二頭筋（ハムストリングス）の収縮のタイミングが合わないと「失速」するのです（NHK ミラクルボディ：2008年放映）。番組では2007年大阪での世界陸上100m決勝で、当時世界最速のアサファ・パウエル選手がタイソン・ゲイ選手追いつかれ60m以降失速して逆転されたのが、過剰な意識状態が筋の「共縮」を引き起こしたのではないかと推測しています。実はパウエル選手はその13日後のイタリアの小さな大会の予選で9秒74という驚異的世界新記録を出しているので「フィジカル」の問題ではなく「メンタル」の問題ではないか（周りを気にせずトンネルの中を走っているようないわゆる”ゾーン状態”が必要？）と結論付けていました。

つまり過剰な「全力」では円滑な運動スキルを阻害するので「全速」は出せないのではないのか、それ故に「全速」を出せる練習課題こそが重要だということとなります。

2023.09.15

156 ”スピードが足りない・・・！”

ボールゲームでドリブルする相手についていけない・・・もっとスピードがあったら！と感じている方もいるかもしれません。ところが陸上短距離選手がラグビーチームに駆り出されて持ち前のスピードで相手を抜き去ろうと思ったがタックルで止められてしまった・・・あれ？

実はスピードには「SAQ」という概念があります。「S」は一定区間を走り抜ける「速さ（Speed）」です。「A」は切り返しなどで相手を翻弄する「敏捷性（Agility）」、「Q」はネットプレイやゴールキーパーなどの反応の「迅速さ（Quickness）」です。それぞれ、助走付きの20mタイム、Tの字走のタイム、刺激に対する反応動作時間などなど様々な方法で測定され、そのプレイヤーの適性を判断します。ボールを前線に運ぶバックスではSpeedが、ゴール前でボールをもらって相手を抜き去ってシュートを狙うフォワードにはAgilityが、相手のシュートにすばやく対応するゴールキーパーにはQuicknessが求められます。さらに対人競技では相手方の運動方向への予測をも含む対応が求められ、当然そのトレーニング法も、該当する種目で求められるSAQの持つ「特異性」を認識して実施されます。これらはいわば「専門的能力」と規定されますので、例えば50mダッシュの反復だけでは改善されません。球技で必要とされる「スピード」と「スタミナ」も、1000m走のインターバルトレーニングだけでは改善されませんが、一方で60分のゆっくりジョギングなどは「一般的能力」としての有酸素持久力の改善には必要なメニューです。

怪我で休養していて復帰した際に、2時間の練習メニューは何とかこなせるのだけれど自分のポジションの課題にはついていけない・・・というのはこの「一般的能力」と「専門的能力」との関係を示しています。

トレーニング計画では「期分け（Periodisation）」といって、準備期では一般的能力の改善を図り、試合期に向けて練習量を減らして技術課題の質を向上させて専門的能力の向上を目指します。また、目的とする試合の日程に合わせて2週間単位での練習の質と量をコントロールするスケジュールも求められます。成長期の子どもであれば「練習やって食って寝る」ことで自然成長を促すことができますが、ベテランアスリートになればなるほどトレーニングの質と量、一般的能力と専門的能力の関係、疲労の回復やリハビリテーションなどをも視野に入れたいわゆる「ファンクショナルトレーニング（ボイル）」や「コンテクスチュアルトレーニング（ポッシュ）」などが重要になってくるのです。

2022.07.13

157 「運動経験」が足りない・・・？

持久系種目のトレーニングでは、ほぼ同一の動きを長時間反復している所以他の運動経験が不足して、そのことが動きの「冗長度」の獲得を阻害しているのではないか？・・・と考えられています。しかし、実際の持久系のトレーニングでは実に多彩な方法が取り入れられています。

基本的には4つのタイプがあり、①低強度で長時間行うディスタンス・トレーニング、②中強度で短い休息を挟んで反復するインターバル・トレーニング、③レースよりも高い強度で十分な休息を挟んで繰り返すペース・トレーニング、④高強度短時間運動を繰り返すアナロビックインターバル・トレーニング（最近注目されている「高強度短時間インターバル・トレーニング」）、と分類されています。基本的には3分の2が①のディスタンストレーニングで、残り3分の1を種目の条件に応じて配分します。また1920年代、フィンランド発祥の長距離王・ヌルミ選手が行っていた山野の起伏を利用する「ファルトレック・トレーニング」は様々な条件下でのランニングを実施する優れたトレーニングメソッドとして実施されています。

