

[総説]

筋肉と運動療法

高木昭輝

キーワード： 拘縮、筋萎縮、筋力低下、筋力増強、持久力

Muscle and usual Therapeutic Exercises in Physical Therapy.

Akiteru Takagi, Ph. D.

Abstract

This article provides a general description of therapeutic exercises and muscles. Firstly, the therapeutic exercises which Japanese physical therapists most commonly consider and use as treatment are reported. Secondly, the effects that therapeutic exercises have on muscles is considered with regard to strengthening, stretching, pathology and physiology of the muscle. Disuse syndrome, over use syndrome, and misuse syndrome are important problems to consider in rehabilitation. The physiological mechanism of disuse syndrome is also explained. Finally new open kinetic chain and closed kinetic chain techniques related to therapeutic exercise are described.

Key word : contracture, muscle atrophy, muscle strengthening, therapeutic exercise, tolerance

I はじめに

リハビリテーション医学辞典によれば運動療法¹⁾は「therapeutic exercise, movement therapy : ①運動障害に対して、運動それ自体を手段としてその改善あるいは維持を図ることで、理学療法の中心的な部分、②糖尿病、肥満などに対して食事療法、薬物療法と並ぶ基本的な治療法」と定義されている。¹⁾ここでは理学療法の中心部分としての運動療法に絞り、主として日本の理学療法士が通常考えている運動療法を、概説的に述べる。

医聖Hippocratesのころからすでに運動が心身に良いと経験的に行われてきたが、19世紀ころからスウェーデンやドイツなどで疾病の予防や治療のための治療体操と一般

的な体操とが区別されるようになった。

英国や米国では第一次世界大戦の1919年ころから、主として戦傷者を対象に機能障害に対して専門的に対応する職種として理学療法士らしきものが作り出され、間もなく理学療法士となった。

日本では1950年代から、当時の厚生省内部の研究やWHOの勧告があり、それまでなかったリハビリテーション医学の概念の導入と、それにかかわる職種を作り出す作業が進められた。1963年から日本で初めての理学療法士・作業療法士養成が始まった。

当時から、理学療法を構成するものは①運動療法、②物理療法、③日常生活活動にかかわる動作練習（当時は日常生活動作訓練とっていた）④義肢・装具療法の四本

で構成されていた。今日、理学療法法学は基礎理学療法学、理学療法診断学、理学療法治療学、理学療法予防学といった体裁になりつつあるが、まだ、きちんと体系化されているわけではない。

運動療法は理学療法治療学などの範疇に含まれるが、日本の臨床の場では、理学療法士は運動療法を行っていることが多い。欧米では、物理療法の範疇に入ると考えられてきた各種マッサージや超短波を利用する透熱療法 (dyathermy) も行われている。

ここでは、理学療法士が一般に考えている運動療法を概説し、次に筋肉とのかかわりで運動療法を説明する。

II 運動療法とは

理学療法士が治療の手段として考えている運動は他動運動、自動介助運動、自動運動、自動抵抗運動の4つと考えており、運動療法は障害の程度や質によって、これらを基本として展開される。

他動運動 (passive movement) は、自力で関節運動を行うことができない場合、他者であるセラピストが本人に代わって他動的に関節運動を行い、必要な関節可動域を確保するためや、関節運動の感覚を維持する場合や回復させる目的で行われる。

自動介助運動 (active assistive movement) は、自分で少し筋の収縮が可能になっているが、関節可動域の改善や維持に十分な筋力が無い場合にセラピストが介助しながら、可能な限り本人自身が運動を行うように支持、援助して運動を行うものである。注意深い介助が必要とされる。

自動運動 (active movement) は、本自身が必要な程度の関節運動を行うことができる場合に、何も器具を用いないで行ったり、紐、滑車、肋木などの器具を用いて行う場合がある。ただし、本人には抵抗運動を行うだけの筋力が十分でない場合に利用され

