

体肢の進化

(※筆者の要望により表紙のタイトルから変更しました)

多久泰夫 Taku Yasuo

多久範子 Taku Noriko

当院のオリジナリティーは、“アレクサンダー・テクニーク”という“新しい”代替医療の考え方・治療手技を診療に取り入れて行っていることです。それは「疾患」だけを対象とするのではなく、クライアントの「身体」全体を“古典的”な整形外科とは別の角度から見直し一時的な「治癒」ではなくクライアントの日常生活における姿勢・動作の根本からの改善を目指す、というホリスティックな医療であり、具体的には「急性・慢性を問わず、腰痛、膝痛、あるいは手足の痛みを引き起こす原因」としては、不良姿勢や間違った体幹・手足の使い方にそもそも問題が潜んでいる可能性が高いこと。それは今に始まったものではなくずっと前から少しずつ蓄積してきたもの

であること。痛みが消えればそれで終わりということにはならないこと」などといったことをまずお話することになります。

それを聞いた患者さん方の反応はだいたい2つのパターンになります。「なるほど確かにそう言われてみるとそうかもしれない」という肯定的パターンと「どうして？何を言っているの？そんなこと考えられない！」という否定的パターンです。否定的パターンの方々の言い分はたいがい、「悪いのは症状のあるこの部位だけ。他は無症状なのだから悪いわけない」とか「悪くなったのはつい最近から。それまでは何ともなかったのだから」といった、そもそも論理の展開が“自分勝手”で“非論理的”であることがほとんどです。クライアント

側がそうであればあるほど、臨床の現場で医療に携わる者として、こちら側の拠って立つところが本当に“自分勝手”で“非論理的”ではないのかどうか、「科学的」であることへの指向性は、代替医療を始めた頃からずっと心の中にあったことです。

奇跡の書『デクステリティ 巧みさとその発達』

アレクサンダー・テクニークは予防医学的側面が強く、必然的に運動療法として「運動」そのものへ目が向くようになりました。そうした中で、ロシアの運動生理学者ベルンシュタイン（1886-1966）の奇跡の書『デクステリティ 巧みさとその発達』（文献1）と出会うことができたのは、私

■ベルンシュタインの詩いた小さな種

ベルンシュタインは、自らが発見した運動の原理を多くの人に知ってもらいたいと考え、一冊の本『デクステリティ 巧みさとその発達』の出版を計画します。今から半世紀前の話です。この中で「協調（コーディネーション）」という単位を理解するための、いわば思考実験の図として描かれているのが図8（P.35）です。本書を監訳されたアフォーダンスの第一人者、佐々木正人先生の他の著書にもたびたび引用される、象徴的で不思議な感じを抱かせる挿絵です。

・ベルンシュタインのオリジナリティー

彼が見つけたオリジナリティーは、運動を研究している他の同業の「誰にも語られていなかった」「運動の原理」でした。どの誰も「知っているつもりでいた」ために、かえってその性質を十分に明らかにする作業がおざなりにされていたのです。次に彼が気づいたのは、この“運動の原理”は科学者が独占して研究すべきものではなく、科学とは無縁

の一般の人たちにとっても、ごく身近なものであり、そして憧れているものであることでした。7つの章全編にわたって物語仕立ての逸話や楽しい装画をたくさんちりばめて、彼は一般のわれわれに、運動の原理、ほかでもないわれわれ自身のこの身体の動きの原理、誰もが知っているつもりで実は知らなかった運動の原理を、やさしく伝えたかったのです。

・ベルンシュタインの悲劇

本書の原稿は出版社へ提出されあとは最終印刷を待つばかりとなりました。そこで突然の悲劇がベルンシュタインと本書を襲います。彼がユダヤ人であるから、時の権威パブロフの反射学説を批判しているから、冷戦の真っ最中でありながら西欧の文献を多数引用しているから、といった理由でスターリンの粛清に遭い、ソ連邦中央労働研究所パイオメカニクス班室長の座を奪われるのです。その後公的な実験研究の場を奪われても次々に新たな概念を打ち立てていくのですが、研究者としては不遇のまま

