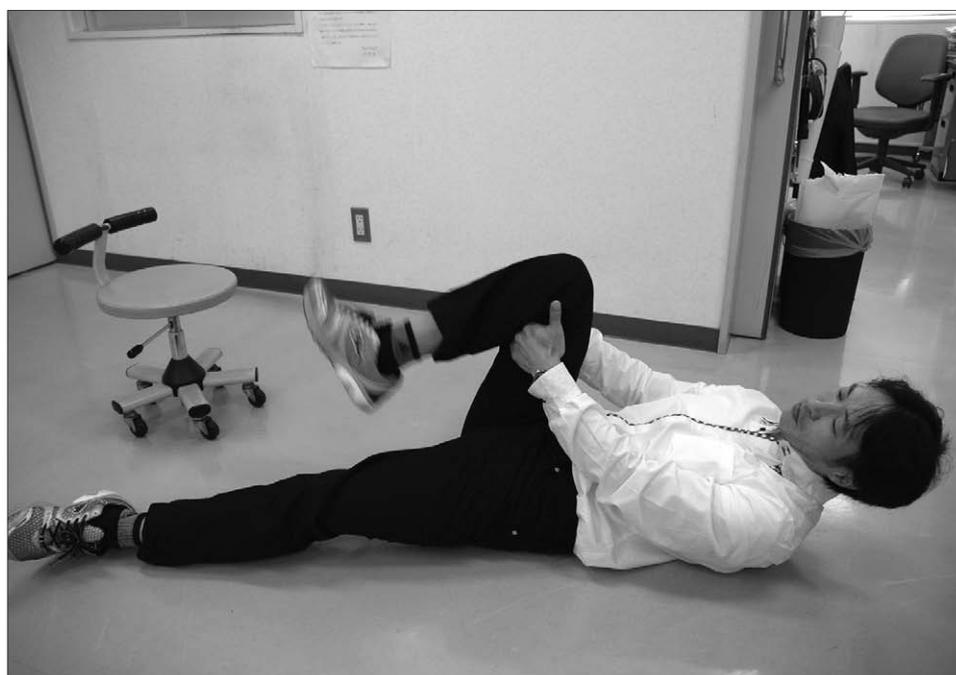


November Special

# 筋力の問題

筋力、筋量、筋機能、筋出力、  
筋活動の視点から



筋力は、関節可動域と並び、リハビリテーションにおいて重視されるポイントである。筋力については、筋量、筋出力、筋機能、筋活動など、さまざまな視点が絡んでくる。この特集では、スポーツやリハビリテーションにおいて、筋力に関し、どのように捉え、どのように対応しているか、またそこにどのような疑問があるのか、整形外科、理学療法、制御工学などを専門とする先生がたに、臨床現場で起こっていること、行われていることについて取材した。また本誌105号の特集で登場していただいた熊本先生に二関節筋の話をもさらに突っ込んで聞いた。

- 1 筋量、角速度に見合った筋出力という視点 吉田昌平 P.4
- 2 できない動作を可能にするもの 丹羽滋郎、同席者：高柳富士丸、宮川博文、稲見崇孝、井上雅之 P.12  
——筋力と筋力以外の要素、重力と脳のソフトとともに
- 3 理学療法における筋力トレーニングの考え方 大工谷新一 P.22  
——臨床を通じて変わってきた自らの考え方と方法
- 4 避けて通れない「二関節筋」の概念 熊本水頼 P.32  
——科学基礎としての二関節筋

# 1

筋力の問題

## 筋量、角速度に見合った筋出力という視点

### 吉田昌平

財団法人 京都地域医療研究所  
がくさい病院リハビリテーション科

本誌では前十字靭帯損傷後のリハビリテーションの特集（123号）などで登場していただいた吉田先生に、リハビリテーションにおける「筋力」に関連して、筋量と筋出力の関係、単関節の動きと複合関節の動きの関係において、どう捉えて、どう対応しているかについて語っていただいた。

### 筋力と腱力

——大工谷先生（P.22）への質問と同じことをまずお聞きしたいのですが、整形外科のドクターからのオーダーとしては、「筋力」は多い？

吉田：いやむしろ、ほとんどが関節可動域訓練、筋力訓練というオーダーです。

——やはり、関節可動域と筋力が大きな2つの柱になる。しかし、詳細なオーダーではない。

吉田：そうです。

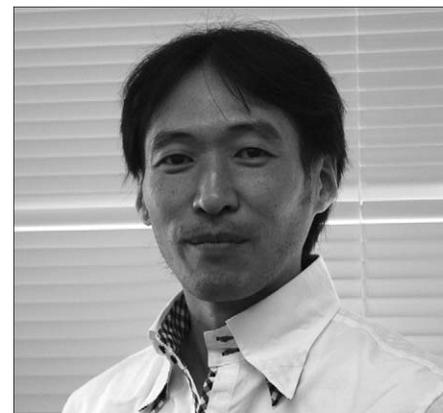
——リハビリテーション（以下、リハビリ）においては、関節可動域と筋力についてはどうしても考えなくてはいけない問題。

吉田：どうしても考えなくてはいけない問題であるということと、最近考えているのは、「筋力」ではなくて、「腱力」というか腱の力が大事だということで、たとえば膝蓋腱炎（ジャンパー膝）であれば、ドクターからのオーダーは大腿四頭筋のストレッチと、痛みが消失したら大腿四頭筋の筋力トレーニングということが多いのですが、大腿四頭筋をストレッチするとき、筋には腱がついていて、その起始と停止が離れるようにストレッチしても、筋と腱は粘