ることが多い。

自動抵抗運動 (active resistive movement, resisted movement) は筋力増強や持久力あるいは耐久力、呼吸・循環機能を改善することを目的として、徒手的に、または錘など負荷をかけることができる器具を用いて行われる。

また、運動収縮を3種類に分類している。それらは等張性収縮運動 (isotonic contractive movement: 一定の力で筋を収縮させる) と等尺性収縮運動 (isometric contractive movement: 関節角度を一定に保って筋力を発揮し筋は収縮して力を発揮するが、腱が伸びて、全体としてひとつの臓器としての筋肉の長さは変化しない)、等速性収縮運動 (isokinetic contractive movement: 器具などを用いて関節運動速度を一定にさせて常に各関節角度で大きな筋収縮をさせる) の3種類である。これも運動療法の中で応用されている。

今日ではさらに運動形態を解放運動連鎖系 (open kinetic chain) と閉鎖運動連鎖系 (closed kinetic chain) の二つに分ける考え方も登場している。

運動療法は、分類の仕方や対象とする障害によって、さまざまな表現がある。表1、表2は中山が種目別運動療法の種類として分類したものと、その一部の運動療法の体系をまとめており、現在行われている多彩な運動療法のおおよそがわかりやすいとおもわれるので引用した。²⁾

表1 種目別運動療法の種類(資料2)を一部改変)²⁾

①関節可動域運動	⑬上田法	⑳PNFアプローチ	・頸肩腕体操
②筋力増強運動	⑭エアールン療法	㉑IDストレッチング	・五十肩体操
③姿勢バランス運動	⑮中村法	㉒各種ストレッチング	・腰痛体操
④持久力運動	⑯制御理論的アプローチ	㉓関節トレーニング	・リウマチ体操
⑤神経・筋協調運動	⑰認知運動療法	㉔スリングセラピー	・Böhler体操
⑥徒手療法	⑱感覚運動統合アプローチ	㉕嚙下・咀嚼促通法	・骨粗鬆症体操
⑦全身調整運動	⑲関節運動学的アプローチ	㉖循環障害改善療法	・転倒予防体操
⑧Bobathアプローチ	㉚神経系モビライゼーション	㉗肺理学療法	・リラクゼーション体操
⑨Bojtaアプローチ	㉛関節モビライゼーション	㉘水中運動療法	・側弯体操
⑩Brunnstrom法	㉜マッスルエナジー	㉙多重感覚刺激法	・フレンケル体操
⑪Rood法	㉝筋筋膜伸張法	㉚各種疾患別治療体操	・Jakagi's method ³⁾ など
⑫Hirschberg法	㉞触圧覚刺激法	・顔面筋体操	・パーキンソン病に対する棒体操

ヒトの動きは、行為 (act, behavior:たとえば、右手で「さようなら」をする)、動作 (motion:たとえば右手を振る)、運動 (movement:たとえば右上肢を肩甲上腕関節で30度くらい外転、120度くらい屈曲、肘関節30度くらい屈曲、前腕45度くらい回内位の状態で、上肢を30度から40度ほど内転、外

転させる)と、運動、動作、行為に分けて説明することができる。寝返り、寝た状態からの起き上がり、いすやベッドからの立ち上がり、歩くこと、などを基本的動作と呼ぶが、これらを含む生活に関連した動きなどを運動療法体系として前述の中山が表にしているものを一部改変したものを引用する。

3) 4)