1966年にガンで亡くなります。お蔵入りになってしまった本書の原稿については一切言及することなく、家族も友人もその原稿については何も知らされていなかったと言います。彼の失意は想像に余りあります。

・奇跡の第8章

遺稿が発見されたのは、ベルンシュタインの死後20年もの歳月が過ぎてからのことでした。それは引越の際に偶然に本棚と天井の間の隙間から同僚が発見されたのです。当時紙は貴重な資源でしたので実験用の感光紙の表裏に手書きでびっしりと書かれていました。ロシアでは1985年に樹立されたゴルバチョフ政権によってペレストロイカ（改革）路線へと政策の転換が図られ、グラスノスチ（情報公開）の推進によりベルンシュタインの研究業績も再評価されます。本書も1991年ロシア国内で出版、1996年英訳が出版されました。実に執筆から半世紀が過ぎていました。しかしその内容は色褪せることなく、今なお輝きを増し続けているのです。

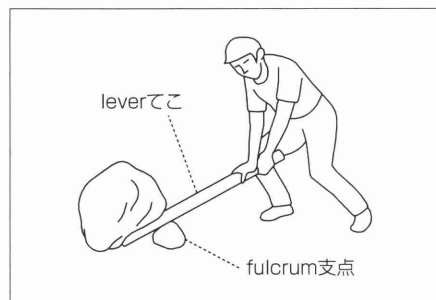


図1 レバーシステム (子稻義男他編、新英和中辞典、研究社、1985より)

たちにとって半ば必然でもあります、幸運でもありました。幸運という意味は、こうした経緯がなければ、古典的な整形外科医のままだったなら、素通りしていたはずだからです。

その序文および解説にも記されているとおり、本書は一般向けの啓蒙書でありながら「時代を超えて新鮮であり」「執筆から半世紀を経た現在、その内容は色褪せることなく、今なお輝きを増し続けている」名著です。「身体」に目覚めた私にとっても、運動に関するあらゆることを「説明し尽くしてくれる」かけがえのない“解法辞典”となりました。

今回は、動物の進化の時を経て、「体幹」から「体肢」が出現することになります。「体肢」の基本的構造とその性格、などについて、ベルンシュタインの“解法辞典”を主に参照しながら、話を進めていくことにします。

横紋筋革命(解法辞典、p80より以下同)

——その驚くべきマシンは、今まで見たこともないようなものだった。マシンは私のほうへ向かって突進してくる。あまりにも素早いので、容易に全貌をつかみきれない。どうやら車輪はついていないようだが、それでも驚くべきスピードで進んでいる。私を見る限りでは、マシンの最も重要な部分はいくつかのセグメントからなる力強く弾力性のある一組の長い棒だ。それは素早く形を変え、伸びたり縮んだり、広げられたり折り畳まれたりし、互いに素早く入れ替わりながら精密で美しい奇妙な弧を描いて

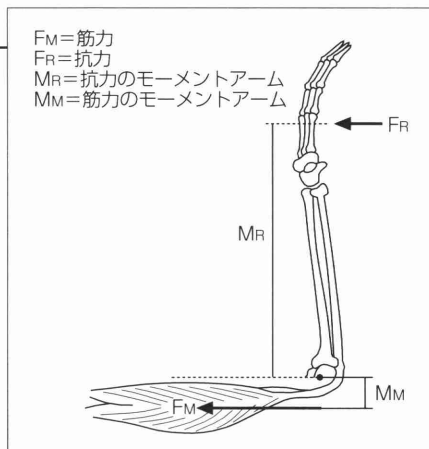


図2 第1のてこ (文献4、p31より)