弾性が異なるので、筋は伸ばされても腱は二次的には伸ばされるかもしれないけれど、実質的にはさして伸ばされないのではないかと考えています。そうであれば、腱の特性を考えたストレッチをしなければならない。これについてはデータがとれていないので、確かなことは言えないのですが、筋がバンと強く収縮したときに、遠位の物体が伸びることによって、腱ははじめてストレッチされると考えています。したがって、膝蓋腱のストレッチを目的に大腿四頭筋をストレッチするのであれば、スクワット動作でもホッピングして行う。これを私は「腱トレ」と呼んでいるのですが、その効果を認めていただいているので、当院では、ドクターから「腱トレ」をしてほしいというオーダーが出てくるほどです。たとえば、背臥位で図1のようにバウンディングさせるようなイメージです。速く振り上げる。そういうことをすることによって、いわば筋がアイソメトリックな収縮をしているときに、遠位の関節がエキセントリックに動く方向に入った瞬間に腱はストレッチされているのではないかと考えて実際にやってみると、膝蓋腱が著明にやわらかく変化してきます。客観的指標はまだ出せていませんが。

——それは超音波でみることはできない？

吉田：エラストグラフィーでみるのができるのではないかとありますが、現在当院にはその装置がないので、今後の課題になります。「腱トレ」というオーダーを出していただいているドクターからも、それは何で証明できるかと言われたのですが、ひとつには筋硬度計もあるのですが、それよりもエラストグラフィーのほうがよいので



よしだ・しょうへい先生

はないかと、要望を出している段階です。そういうイメージで腱をやわらかくするアプローチを行う。また筋トレにおいても、従来行われているスクワットは多筋に負荷をかけることを考えたものだと思いますが、ホッピングするように行う。実際に行ってみるとわかりますが、従来のように行うと大腿四頭筋に負荷がかかります。しかし、ポン・ポン・ポンとホッピング的に行うと、膝蓋骨の周囲に負荷がかかる感じがします。このとき、腱や膝蓋骨を安定させる靭帯などにより負荷がかかっていると思います。だから、筋力ではなく腱力で、腱が弱化している状態に対応するものです。理学療法においては、痛みがあるときは運動させてはいけないのが原則ですが、腱をトレーニングさせたとき、翌日腱は痛くなります。筋トレをした翌日の筋肉痛はむしろ喜ぶ人もいるくらいですが、腱が痛くなると、「悪くなった」と思う。でも、そうではないと説明し、こうして腱自体をトレーニングするという発想をもってほしいと言っています。もちろん、あまり痛みが強いのは困りますので、朝一番に圧痛を



図1 この位置から膝の伸展・屈曲を小さく素早く繰り返す

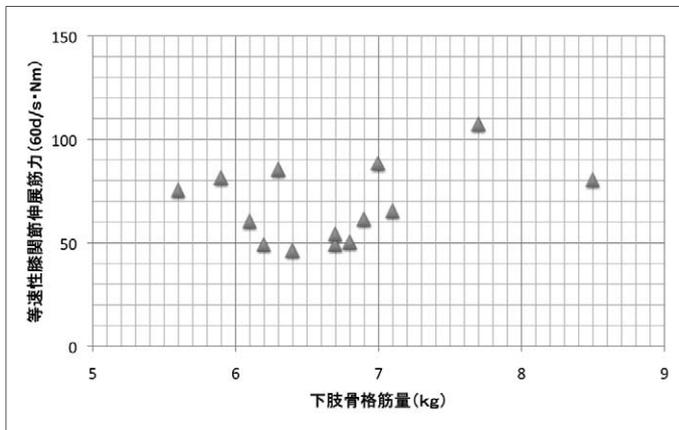


図2 下肢骨格筋量と等速性膝関節筋力の関係  
(変形性膝関節症女性：60歳～75歳；健側) (P.26 カラーページにも掲載)

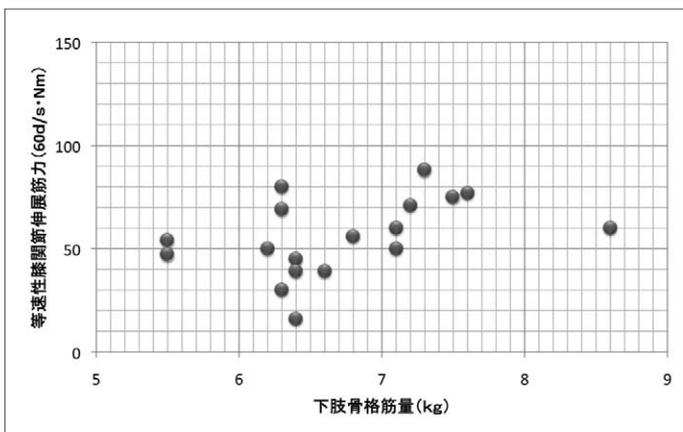


図3 下肢骨格筋量と等速性膝関節筋力の関係  
(変形性膝関節症女性：60歳～75歳；患側) (P.26 カラーページにも掲載)

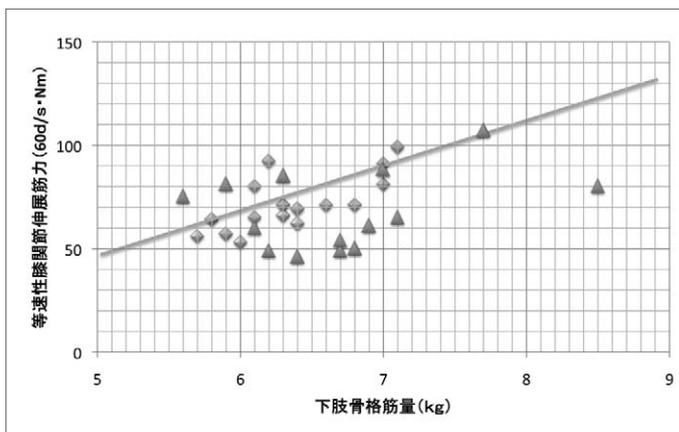


図4 健常女性と変形性膝関節症女性の健側との比較  
(P.26 カラーページにも掲載)

チェックしてもらおう。患者さんに対しては、「たぶん、明日の朝はこれまでより痛いと思う。しかし、今日行った10のトレーニングで腱に痛みが生じた」とすると、そのトレーニングを2～3日続けてほしい。痛みが軽減してくれば、乱暴な言い方になるけれど、それはトレーニングされているから、痛みも軽減されてきたんだということになります」というような言い方になります。また、痛みが軽減されてきたら、10ではなく、もう少し負荷をかけるように、たとえばホッピングからジャンプへと行うようにして、腱自体をトレーニングさせていこうというのが今の私の考えです。筋トレもちろん大事なのですが、どこにストレスが加わって痛みが出ているのか、それが腱であれば、リハの過程では腱にもストレスをかけようということです。