最近注目の東京国際大学駅伝チームでは、練習前に体幹トレーニングや厚底シューズに対応するスキルを獲得するためのドリルやプライオメトリクス・ジャンプなどを取り入れていることが紹介されていました（NHK：ランスマ、2022年放映）。また「クロス・トレーニング」といって、ランニングと自転車や水泳のトレーニングを組み合わせる方法や協応性を改善する「コーディネーション・トレーニング」の有効性も指摘されています。

私たちの運動を実現している筋肉は、遅筋系筋線維と2つの速筋系筋線維が動きをつくり出し、筋内のハイパワー（クレアチンリン酸系）・ミドルパワー（解糖系）・ローパワー（有酸素系）システムが課題に応じてエネルギーをつくり出す「3×3システム」として機能しています。ハイパワー系×Type II b のマトリクスだけに頼ったスキルで運動を継続しては「中枢性抑制」を伴って破綻をきたしますので、適切にマトリクスを切り替えて対応（運動スキル・・・例えばピッチ走法への切り替えやチェンジ・オブ・ペースなど）する必要があります。動きをつくり出すシステムは神経系の働きを伴いますので「運動経験の豊富」な持久力トレーニングの実施が求められているのです。

2022.05.17

158 エコロジカル・アプローチ？

サッカーコーチ・植田文也さんの「エコロジカル・アプローチ」（ソル・メディア、2023 年）が話題になっています。「新しい学習理論と実践」という内容は、ポルトガルのポルト大学で出会った考え方がルーツにあるようです。

キーワードとしては「制約主導アプローチ」で、「個人制約（構造的と機能的）」「タスク制約」「環境制約（物理的と社会文化的）」という 3 つのカテゴリーから「知覚－運動カップリング」を改善しようとするものです。そして(1)代表性、(2)タスク単純化、(3)機能的バリアビリティ、(4)制約操作、(5)注意のフォーカス、の 5 つのプリンシプルを指摘します。分かりやすいものが第 4 章の「ストリートサッカーは自然な制約主導アプローチである」の内容です。アスファルトや土、芝などのサーフェスの制約、ボールの大きさや重量や弾性、3 対 3 や 5 対 5 などのプレーヤー数、参加者の年齢や性別、コートサイズやゴールの形状など様々な「制約」を含むものがストリートサッカーであり、そのなかで子どもたちは様々な身体操作やスキルを獲得してゆく（『型』にはめ込もうとする指導システムでは獲得されない）と指摘します。これはサッカーとフットサルとの関係（“ドナースポーツ”という概念）とも関連するようです。

実は、日本の「学校体育研究同志会」の優れた授業実践の一つに 3 対 2 の「じゃまじゃまサッカー」という教材があります。コート中央に「守備専用のじゃまゾーン」があり、そこを 3 名で連携して突破することで「シュートゾーン」に入れるという教材です。またホッケー教材ではゴールを「ゲート型」にして『縦方向』にセットすると「横方向からの連携してのシュート」が多用されるようになったとの実践報告もあります。また小学生用のバレーボールボールには「4 号軽量球」がありますしミニサッカーゲームでは「フットサル用ボール」を使用することでゲーム展開が変わってくることも指摘されています。

視覚情報に関わる「アフォーダンス理論」や東大の多賀巖太郎先生の「神経系－身体系－環境系」との不断のトップダウンとボトムアップの反復が「シナジェティックという新秩序を生み出す」という考え方とも通ずるものがあるように思います。関心ある方はご一読をお勧めいたします。

2023.09.16

159 「戦術的ピリオダイゼーション」って何ですか？

サッカーの関連サイトで、最新の理論としての「戦術的ピリオダイゼーション」が話題となっています。サッカーコーチの植田文也先生は「戦術的ピリオダイゼーション」の構成要因について「自己組織化」「カオス」「フラクタル」「バリアビリティ」を指摘します（植田文也、エコロジカル・アプローチ、ソル・メディア、2023年）。