表2 運動療法体系(資料3)を一部改変)⁴⁾

生活関連動作 (APDL: activities pararell to daily living) ・日常生活動作 (ADL)														
運動療法														
関節可動域	運動 (movement)					動作 (motion)				行為 (act)				
	筋力増強	バランス	協調性	耐久性	筋弛緩	神経生理学的アプローチ	各種体操	心機能	肺機能	基本動作	歩行	応用動作	日常生活動作	生活関連動作
他動運動	自動介助運動	座位バランス運動	巧緻性運動	全身調整運動	局所調整運動	PNF法	五十肩体操	トレッドミル歩行	呼吸練習	座位練習	歩行練習	階段昇降練習	起居動作	家事動作
自動介助運動	自動運動	立位バランス運動	筋再教育運動	有酸素運動	全身筋弛緩運動	Brunnstrom法	側弯矯正体操	エルゴメータ	体位排痰	立位練習	器具を用いた歩行練習	スピード練習	移動動作	社会環境適応練習
自動運動	抵抗自動運動	水中運動	Frenkel運動	神経生理学的アプローチ	PNF法	Bobath法 (NDT)	腰痛体操	有酸素運動		車いす操作運動	義足歩行練習	走行練習	食事動作	自立練習
伸張運動	抵抗運動	神経生理学的アプローチ	水中運動		水中運動	Bojta法	Böhler体操			神経生理学的アプローチ	神経生理学的アプローチ	神経生理学的アプローチ	更衣動作	
PNF法	漸増抵抗運動				バイオフィードバック	Rood法							トイレ動作	
関節モビライゼーション	等尺性収縮運動	動的関節制運動				上田法	多重感覚刺激法				多重感覚刺激法		入浴動作	
水中運動	等張性収縮運動	多重感覚刺激法	バイオフィードバック			上田法	多重感覚刺激法							
触圧覚刺激法	等速性収縮運動						スエーデン体操							
			多重感覚刺激法				デンマーク体操							
	PNF法						その他							
	バイオフィードバック													
	水中運動													

※上記に示す運動療法体系は運動療法の方法から分類した。重複する項目も多いが、内容から判断して傾向の強いほうに分類した。

Ⅲ 筋肉の障害

1 筋の変性、萎縮

筋の構造は一般的に引用図のようになっている。例としての右上肢の三角筋後部線維から、各部分を模式図的に拡大したもの

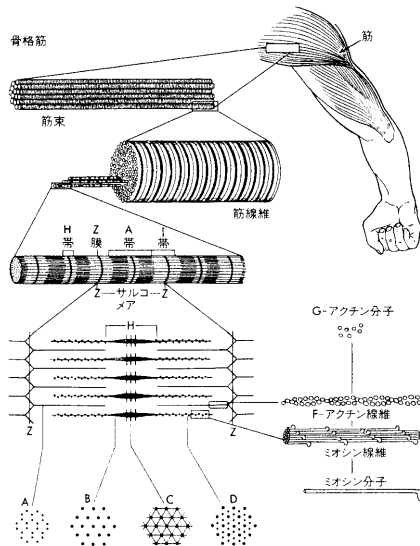


図1 骨格筋の構造

図中のA、B、C、Dは、それぞれ示された部位での断面を描いている。

(Bloom W and Fawcett DW : A textbook of histology. 10-ed. Saunder, 1975) ⁵⁾ ⁶⁾

注意すべきことは、筋線維の長さと同束の長さは一致していないことである。筋誠意の全長が筋束長と一致しておらず、筋線維の末端が先細り (tapering) していることである。筋線維長が筋束長と一致するものもあり、遅筋線維にその割合が高いといわれている。⁷⁾

筋には筋収縮の速さによって遅筋 (赤筋)、速筋 (白筋) に分けられるが、さらに①fast twitch (速く収縮する筋で筋タイプとして2 A、2 Bに相当)、②slow twitch (収縮、弛緩がゆっくりである。筋タイプの1、2 Cに相当)、slow tonic (非常にゆっくりと収縮、指南する。外眼筋、筋紡錘の中に見られる) に分けられる。⁸⁾