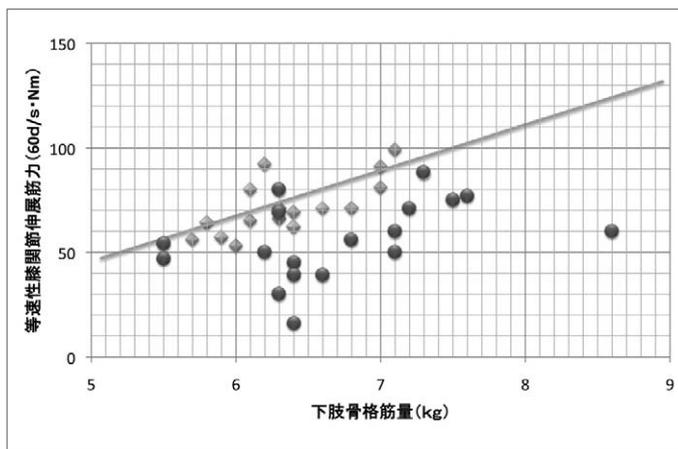


図5 健常女性と変形性膝関節症女性の患側との比較  
(P.26 カラーページにも掲載)

—— 腱は強化できるかという疑問もあるが。  
吉田：それについてはわかりません。しかし、私の感覚としては強化できるし、また臨床的にも可能という結果が得られています。  
—— 筋が強化できるのなら、腱も強化できる

と考えることはできる。  
吉田：ただし、急性期など時期的に難しい、避けたほうがよい時期はあります。しかし、腱の痛みで医療機関を受診されるときは、多くは慢性外傷であり、かつ難治性のものが多い。そういう症例に対して腱トレ

# 2

筋力の問題

## できない動作を可能にするもの ——筋力と筋力以外の要素、重力と脳のソフトとともに

### 丹羽滋郎

愛知医科大学名誉教授

同席者

高柳富士丸・東海学園大学

宮川博文・愛知医科大学運動療育センター

稲見崇孝・同上

井上雅之・同上

本誌の連載「日々の臨床から『診察室で行っている筋と脳へのアプローチ』」を通じて、筋と脳との関係を臨床の場での経験とともに語っていただいている丹羽先生に、改めてこれまで記してこられたことをさらに詳しく語っていただき、また上記4先生にも参加していただき、それぞれの研究内容を紹介していただいた（図は連載の再掲を含む）。

### 肩甲骨のロックを外せば…

——今日は、筋力と脳、重力、筋の再教育という先生が長年研究されてきたことを改めてうかがいたいのですが。

丹羽：まず、興味深い例を挙げましょう。たとえば、五十肩で手の挙がらない人に、図1のように肘を曲げて、指先を肩に触れ



図1 このように指先を肩につけ、肩を中心に上肢を前方・後方に回転させる

るようにして、肩を中心に10回ずつ前方回転・後方回転させると、上腕二頭筋と上腕三頭筋により上腕骨頭と肩甲骨の関節面が固定され、同時に肩甲骨が動きます。すると、五十肩で手の挙がらない人が、「楽に手が挙がるようになりました」と言うことが多い。高柳先生は、肘を曲げると、その分軽くなるから肩が楽に動くという考え方の方ですが（後述）、私は少し違って、連載でも述べてきたように、「肩甲骨のロック」が外れるという考え方をしています。先月ある会社に行ったら、45歳の事務職の方が「手が挙がらない」と言うので、「ちょっと挙げてみて下さい」と言うと「ここまでしか挙がりません」と言い、水平よりやや上くらいで腕が止まっていました。なぜ挙がらないのかと聞いてみたら、若いときに交通事故で首を痛めたことがあったようで、最近、この1年くらい前から手が挙がらないとのことでした。しかし、その人をベッドに背臥位で寝かせて手を挙げてもらうと、ちゃんと挙がる。これは肩甲骨のロックが外れるから挙がるのです。それを確認して、普通にレントゲン写真を撮って、それから手を挙上した写真も撮りました。手が挙がらない状態から、先ほどの肘の前方回転と後方回転を10回繰り返してもらい、「手を挙げて下さい」と言うと、「先生、手が挙がるようになりました」と言うので、すぐに写真を撮りました。すると寝て手を挙げたときと、同じように真っ直ぐ挙げることができました。肩甲骨には6つの固定している筋肉があり、これらの筋が腕（上肢）の使い方で、その目的に従って、肩甲骨を安定させているのです。ですから仰向けに寝ると、そのロックが外れて



にわ・しげお先生

しまい、私がよく言っている無重力状態になり、ちゃんと動くようになる。つまり、肩甲骨のロックを外すために、前方回転、後方回転を行ったのです。その前後でのレントゲン写真は驚くほど違っています（図2）。前述の事務職の方も楽に手が挙がるようになって、頸のレントゲンも撮ったところ、頸椎の第3と第6の左に軽い狭窄がありました。その症状はなく、いわゆる四十・五十肩の症状でした。

### ——挙がらないのは痛くて挙がらない？

丹羽：立った状態では、痛みのため、それ以上挙げられないということでした。しかし、ベッドで寝てやって下さいと言ったら、ベッド上では楽に挙げた次第です。肩甲骨周辺の筋が円滑に動かないために、痛みとして症状があったわけ。整形外科の先生方が肩に関する本をたくさん書かれています。こういった話はあまりみかけませんね。カパンディの教科書には、胸郭と肩甲骨のところに臨床的な関節があると書いてあり、腕を上手に動かすために普段は固定された形です。しかし、仰臥位で無重