「自己組織」自体は、東大の多賀巖太郎先生の指摘する「神経系」「身体系」「環境系」のトップダウンとボトムアップの反復により個々の要素を統合した「新秩序（グローバルエンタテインメント）」が生ずるとの「自己組織」理論（多賀巖太郎、脳と身体の動的デザイン 運動・知覚の非線形力学と発達、金子書房、2002年）なのですが、ボールゲームではプレーヤー集団がゲーム展開に応じて個々人ではなく集団としての適切な戦術や戦略を選択・実行することを指すようです（“グローバル”と表現されています）。「カオス」はオフenseやディフェンスが「リセット」され、「フラクタル」は一定の戦術に向かって徐々にプレーが集約されていく（スローテンポから始まりテンポを徐々に上げてゆく）状態のようです。「フラクタル」は本来 “1/f ゆらぎ” といっていて一定の傾向で進むのではなく加速度的に傾向が強まってゆくことを指しますので「ロングパス」⇒「ミドルパス」⇒「ショートパス」⇒「ワンツートーン」⇒「シュート」とテンポを上げてゆくことを指しているようで、上手いかなければ再度「カオス」にリセットするようです。「バリアビリティ」はいわば「結果の正確性」を実現するための「経過の冗長性」と解釈（山崎）することができます。植田先生はロシアの著名な生理学者・ベルンシュテインの “鍛冶屋のハンマータスク” を引用し「繰り返しのない繰り返し」と表現し、NTT コミュニケーションの柏野牧夫先生は、桑田真澄投手の外角低めへの正確な投球について、頭の位置やボールリリースの位置が最大 20cm ずれて実現されていることを指摘します（伊藤亜紗、体はゆく できるを科学する<テクノロジー×身体>、文藝春秋、2022年）。

私の解釈ではいずれも「個人的運動」レベルでの「結果の予測」を伴った変容と考えているのですが、「対人的運動」での1対1でも、プレーを続けてゆく中でフェイントやフェイクを用いての1対0.5を経て1対0でポイントを得ることが可能となります。

「集団的運動」であれば “スクリーンプレー” などに典型的な3対3から3対2.5を経て3対2（＝1対0を実現）でポイントを得ることを可能とします。そのプロセスの中で「自己組織化」と「バリアビリティ」が「カオス」と「フラクタル」というゲームの様相を経て実現されているようなのです。（続く）

2024.05.28

160 「制約主導アプローチ」って何ですか？

最近「制約主導アプローチ」という概念が注目されているようです。

植田文也先生（2023）は、「エコロジカル・アプローチ」という概念について、「生態心理学」と「動的システム理論」を統合した学習理論であるとして、テニスのバックハンドストロークを改善するためにコートのセンターラインをバックハンド側で広くするというフィッツパトリックの研究を紹介しています（植田文也、エコロジカル・アプローチ、ソルメディア、2023年）。

オランダのボッシュ先生は、ロシアの著名な生理学者ベルンシャタインのデクステリティ（巧みさ）とアジリティ（敏捷性）に関わる制約主導アプローチとして「環境」「課題」「生体」の三条件を提示しています（F.ボッシュ：谷川聡・中村豊・相良浩平訳、運動学習・運動制御理論に基づくアジリティトレーニング、大修館書店、2024年）。

この「制約主導アプローチ」が肯定的に受け入れられている背景には、運動経過の獲得（技術の個人的実現）は、一定の「形にはめる」ものではなく「適応的に自己学習する」ものであるとの考え方があるようなのです。私たちが動作を行うときには、個々の手足や体幹を個別に動かすのではなく、「基本的運動形態」といって、走る・跳ぶ・投げる・蹴るなどの神経中枢からの「一纏まりの運動指令」と脊髄などでの「運動反射」が連動して動きます。ATRの川人光男先生（1988）は、運動司令の実体は「関節トルク（回転力）」であることを指摘しています（川人光男、運動軌道の形成 In 伊藤・佐伯編：認識し行動する脳、東京大学出版会、1988年）。つまり「強く蹴る」とか「軽く叩く」といったイメージで運動が実現されているようなのです。

東大の多賀巖太郎先生（2002）は、「運動の自己組織」という概念から、「神経系」と「身体系」と「環境系」との相互関係に応じて、「トップダウン」と「ボトムアップ」の反復による自己学習が「グローバルエンタインメント（大域的引き込み）」を可能するとの指摘をしています（多賀巖太郎、脳と身体の動的デザイン～運動・知覚の非線形力学と発達～、金子書房、2002年）。

ところがこの指導方法は、スポーツ指導や授業実践において、過去「独自の指導メソッド」を提唱してきた多くの優秀な指導者の皆さんがやってきたことと同じ概念のようなのです（ボールの形状、ゴールやルールの変更、用具や教具の工夫などなど・・・）。

2024.12.29

161 「スロートレーニング」ってどうやるのですか？

「加齢性筋萎縮症（サルコペニア）や虚弱（フレイル）が懸念される高齢の方や普段あまり運動をやらない方を対象にした「スロートレーニング」という方法が提唱されています。

「ダイナミック」に身体を動かすと関節や筋肉に負担がかかり怪我を誘発するリスクが高いので「スロー」な動きでトレーニングの方が安全だと考えられているようですが「トレーニング効果」はどうなのでしょう？