動いているため、その本質が何か、起源が何なのかさっぱりわからない。とてもではないが、私たちの技術では、このようなマシンを組み立てることなどできない。(中略) このマシンは、大きさや出力の異なる200以上のエンジンから組み立てられており、1つ1つが個性的な役割を果たしていた。制御中枢はマシンの上端にあり、数百ものモーターの仕事を自動的に調整して調整して調和させる電氣的な装置が据えられていた。これらの制御構造により、棒と梃子(てこ)を備えた物体は複雑な曲線に沿って動くことができ、車輪もないのに風よりも速く進むことができるのである。(p140、初めて「体肢」を目の当たりにした「星間旅行者」の寓話)

動物の生命が「水中」に誕生してまだ間もない頃、動物の数に比べて「空間」にはゆとりがあったので、動物間の生存競争はそれほど激化していなかった。原始的な動物は、のろまでひ弱な平滑筋細胞を「空間移動エンジン」に採用しゆるやかな空間移動を行いながらのんびりとした生活を送っていた。「平滑筋」はのろまでゆっくり動くため、硬い骨格も感覚器官も必要なかった。しかし「空間」にも限りがあるため生存競争は徐々に激化していく。この戦いに生き残るための革新が必要となる。横紋筋の出現である。横紋筋は生理学的には重大な欠点と不便があるにもかかわらず(注1)、生物学的に(つまり生存競争を勝ち抜くために)きわめて有利だったため、ほどなく圧倒的に数多くの種へと広まってい

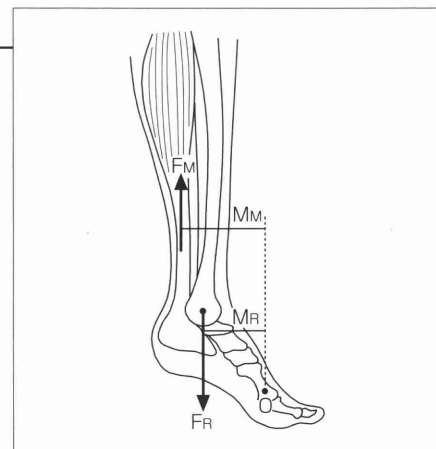


図3 第2のてこ (文献4、p31より)

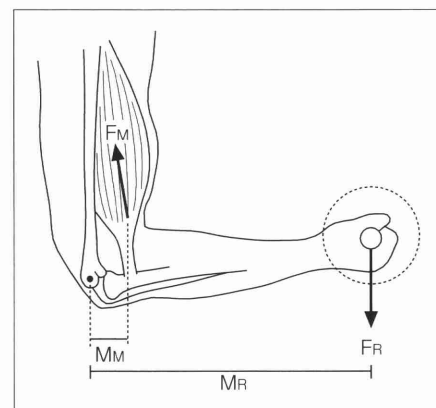


図4 第3のてこ (文献4、p31より)

く。旧タイプの筋細胞である平滑筋に比べて、速さと力の点において数千倍も上回る画期的な発明品であった。このような高性能の横紋筋をミミズやクラゲのからだに入れることは、ソーセージの皮に“砲弾”を詰め込むようなもので土台無茶な話であり、当然ながら“砲弾”を搭載する“枠組み”にも高品質のボディが緊急に必要となった(p69)。

注1 横紋筋3つの弱点 (p73～74)

- “砲弾”のように、あるいは心電計の針の動きのように、荒っぽく鋭い収縮であり、あまりに急で爆発的なので付着している骨を壊す恐れが大きい。
- 長時間収縮し続けることができない。
- 収縮力を調節できない。

体節そして体肢の出現 (p88)