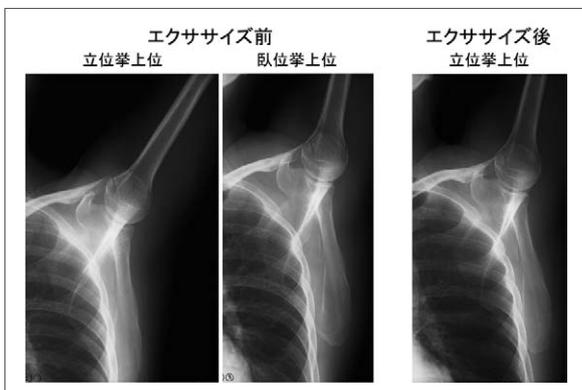


図2  
左：運動前の立位挙上位（十分肩が挙がらない）  
中央：臥位挙上位（十分肩が上がっている）  
右：立位挙上位（運動後。中央同様、十分肩が上がっている）

力状態になれば、それは自由に動くわけです。また、拘縮がなく、そういった脳のソフトが解除されれば、たちどころに動くようになると思います。

野球に熱心な投手の例ですが、棘上筋の付着部に所見があり、「手を挙げて」と言うと途中までしか挙がらない。そこでベッドに仰臥位で寝かせて「僕が押えているから、それに抵抗して押し返して」と言って、肘を伸ばした状態で、上腕を前方、後方、側方、各方向に10数える間行ってもらいました(図3)。そのあと、坐った姿勢に戻ってもらい、「手を挙げてみて」と言ったら、「挙がります」と言うのです。この投手は三角筋が非常に柔らかいよい筋肉でした。しかし、普段手を挙げる動作では三角筋が十分に働かないでしょう。肩甲骨の棘上筋腱が上腕骨の骨頭につきます。そこに一番負担のかかるような投げ方をしていたので、痛くて投げられなかったと考えました。あれだけの肩ですから、普通の投げ方をしたら投げられるはずなのですが、彼自身の特異な投げ方からくる肩への負担から、手が挙がらない状態になっていたと考えたいです。これは、肩甲骨のそのポジションが一番いい球を投げられるような脳の「動きのソフト」になっていたのかもしれない。私は肩が専門ではないので、彼は肩の専門医で知っている人がいるというので、以降はその先生にお任せしました。

もう一例、本誌129号で紹介した例で



図3

仰臥位の姿勢では、重力の影響が少なく、腕を外転する筋は、拮抗筋が働かないため楽に力が入るので、筋活動が盛んとなります

仰臥位の姿勢で腕を上げるとき、拮抗筋の働きがほとんどないので、容易に筋活動が盛んになります

腕を下げる動作は、重力のかかる方向のため、容易に筋活動が得られるし、また力も入る。①～③の運動によって、座って腕を上げるとき、腕を上げる、また打球をするための肩の棘上筋の運動に十分に補佐的な働きをすることになります。このために痛みが軽減すると考えます

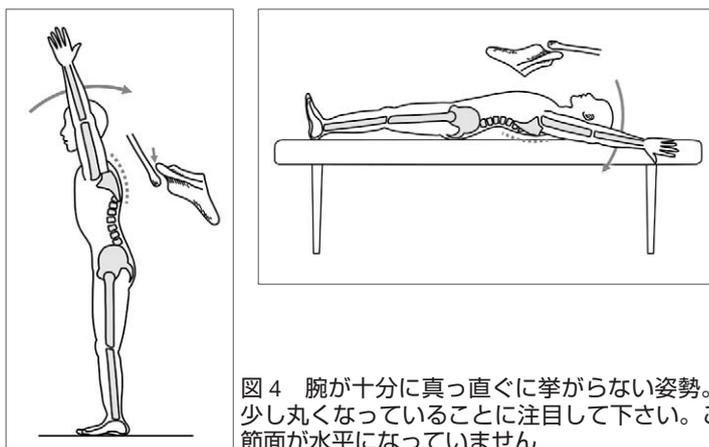


図4 腕が十分に真っ直ぐに挙がらない姿勢。立位のため、背中が少し丸くなっていることに注目して下さい。このために肩甲骨の関節面が水平になっていません

図5 仰臥位のよい姿勢になると、肩を構成する筋が弛緩し、肩甲骨の関節面は垂直になるので腕は真っ直ぐに挙がります

すが、上腕骨外科頸骨折のおばあさんが来院されて、1年間リハビリに通っているけれど、手が挙がらないと言うのです(図4)。「私が手を持っているから、手を挙げて下さい」と言って手を挙げてもらったのです。やはり途中で止まり、それ以上は挙がらないのですが、「痛い?」と聞くと「痛くない」と言うので、「ベッドに寝てみて下さい」と言って、その姿勢でバンザイしてもらったら、「手が挙がった!」と言うのです(図5)。そのおばあさんも喜んで、今も真面

目にリハビリに通っていますので、いずれは手が挙がるようになるから心配しなくてもいいですよと言って帰ってもらいました。私はよく知らなかったのですが、ネコは鎖骨がないそうです。しかし、物を抱えたりできる動物にはちゃんと鎖骨がある。イヌも鎖骨は少し残っている程度だそうです。彼らは歩いたり走ったりする動作だけで、四肢でそう複雑な動作はしなくてよい。そうなるともう少し動的なかたちで、動物の動きなども考慮して、ヒトの

# 3

筋力の問題

## 理学療法における筋力トレーニングの考え方

——臨床を通じて変わってきた自らの考え方と方法

### 大工谷新一

岸和田盈進会病院 リハビリテーション部 部長  
南大阪スポーツメディカル&ヘルスケアセンター  
センター長

筋力はあればあるほどよいか。インナーマッスルは弱い負荷で鍛えられるか。ヒールレイズは母指球で蹴るのがよいか。その他、臨床のなかで生じてきた疑問と、その結果どういう対応に変わってきたか、大工谷先生に聞いた。筋力強化そのものを考え直す材料に富んだ内容。