筋は筋原性ミオパチー、神経原性ミオパ

チーである。⁵⁾

筋の収縮は筋線維で、細いアクチンに太いミオシンが滑走して入り込む状態と考えられている。⁶⁾

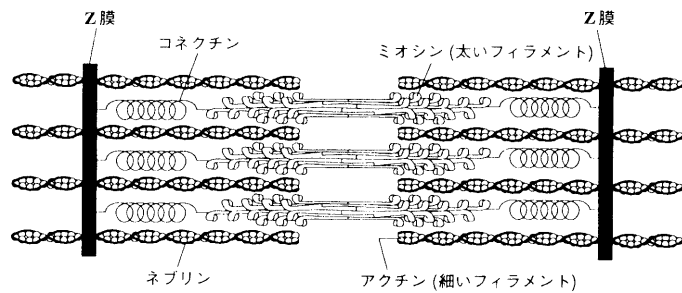


図2 筋原線維を構成する

タンパク質フィラメントの模式図

2種のフィラメントの相互作用は、ミオシンフィラメントの側鎖とアクチンフィラメントの間で起こる。コネクチンフィラメントは太いフィラメントをZ膜につなぎ止め、収縮後にその位置を筋節中央へ戻す。ネブリンフィラメントはアクチンフィラメント生成時にその長さを決め、筋節の長さを決定する。

チーを代表的な疾患として筋が変性を生じ、進行すれば壊死に陥る。1945年以前は筋細胞は再生しないと考えられていたが、常態では有糸分裂をしない安定した多核細胞であるが、壊死後は旺盛な再生が可能なstable (reversible postmitotic) cellに属し、神経細胞や心筋細胞のような再生しない、もしくは分裂増殖能力を失ったpermanent (irreversible postmitotic) cellではない、とされている。⁹⁾

筋の再生には、衛星細胞 (satellite cell : 原形質膜と基底膜の間にある未熟な細胞) と筋線維自身の核の周囲に細胞膜が形成されて、単核の筋前駆細胞 (mononuclear myogenic precursor (筋芽細胞 : myoblast) となって増殖し、それが融合することによ

って多核ではあるが幼若な筋管細胞 (myotube) となり、筋形質が分化し、次第に成熟した筋細胞への成熟過程を経て筋細胞の再生が完成する、とされているが、筋芽細胞化 (myoblast transformation) を引き起こすメカニズムを含めて、決定的な解明には至っていない。ただ、いくつかの説として、損傷部で産生される endogenous mitogen、壊死分節内で増量したカルシウムによる刺激などが影響していると考えられている。筋鞘下核の芽細胞化や筋芽細胞の増殖、さらに筋管細胞への融合、それらの過程の調節には成長ホルモン、副腎皮質ホルモン、インシュリン、プロスタグランジンなどのホルモンの他に FGF, IGF, PDGF などの増殖因子が当然のことながら必要であると考えられている。¹⁰⁾

2 筋肉と運動療法—特に理学療法で通常考えられていること

筋肉の損傷には、筋肉自体が物理的な原因によって断裂したり、手術などでやむを得ず筋肉を切り裂いたりして、損傷を得ける場合と高齢者が転倒して大腿部などを骨折し、臥床によって単に下肢の筋肉のみならず、全身にわたる廃用症候群に陥ることも、臨床で多く遭遇する問題である。これまで日本では「安静神話」が長く一般人のみならず、医療に携わるものにも、意識的、無意識的に影響を与えてきた。

現在、日本ではこのような廃用症候群や、過用症候群、誤用症候群の克服がリハビリテーション医療にかかわる者ばかりでなく、国民的な共通認識となって、それらの克服に向かって実践されることが緊急の課題であるといっても過言ではない。