高品質のボディは内骨格動物では骨となった(外骨格動物では硬い殻となる。ここからは内骨格動物すなわち脊椎動物について話を進めていく)。

「水」の中で横紋筋、骨、関節の3つの部品をもとに初のレバーシステム(てこ)を身体内部に装備した動物が誕生する。最

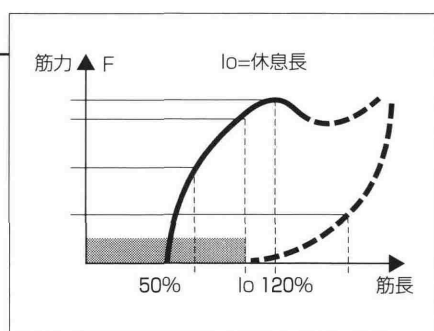


図5 筋長－筋力の関係（文献3、p16より）

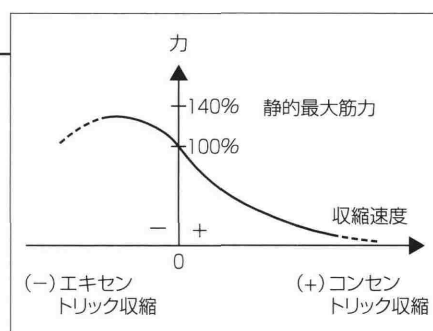


図6 カ－速度の関係（文献3、p18より）

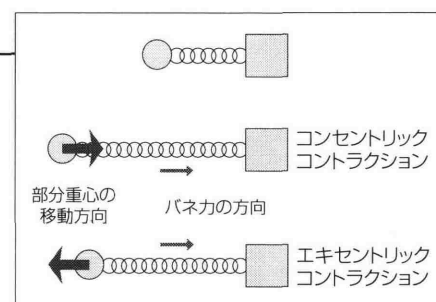


図7 コンセントリック・コントラクションとエキセン トリック・コントラクション

古の脊椎動物・魚類である。「水」の流動、揺らぎに対応して、体節（体幹）（注2）もまた流動し揺らぐ。「水」の中という条件つきではあるが、この環境におけるベストマッチといってよいであろう。魚類はおだやかな楽園のような「水」の中で繁栄する。しかし平和な生活は長続きしない。楽園であればあるほど、人口増加・生存競争は必至である。混み始めてきた「水」の中から脱出を試みる動物が出てくる。地上あるいは空中への進出である。水中と違いこれらの環境はそれ自体がきびしいものであり、時間が経てば「水」中と同じ生存競争が押し寄せてきて、より高いレベルでの移動能力が求められることとなった。体節（体幹）にとっては荷の重い「環境」から与えられた「運動の課題」であった。進化の過程で、動物たちは1つの回答を出す。それが「体肢」の出現、すなわち、より進化したレバーシステムの出現である。これはきわめて根本的かつ重要な革新となった。運動器だけの問題ではなく、感覚器官および脳中枢を巻き込んだこれら三者の密接なかかわり合いの中でそれぞれが進化を深め合っていくこととなったのである。

ここでは進化した運動器の基本原則と先端の応用例の代表的なものについて見ていくことにする。

注2 体節（分節化）は打ち出の小づち
脊椎動物や無脊椎動物のからだは体節で（＝分節的に）できているということには、大きな意味がある。同じものを繰り返しているということは、少ない情報で大きなものをつくるということ、すなわちからだをつくる遺伝情報の節約に役立っていると言われている（文献2）。

1. 「体肢」のレバーシステム

レバーシステム（てこ）では、筋、硬い骨（レバー）、支点（関節）の3要素を基

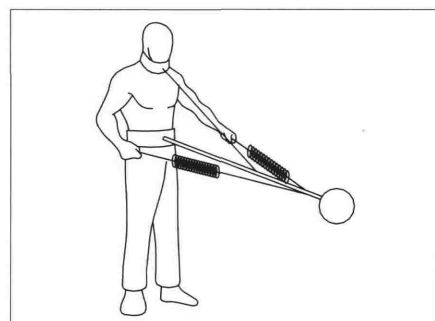


図8 コーディネーションの思考実験の図（文献1、p42を改変）
重いボールを2つのバネで制御する動作。バネ（弾性要素）が存在するときの運動制御は非常に複雑である。

本単位として（図1）、これらの配列の仕方により3種の基本構造が存在することになる（図2、3、4）。与えられた運動課題（より素早い運動を最優先にするか、より強い運動を最優先にするか）に応じて、身体各部位に最も適した構造が選択された。