### 筋力は強いほうがよいか

—— 理学療法の世界では関節可動域と筋力は大きな要素だと思いますが、ドクターからのオーダーでもその2つは大きな柱に？

大工谷：あとは動作練習とADL（日常生活動作）練習があります。

—— 立ったり、坐ったり、歩行やその他。

大工谷：そうですね。

—— 「大腿四頭筋の強化」という具体的オーダーはあまりない？

大工谷：どの部位の何を目的とした運動療法というような細かいオーダーは、最近、出てこないです。

—— もっと大枠で？

大工谷：そういう気がします。運動療法に非常に詳しいドクターであれば違うのでしょうけれども、まだ「筋力強化」というオーダーは細かいほうで、もっとざっくりとしたケースもあると思います。

—— ADL訓練とか？

大工谷：単に「運動療法」とか。

—— それはアスリートでも同じ？

大工谷：アスリートについては、ある疾患に対するリハビリテーション（以下、リ

ハビリ）のプロトコルがあると、そのプロトコルどおりにということになり、リハビリで行うこともだいたい決まってしまう。プログラムが決まっているから、オーダーもそれに応じたものになるのかもしれませんが。

—— むしろそれは任されているという感じで、考える余地はかなりある感じがしますね。実際にいろいろな疾患があるから一口には言えないかもしれないが、「筋力」については、リハビリの最初ではどういう位置づけになりますか？ 疾患によって何をみるかで違ってくると思いますが、たとえば関節可動域の回復と筋力の回復、あるいは動作の獲得ということになってくるのでしょうか、その可動域と筋力との関係、動作と筋力との関係はどのように捉えている？

大工谷：可動域と筋力に関しては、そんなに関連づけられてはいないと思います。可動域いっぱい動かすのは、筋力的には、徒手筋力検査（MMT）で3あれば可能ですから、すごく鍛えたら、可動域がどうか、逆に可動域が大きければ筋力がどうなるという文献類は、あまりみたことがありません。

動作に関しては筋力が強いほうがいいということはよく聞きます。ただ、私自身は、お年寄りにはさほど強い筋力はいらなくて、自分のからだを操るだけの筋力があればいいと考えています。アスリートにしても筋力が強いから起こるケガもあるので、強ければいいというものではないと思います。筋力が弱くてもケガをしない選手もいますし、そのへんはうまく整理できていないと思います。筋力はあるほうが良いと言っても、じゃあ、どのくらい筋力が強



だいくや・しんいち先生

ければいいのか、筋力が弱いと大きな力が発揮できない分ケガしないという側面もあると思いますが、その場合パフォーマンスは低下します。そういう動作と筋力の関係については、まだ十分整理されていないのが現状だと思います。

—— 筋の萎縮がみられて筋力が低下しているという場合は、積極的に筋力向上を行っていく？

大工谷：その場合はそうです。萎縮している筋を強化しなければいけない。

—— 強化するためには、その筋肉に負荷をかけて動かせればよい？

大工谷：ある1つの筋を使わせる場合でも、かなり工夫をしないと、弱くなっている筋だから、その筋を使う運動をするとき、他の筋を使ってくるのです。

—— いわゆる代償行為。

大工谷：協働筋があるので、とくに注意しないで普通に行くと、弱い筋は使わず、相対的に強い他の筋を使うようになり、目的とする筋とは異なる筋が強化されていくことになるはず。ですから1つの筋をターゲットにしたときには、協働筋などを

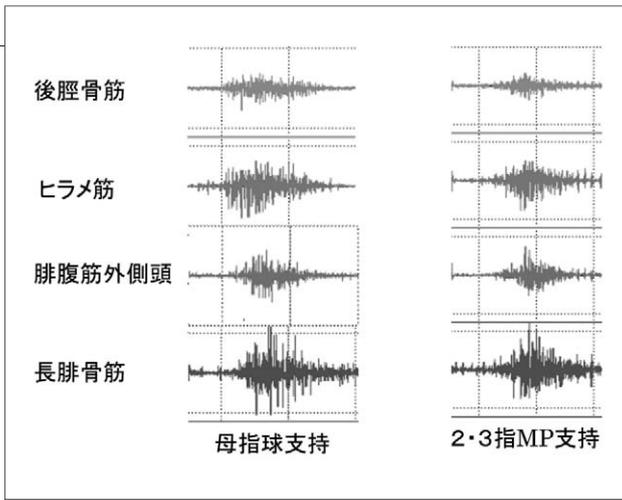


図1 ヒールレイズ運動中の筋電図波形

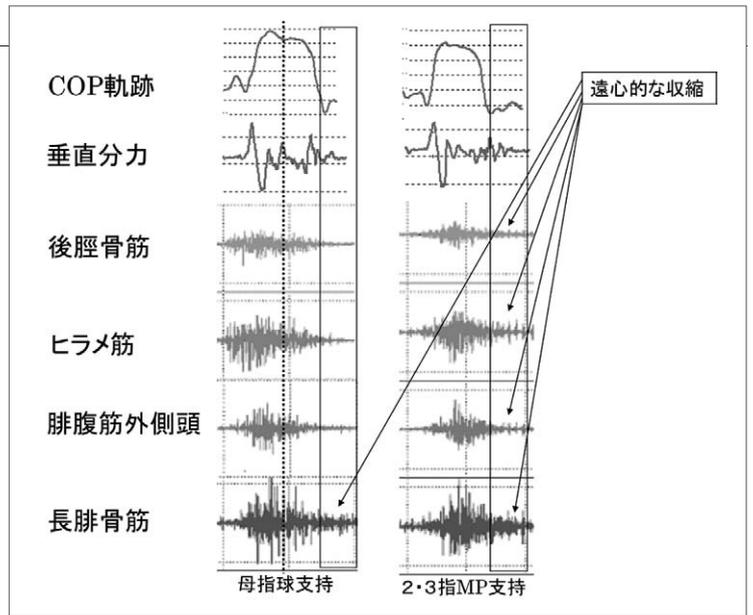


図2 ヒールレイズ運動中のCOP軌跡、垂直分力と表面筋電図

きいのですが、筋放電の形がいわゆる紡錘形ではなくるのです。つまり放電パターンが菱形になるのがいいのですが、ちょっとそれが乱れるのです。ところが第2指や第3指あたりの母指球でないところで蹴らせると全部の筋がきれいに菱形になるというのが1つです。