そこで、上記の3つの症候群を簡単に説明すると、以下のようなものである。

1) 廃用症候群：これは生体は元来、重力に逆らって、DNAの許容範囲で生

命活動が続けるのであるが、病気になって寝込んだり、宇宙飛行士として特に心身ともに鍛え上げられた人たちでも無重力の世界で、意識的に強力に筋肉や骨に対して働きかけなければ、一週間も無重力状態にあれば、たとえそれ以前は頑強なヒトであっても、「もう起き上がっても良いですよ」、「無事に地上に戻りましたから、外に出てみんなに手を振って歓迎に答えてください」といわれても、しっかりと地面に立つことができなかつたり、かつての飛行士は地上に待ち構えていた人たちに両脇から抱えられてやっと宇宙船外に降り立ったことがテレビ中継で放映されている。アメリカ航空宇宙局 (NASA) では、すでに理学療法士が、このようなことの克服のための研究と宇宙での運動プログラムを処方して、実施されているので、今日では、毛利さんをはじめ、皆さん宇宙から帰還されても、すぐに自分の両足で地球を踏みしめて歩き、笑顔で歓迎に答えることができるようになっている。欧米の理学療法士たちも、入院費が高いこともあって長く入院をしていられない事情が背後にあるにせよ、早期からベッドから起き上がり、日中の臥床時間を減らすこと、可能な限り、早くから歩行を始めて効果をあげている。これは、一日一回理学療法士のいる部屋に来て理学療法を行うことばかりではなく、病棟での生活の過ごし方もこの廃用症候群を防止する意味が十分理解されていなければならない。これは、体力がないヒトの場合に陥りやすいようである。適切な付加量を、少しずつ、頻回に行うことが勧められている。

2) 過用症候群：これは、簡単に言えば、運動をやり過ぎることの結果、疲れや、

痛みが生じ、結局は治療効果を挙げる
ことができずに、治らない悪循環に陥
りやすいものである。これはしばしば、
かつて体力に自信のあったヒトが陥り
やすいようである。筋肉への負荷が大
きすぎると筋自体が破壊されてクレア
チンキナーゼ (creatin kinase: CK) が
血液中に出てくる。筋の再生よりも変
性、破壊の方が勝ると、治療には進ん
でゆかないのは当然である。

- 3) 誤用症候群：これも、実際の調査資
料に乏しいが、少なくないのではない
かと思われる。「安静神話」もその一つ
かもしれない。よく見聞きするのは、
「少くらくらい痛くても我慢して動かして
いれば、そのうち良くなるだろう」と
いうようなやり方である。正しい方法
で、無理なく、少量・頻回、日中はベ
ッドで横になっていないこと。

当然のことながら、転倒事故や無理は禁
物である。

3 再び運動療法

現在では、表1や表2で示したような多
様な運動療法に、前述したように運動形態
を開放運動連鎖系 (open kinetic chain) と閉
鎖運動連鎖系 (closed kinetic chain) に分け
て考える方式が注目されてきている。その
閉鎖運動連鎖系の代表例は両足で立ち、ゆ
っくりとしゃがんでからゆっくりと再び立
ち上がる、スクワットである。

これまで筋力増強はひとつの関節あるい
は屈筋群と伸筋群との関係で、当事者の現
段階で最大限の筋力が測定されたとして、
一週間に一回は、その40%くらいの負荷量
をかけて、数回、運動をすれば筋力は強化
される、と考えられてきた。しかし、それ
は、その関節にかかわる筋群だけのことで
ある。この開放運動連鎖系では、たとえば、
膝伸展運動では大腿四頭筋の単独収縮が起

こるだけと考えられるが、前述のスクワ
ットやレッグプレスのように足部を床に設
置するか、固定して膝の屈曲、伸展を行うと
大腿四頭筋、ハムストリングなど下肢の共
同収縮が引き出される、したがって閉鎖運
動連鎖系の概念を取り入れた運動療法プロ
グラムがいろいろと開発されてきている。

さらに、もうひとつの筋の収縮に対する
見方がある。それは求心性収縮と遠心性収
縮の問題である。求心性収縮は筋に加えら
れた負荷よりも筋の力のほうが大きい場合、
筋肉は短く収縮する。ところが、筋力より
も大きな負荷が加えられると、筋肉は収縮
しても、筋肉の長さは短くならず、伸ば
されてしまう。このような収縮を遠心性収
縮と言い、筋力の増強には効果があるとい
われてきた。階段を下りる際の膝関節の屈
曲進展にかかわる筋群では、このような遠
心性収縮が生じている。しかし、山から下
る際、無理をして速く降りると、膝に負担
がかかり、筋線維の一部は破壊され、大腿
の筋群の痛みが生じることが多い。筋が破
壊されている指標としてのCK値の上昇が
見られるはずである。