「実は「スロートレーニング」は動作がゆっくりなだけではありません。例えば「脚スクワット」の実施では屈曲後の伸展時には膝を伸ばしきらずに筋収縮を持続することが求められます（横浜市スポーツ医科学センター編：スポーツトレーニングの基礎理論、西東社、2016年）。

筋収縮を持続していると筋収縮で筋内血管が圧迫されて酸素供給が制限されます。そうすると筋内では「有酸素機構」が制限されるので「無酸素性機構（いわゆる解糖系）」からのエネルギーが主要になります。なのでゆっくりとした動作にも関わらず無酸素性機構が主要になるので解糖系での筋グリコーゲン分解により「血中乳酸値」が上昇します。血中乳酸値が上昇するということは「高強度運動」の実施と類似した反応として「成長ホルモン」が分泌されます。そしてこの回復過程でタンパク質摂取による「アミノ酸」が取り込まれていると筋再生を促します。

信州大学の能勢博先生の有名な「インターバル速歩」でも、終了後に牛乳を摂取することで筋再生に違いがみられることも報告されています（ウォーキングの科学、講談社、2019年）。

例えば脚スクワットであればゆっくりと10回実施して7回目あたりで「きつい」と感じていれば血中乳酸濃度が上がっていることとなります。実は1960年代にヘッティンガー先生が提唱した動きをとまなわない「アイソメトリックトレーニング（一定の姿勢で数十秒継続）」の効果も、力発揮による筋収縮は持続していますので「血流阻止」によって生じていると考えると納得ができます。

ただしダイナミックなスポーツ動作とは異なる速度や動作で実施されていることからトレーニングプロセスとしては「再トレーニング」の必要性も指摘されています。ただ「既に動作システムが獲得・完成」されているアスリートやマスターズなどのベテラン選手の場合には「補強トレーニング」や「リハビリテーション」と考えて実施しても問題はないように思います。

スポーツトレーニングとして考えれば、やはり「動作の獲得」を先行させて工夫しながら取り組んでいくことが重要になるのだと思います。

2025.02.25

その他のトピックス

162 運動実施時のマスク着用は？

2020 年 4 月から再開していた中国の中学校の体育授業時に、1500m 走などでマスクを着用していた生徒 3 名が相次いで死亡したという記事が配信されました（5 月 10 日）。中国メディアの取材に、医師は運動不足状態での突然の高強度運動とマスク着用による呼吸制限から「低酸素症の発症」が疑われるとの見解を示し、また別の医師は N95 などの医療用マスクは密閉性が高いため運動には奨められないとの見解を示しています。中国当局はその後、対人間距離を確保することで体育授業時のマスクの非着用を呼び掛けています。

日本では感染拡大予防のために外出時のマスク着用が呼びかけられています。京都大学の山中伸弥先生もブログでランニング時のマスク（またはネックゲイター：バフ）の使用を奨めており、マスクやバフを着用して走っているランナーを見かけることが多くなりました。

また運動時の対人距離は重要で、並んでいるときは 2m 程度ですがランニングやサイクリング時の距離はどうなのでしょう？

オランダとベルギーの研究者のデータで 10m という例が示されていますが、これについては学術的には疑問や論争が起こっています。コロナウィルスは空中では 2m 以内に感染性を失うとのデータ（アビガン共同開発者・白木先生）もあり、ランニング速度や風向風速との関係にも複雑で多様な条件があることが推測されます。

私もランニングで、①N95 タイプのマスク⇒②サージカルマスク⇒③布マスク⇒④バフ⇒⑤ウレタンマスク、とそれぞれを 1 時間ほどトライしてみました。感覚的な結論は単純で「呼吸が楽なものは感染予防効果は低い」「自分がもし感染していれば他人に感染拡大させるリスクは減少する」ということでした。また、これからの季節は暑熱環境が強くなり熱中症への対策も考えなくてはなりません。

ヒトは、口からの「浅速呼吸（ハーハー・ゼイゼイ）」とともに発汗による体温調節機能をもっており、運動前や運動中の水分補給が重要です。また、体温上昇は運動強度を制限することによっても緩やかにすることができます。

運動時のマスク着用には、マスク自体の機能性や運動強度との関係、咳エチケットへの対応、対人間距離の確保など様々な条件を考慮するべきだと思います（ランニング学会が指針と見解を出しています）。ただ「マスク非着用で運動するのは "非常識" 」との自粛自警団のような非難行動は慎むべきだと思います。「弱者」が「弱者」を攻撃するような行動のトレンドはファシズムの前夜です。

2020.05.12