また、母指で蹴らせると筋放電が2層になる(図2)。つまり4つの筋の活動が2層になるから菱形にならないのです。2層のときに何が起きているかという、運動中のCOP(center of pressure)軌跡がダブルピークパターンとなり、また床反力がきれいな波ではなく、COP軌跡のピークとピークの間にもう1つ垂直分力が発生するのです(図2、母指球支持のCOP軌跡と垂直分力)。私の考えとしては、母指で蹴らせると、蹴って、一番上に踵が挙がるまでの間にもう一度蹴っているのです。つまり2段階で挙がるのです。

次に、第2指と第3指の間で蹴らせると、2段階で挙がらずに1段階で挙がっていきます。さらに今度は何が起ころかと言うと、踵を挙げたまま止まっている姿勢の筋電図が、母指球で挙げさせたあとは、腓腹筋よりも長腓骨筋がたくさん使われているのです(図2左、遠心性収縮の部分)。ということは母指球支持で踵を上げさせた後にゆっくり下ろしてくる時のブレーキは長腓骨筋が担っているのです。でも第2指と第3指間で挙げさせたときには、4つの

筋が等しく使われています(図2右、遠心性収縮の部分)。この場合、踵を下ろすときには4つの筋が、ブレーキとして働くのです。

結論を言うと、母指で蹴らせると筋放電は大きいから、量的な筋力発揮は多いのですが、おもに長腓骨筋が使われて、しかも踵を挙げると言うよりも、もうひと伸びするところでは、腓腹筋などは膝の伸展に使われていたり、その他いろいろ足関節底屈以外の動きにも使われている可能性があります。第2・第3指の間で蹴る動きの場合、長腓骨筋は母指球支持ほど使われなくて、下腿三頭筋が動員されていて、しかも底屈のみの動作で上まで挙がるのです。

ですから、底屈筋でしかもいろいろな筋肉の使い方を考えたときに、母指球で踵挙げを何も考えずにさせると、下腿三頭筋よりも長腓骨筋などを使ってしまうクセがつくと考えられます。下腿三頭筋などもまんべんなく上手に使わせようと思ったら、母指球支持での踵挙げはよくないということになります。

——母指球荷重とアライメントの関係については、前号で渡會公治先生(帝京平成大学)も指摘されていました。

大工谷: とくにMMTでは普通、底屈筋を踵挙げで検査するのですが、手で抵抗をかけるテストがあります。その際、長腓骨筋を分離するテストがあるのですが、それでは底屈優位で母指から蹴らせるのです。で



図3 母指側を作用点とした底屈運動  
この場合、足関節の底屈運動より足部の底屈と外がえし(回内)運動が優位に生じるので、長腓骨筋の過用や短縮を引き起こしてしまう。

すから、運動療法で徒手的に足関節底屈のトレーニングをさせるときに母指側からグッと蹴らせると長腓骨筋が優位に働くはずなのです(図3)。したがって、踵挙げで母指の筋トレをしても、おもに長腓骨筋が働いてしまうので、下腿三頭筋の筋トレをしたいのであれば、あまり適した運動ではないと思います。

しかし、母指球支持は第2・第3指間での支持よりは筋放電が多いので、筋の使い方自体は下腿三頭筋も母指球支持のほうが多いこととなりますので、筋活動の質や、他の筋の作用などとの兼ね合いを考えたときには、筋放電量の多い母指球支持よりも第2・第3指の間支持で行ったほうが良いケースがあると思います。

——そのトレーニングの狙いは何かということ。狙いに応じて変えなければいけない。  
大工谷: とくに長腓骨筋を使ったときの母趾球の使い方とか、アーチの挙がり方など

るときの固定力が強ければ、それで十分ではないでしょうか。ただ、私がチェックしていることを法則化してやれと言ったら結局数字になってしまうのかもしれない。そもそも本当にどうなっているのかみたくから、数値を出してきたわけです。臨床での感覚的なものを何かで示したいと思っていたところにサイベックスのような機械が登場して、それで今まで自分がやってきたのはどれくらいの数値だったのかをみるということが本来のバックグラウンドとしてあったはず。おそらく、ところ

の前段階が崩れてしまって、臨床的な所見を抜いて、数値がこうだからというように数値だけがひとり歩きしてしまったのではないかという気がします。機械はいろいろな経験や伝わらないものを数値にしたくて作っているわけですが、その考え方が逆転してしまっていたとしたら、まさに本末転倒のように思います。

——数字で確認するくらいだったのが、その数字さえあればというようになってしまう可能性があるということ。

大工谷：サイベックスやバイオデックスで

よい数字を出そうと思ったら、サイベックスやバイオデックスでの測定運動を上手にできるようになればいいのです。サイベックスやバイオデックスのスキルが上がれば数値も上がります。数値で判断するときには、注意が必要になるということだと思います。

〔メモ〕医療法人盈進会 岸和田盈進会病院  
〒596-0003 大阪府岸和田市中井町 1-12-1  
TEL.072-443-0081 (代)  
FAX.072-444-9441  
<http://www.eishinkaihsp.or.jp/>

# 4

筋力の問題

## 避けて通れない「二関節筋」の概念 ——科学基礎としての二関節筋

### 熊本水頼

京都大学名誉教授

本誌 105 号の特集「二関節筋」で、二関節筋に関する研究について詳細に述べていただいた熊本先生。今回、改めて筋・筋力を考えるうえで避けて通れない二関節筋の問題についてさらに突っ込んだ話をうかがった。二関節筋の存在は広く知られているが、その仕事については正確な理解が普及しているとは言えない。新しい発見、今後の展開も含め、改めてインタビューした内容を掲げる。105号特集と併せて読んでいただきたい（主要な図は105号から再録した）。

### 運動制御

#### ——motor control と motion control

熊本：以前にも話したことですが、京都大学から富山県立大学に移ったとき工学部の研究室に「運動制御」の意味で、

Laboratory of Motor Control という看板を掲げた。すると、工学部の先生たちは「先生、電気モーターの制御を研究するのですか」と聞いてきた。「えっ？」と思ったのですが、そう言えば、工学部では motor control と言えば電動モーターのことを指す。そこで Human Motor Control としたということがありました。