最後に、運動と筋肉の代謝を考えなけれ
ばならない。つまり、無酸素運動 (anaerobic
exercise) と有酸素運動 (aerobic exercise)
である。100mを10秒前後で走るランナーで
は、この無酸素運動が行われているが、
42.195 kmを2時間6分などでは走るマラソ
ンランナーでは、有酸素運動が行われてい
る。無酸素運動では、前述の速筋が用いら
れ、有酸素運動では主に遅筋が用いられ、
疲労物質として蓄積された乳酸も再び、筋
収縮のためのエネルギー産生のための再利
用が行われる。

しかし、前述の例はあくまでも、スーパ
ーアスリートのレベルでの話であるので、
通常は、当該患者のできる簡単な負荷量か
ら (つまり少量)、安全に、疲れすぎないよ

うにしながら、休息を十分にとりながら、たびたび繰り返す（つまり頻回）、運動で、閉鎖運動連鎖系、有酸素運動、これら続けることである。

あの、「きんさんとぎんさん」のご兄弟は、98歳ころから歩行がおぼつかなくなり、いわゆる「リハビリ」を始めたと聞いている。きんさんが亡くなったとき、ぎんさんは106歳であったが、ちょうど錘をつけて膝の屈曲伸展をしているところが放映された。

米国Tuft Universityでは1990年代には心筋梗塞で倒れた90歳以上の超高齢者のための運動療法プログラムが作成されており、効果を挙げている。

筋肉の再生過程や筋力増強や持久力改善、運動遂行能力に関係する感覚障害や運動プログラミングのことも考慮してより、それぞれのヒトに適切な、豊富な運動療法メニューが科学的根拠の元に提示されることが、今後ますます必要とされるであろう。⁴⁾

転倒防止や骨粗鬆症の予防や防止の運動療法にも期待が高まっている。

これ迄紹介してきたように下肢筋力を強化したり、バランスを向上させたり、持久力を向上させたりするメニューはいろいろと紹介されている。様々な運動を、専門家と相談の上で、無理なく、楽しんで、栄養や休息を充分とって、継続することが効果を上げる。しかし、大変にこれが難しい。これの克服の為に仲の良いご近所や家族を誘って行くと、継続しやすく、ストレスも減らして免疫力も高められるかもしれない。

急がば廻れ、という事のようなのである。

文献

- 1) リハビリテーション医学大辞典：医歯薬出版株式会社. 37, 1996.
- 2) 中山彰一：運動療法の概念. 運動療法学 総論、標準理学療法学、医学書院. 12, 2001.
- 3) 中山彰一：運動療法の概念、運動療法学 総論、標準理学療法学、医学書院. 13, 2001.
- 4) 高木昭輝：制御困難な状況に立ち向かう、理学療法のとらえ方－Clinical Reasoning－、文光堂. 227-238, 2002.
- 5) 徳山薫平、奥田拓道：運動一筋の生化学、病気を理解するための生理学・生化学 改訂2版. KIMPODO. 176, 1998.
- 6) Bloom W. and Fawcett D.W.,* A textbook of histology, Sanders, 10-ed, 1975.
- 7) 山田 茂、福永哲夫、骨格筋：運動による機能と形態の変化. N A P. 50, 1999.
- 8) 山田 茂、福永哲夫：骨格筋：運動による機能と形態の変化. N A P. 17, 1999.
- 9) 檜澤一夫、骨格筋の構造：現在病理学体系21A 筋肉（骨格筋）、中山書店. 13-15, 1992.
- 10) 檜澤一夫、四宮禎雄、小野一雄：骨格筋の再生、現代病理学体系 21A 筋肉（骨格筋）、中山書店. 37-43, 1992.
- 11) 高木昭輝：運動療法・バランス、真野行生編 高齢者の転倒とその対策、医歯薬出版株式会社. 112-118, 2002.
- 12) 武藤芳照（編）、黒柳律雄、上野勝則：転倒予防教室－転倒予防への医学的対、日本医事新報社. 70-104, 2000.