2. 筋長－筋力関係（文献3、p16）

筋力は筋長が休息長（安静時の長さ、 l_0 ）の120%のときに最大となるよう設計された。実際の運動で筋が最大の力を発揮するには、筋を適当な長さ（張り）のところで収縮させるような“技術”が必要であることを示唆している（図5）。

3. カ－速度関係（文献3、p18）

筋の収縮力は、筋収縮のしかたも変わる。強い力を発揮するには筋が伸張される（負の仕事をする）必要がある（図6）。

4. コンセントリック・コントラクション

図7上段の●と■がバネでつながったモデルを考える（それぞれが体肢、体幹、筋に相当。■が固定され●が横方向に自由に動くことのできる、いわゆる open kinetic chain）。●を左方へ引き伸ばしたところで手放した状態が図7中段であり、コンセントリック・コントラクションに相当する。

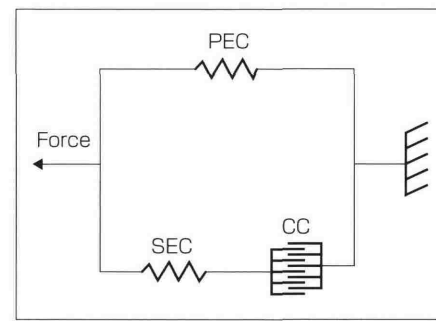


図9 骨格筋機能の機械的モデル

（文献4、p466より）
直列弾性要素（SEC：腱）が伸張されると、力を増大させる弾性エネルギーが蓄積される。収縮要素（CC：筋）はコンセントリックな筋活動中の筋力発揮の主な源である。並列弾性要素（PEC：筋膜）は受動的である。

5. エキセン トリック・コントラクション

エキセン トリック・コントラクションの特性は3つ考えられる。

①部分重心の制動作用：●を左方へ放り投げると慣性で●は左方へ移動するが、バネ力による右方へのブレーキがかかっている図7下段の状態。

②ゆらぎの作用：図8で考える。静止に近いごくわずかなゆらぎの状態を維持するには、エキセン トリック・コントラクションが必要である。

③ストレッチ・ショートニングサイクル（伸張－短縮サイクル、stretch-shortening cycle：SSC）における関与：筋そのもの（腱を含む）の特性（上記2、3）、神経反射、レバーシステムの進化（二関節筋）、これら三者が巧妙に関連して得られる、素早くかつパワフルな動作であり、プライオメトリック（plyometric：plio=さらに、metric=長さ）と呼ばれる（文献4）。