国際シンポジウムで二関節筋について話してほしいと言ってきた学会は Advanced Motion Control と表記していました。工学サイドでは運動制御は motion control というのが普通です。バイオメカニクスと工学とは、すでにそこから言葉のギャップがある。

——生理学では運動制御は今でも motor control と言う？

熊本：国際的にそうです。国際生理学会のなかで、運動生理における motor control は東欧圏が盛んだった。当時、「東欧」といっ

ても、ヨーロッパでは東欧と直接対話できなかった。

——東欧というと、ソ連……。

熊本：ソ連、ブルガリア、ルーマニアなどですが、その橋渡し役になっていたのがブルガリアです。そのブルガリアで motor control の国際会議が開かれた。ブルガリアのボスがジディコフという人で、とくに表面筋電図を研究していました。その国際会議には久保田競先生ほか、motor control を研究しているメンバーとともに参加しました。残念ながら、ジディコフ教授は急死したのですが、以来、motor control のグループとは縁遠くなくなりました。

そこから、私は制御工学に取り組むことにしました。筋電図でヒトや動物を対象に運動制御を研究するのは限界があります。二関節筋が関係してくると、それまでの力学体系ではまともに計算できない。



くまもと・みなより先生

京都大学教授、富山県立大学工学部教授を歴任。京都大学名誉教授。長く二関節筋に着目、研究を続けてきた。1992年二関節筋国際シンポジウム組織委員長（ローマ）、現在NPO法人人体機構制御研究会理事長。今年10月28日、30日にも「アクアマリンふくしま復活記念シンポジウム」および同公開講演において、シーラカンスに二関節筋の源を認めた結果から議論の場を設け、二関節筋の重要性を説いている。本誌105号では、二関節筋をテーマに特集を組み、広く反響を呼んだ。『ヒューマノイド工学』『二関節筋』などの編著書、論文多数。

—— 当時はすでに二関節筋を研究されていた。

熊本： 前回の特集で述べたように、二関節筋は古くから研究していました（編集部注／熊本先生は東京オリンピックのときからカヌー競技のトレーニングドクターを務め、パドルをこく動作を筋電図で研究。初心者レベルではみられる上腕二関節筋からの筋放電が、トップレベル選手ではみられないことから、二関節筋に着目、以来研究を続けてきた）。長く筋電図所見から二関節筋について研究していて、ISB（国際バイオメカニクス学会）のなかでは熊本と言えば二関節筋と知られていました。しかし、そこから先がなかなか踏み出せなかった。

—— 最大の問題は計算しにくいということ？

熊本： そうです。計算法が難しい。今でもそうでしょう。計算が難しいということで敬遠されています。

—— それで今でも膝など関節の伸展・屈曲の関節トルクをみている。

熊本： そうです。ある程度きちんとしたかたちになったのは、1987年、京都大学を定年退官する少し前、アムステルダムでインゲン・シェナウ教授がISBを主催したのですが、そこで彼はジャンピングジャック

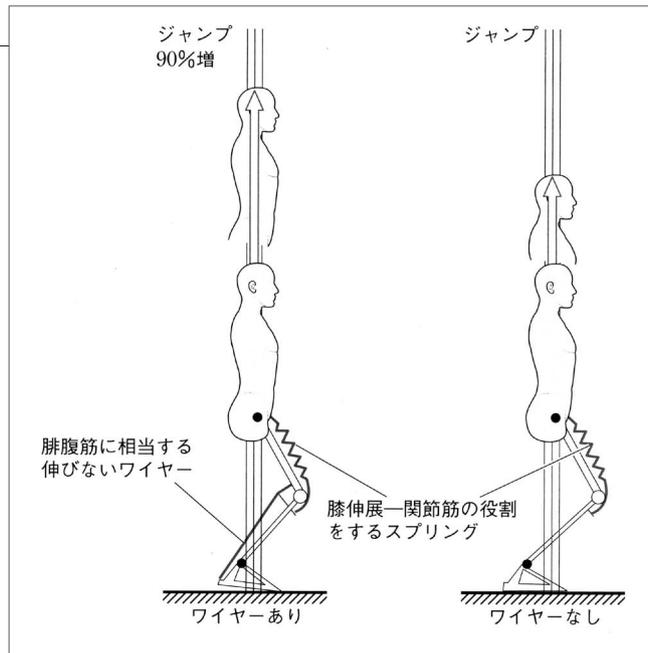


図1 van Ingen Schenauが1987年に製作発表したジャンピングジャックモデル（熊本編集、二関節筋、医学書院より）  
腓腹筋に相当するワイヤーをつけた場合の跳躍高はつけない場合の90%増となった。本モデルはガイドレールに沿って跳躍させている。

クという工学モデルを作って発表した（図1）それは二関節筋のパワー伝達を示すものだった。しかし、われわれは、二関節筋は制御だと考えていたので、すぐにインゲン・シェナウとともに国際二関節筋研究グループを立ち上げました。しかし、じゃあどこで国際シンポジウムを開くかとなると、予算やさまざまな事情でなかなか決まらなかったのですが、彼らは日本開催を希望した。ところが、日本で二関節筋を研究しているのは、当時私の研究室くらいだったのです。今は少し増えました（後述）。結局、ローマのカポツォ教授が引き受けてくれて、92年にローマでのヨーロッパバイオメカニクス学会のなかで二関節筋国際シンポジウムが実現しました（編集部注／熊本先生は組織委員長を務めた）。

—— 何人くらい集まったのですか？

熊本： 一般演題は10題、招待講演が4題、これは私とジェイジャック教授（当時米国スタンフォード大）らが演者を務めたのですが、当初、カポツォ教授が「一般演題は10題しかない。熊本が気の毒だ」と心配していました。しかし、会場に行ったら、私が入れないくらいの人で、机の間のスペースにも人が入り込んでいました。