プライオメトリックスで重要となる部分が直列弾性要素（SEC）である（図9）。SECの大部分は腱にはかならない。エキ

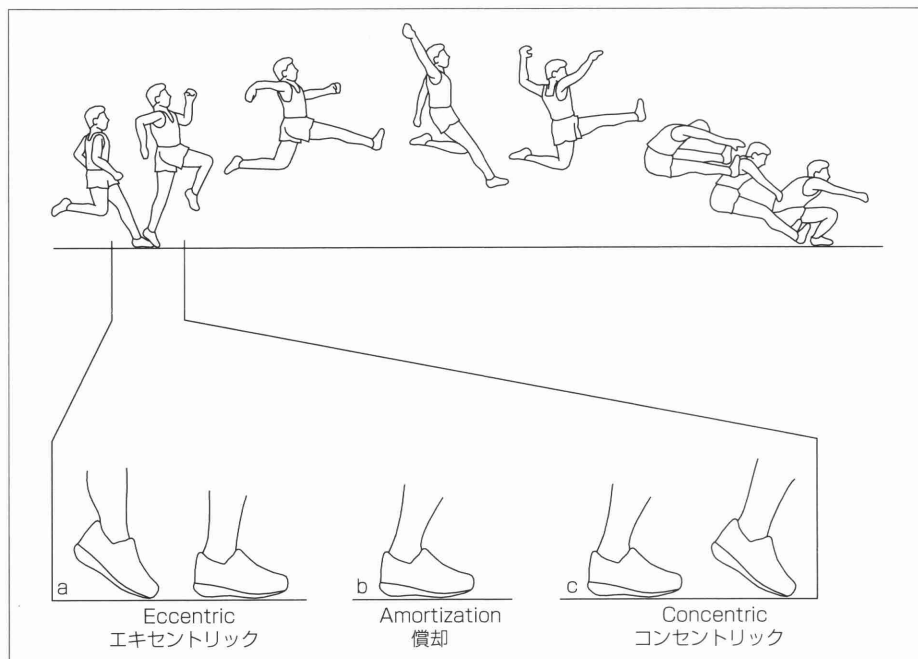


図10 走り幅跳びとストレッチ・ショートニングサイクル (文献4、p469より)

セントリックな筋活動の発生時と同様に筋腱の単位（筋腱複合体）がストレッチされるとSECはバネのように作用して引き伸ばされる。引き伸ばされれば引き伸ばされるほど、弾性エネルギーは蓄積されていく。予備的伸張と呼ばれる（注3）。このエキセントリックな筋活動の直後に筋がコンセントリックな筋活動を開始すると、蓄積されたエネルギーが解放され、筋と腱がもとの形状に戻ろうとする自然の働きによって、SECが全体としての力の発揮に貢献するのである。コンセントリックな筋活動がエ

キセントリックな筋活動に続けてすぐに行われなかったり、エキセントリック局面に時間がかかりすぎたり、あるいは関節の可動範囲があまりにも大きかったりすると、貯蔵されたエネルギーは散逸し熱として失われてしまう。図10は走り幅跳びにおける腓腹筋のストレッチ・ショートニングサイクルの一例である。

注3 予備的伸張：コンセントリック筋活動直前の伸張は、筋の発揮張力を増大させることが知られている。このメカニズムは、筋の弾性エネルギーの利用と伸張反射による張力の増強（急速な筋の伸張により伸張反射が起こる）が関与していると考えられる。

6. 二関節筋

二関節筋が誕生した理由は、単に2つの支点を筋がまたいで2つの関節を同時に収縮あるいは伸展することが目的ではなく（もしそうなら前述2、3と矛盾することになる）、ストレッチ・ショートニングサイクルへの参加要請が大きかったためではなかろうか。進化から要請された、素早くパワフルな運動課題に十分に応えている。

つまりメインの関節が機能する直前にサブの関節が逆モーションの運動を他から与えられれば、筋の“巻き上げ”現象が生じて、ストレッチ・ショートニングサイクルが効率よく実行されることになる。

(多久泰夫)

[引用・参考文献]

1. ニコライ・A・ベルンシュタイン、工藤和俊訳、佐々木正人 監訳、デクステリティ 巧みさとその発達、金子書房、2004
2. 坂井建雄、人体は進化を語る、ニュートンプレス、p165、1998
3. ロルフ・ヴァイルヘッド、目で見える動きの解剖学、大修館書店、2000
4. Thomas R.Baechle 他編、ストレングス・トレーニング&コンディショニング、ブックハウス・エイチディ、p466、2002

たく やすお、たく のりこ・たく整形外科医院（〒971-8172 福島県いわき市泉玉露2-14-24）、TEL & FAX：0246-56-8833、E-mail:takuball@r2.dion.ne.jp

ATAK NET

最新版
全国スポーツクリニック一覧
2005

トレーニングとコンディショニングに関する情報ネットワーク、ATAK NET (Athletic Training and Conditioning Keypersons' Network) は、全国スポーツクリニック2005年版を掲載しました。ぜひ、ご利用ください。
<http://www.ataknet.co.jp>

セミナー情報

スポーツ現場で求められる最新の理論、ノウハウを学べるセミナー開催情報が続々寄せられています。

求人情報

アスレティックトレーナー、ストレングスコーチほか、関連求人情報を掲載しています。

キーパーソン

スポーツ科学研究者、コーチ、トレーナーなど、様々な分野で活躍する専門家を紹介します。

コンテンツ充実

このほか、スポーツクリニック一覧、書評など、随時更新されます。ご期待下さい。