—— それはヨーロッパの人が多かった？

熊本： ほとんどがヨーロッパです。インゲン・シェナウのグループもいたけれど、非常に関心が高かった。

—— ヨーロッパでは今でも二関節筋の研究は盛んに行われている？

熊本： 制御に関してはほとんどない。

—— やはりパワー？

熊本： そう。ところが、インゲン・シェナウが亡くなってしまったということもあり、今は二関節筋の研究はそんなに盛んではないでしょう。インゲン・シェナウが育てた弟子が散らばってはいるけれど、論文をみるかぎりでは以降継承していく人が育っていない。

—— それはなぜ？

熊本： やはりリーダーが若くして亡くなったから。まだ50代だったので残念です。ちょうどわれわれが日本で精密工学会のなかに人体機構制御研究分科会を立ち上げることが決まったころ、インゲン・シェナウを呼ぶことも決め、みんなでタクシーに乗ったとき、タクシー内のテロップで「スラップスケート開発者のオランダのインゲン・シェナウ教授死去」のニュースが流れた。びっくりしました。それは長野オリンピックの年のことです。この長野オリンピックで、スラップスケートで金メダルが続出しました。彼は、腓腹筋のパワー伝達の理論に基づき、スケート靴の踵がブレードから離れるスラップスケートを開発したのですが、日本の研究者も実は前から知っていたようです。ただ、選手が使いこなせなかったようです。いったん使いこなせる

## ナメクジウオからシーラカンス

### — 二関節筋の根源へ

#### — 邪魔？ 何の？

熊本：拮抗筋だから。質問の趣旨としては、寝たきりになったとき、なぜ一関節筋が最初に衰え、二関節筋は衰えないのか。今でもリハ分野の人はそういうことを言います。そういう現象が起きているのは確かでしょう。実は、当時、二関節筋が何をしているか、明確にはわからなかった。拮抗筋が何のためにあるのかわからなかった。それが、結局「出力方向制御」のためだとわかった。その論文を出したのが97年です。本誌の105号特集「二関節筋」でも述べましたが、上肢でも下肢でも、拮抗筋は拮抗二関節筋と両端の関節の拮抗一関節筋二対、合計三対あり、二関節リンク機構のなかで、その三対で360°の方向制御を行っている（図5）。これはヒトだけ

のことでなく、陸上生活を営んでいる動物はみなそうです。しかも、非常に大事なポイントは、個々の関節を独立制御するのではなく、拮抗筋の制御回路が三対あり、位相を変えて組み合わせる（図6,7）。すると、ひとつの入力信号（任意の出力方向を指示する単一の指令）で、上肢や下肢全体がいっぺんに任意の方向に出力して動く。これがわかったのです。ここで非常に

大事になってくるのは、今言ったように動物界みなそれをもっているということです。ということは、もと（根源）がある。それは3億5000年前、生物が水中から陸上に上がったとき（図8）。それが今取り組んでいるシーラカンスと結びついてくるところです。

これにつながるきっかけが2004年の暮にありました。二関節筋は制御に欠かせな

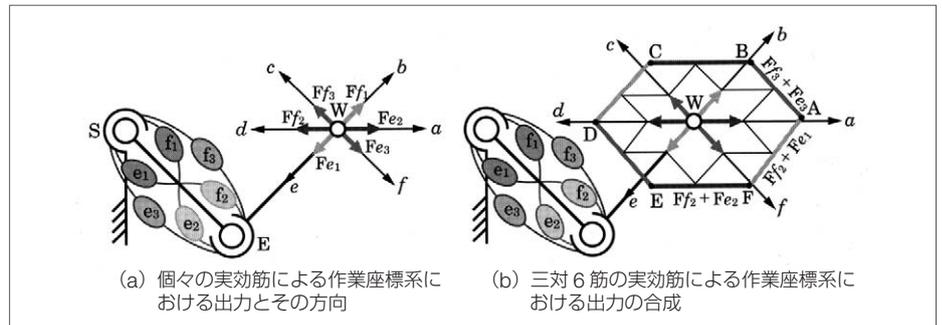


図5 作業座標系における理論的出力分布（熊本編集、ヒューマノイド工学、東京電機大学出版局より）

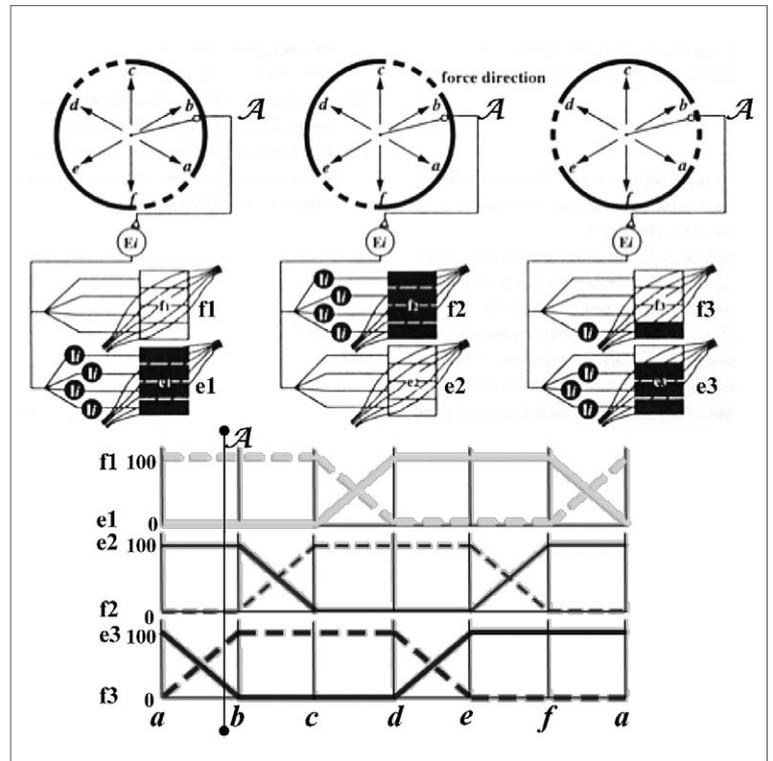
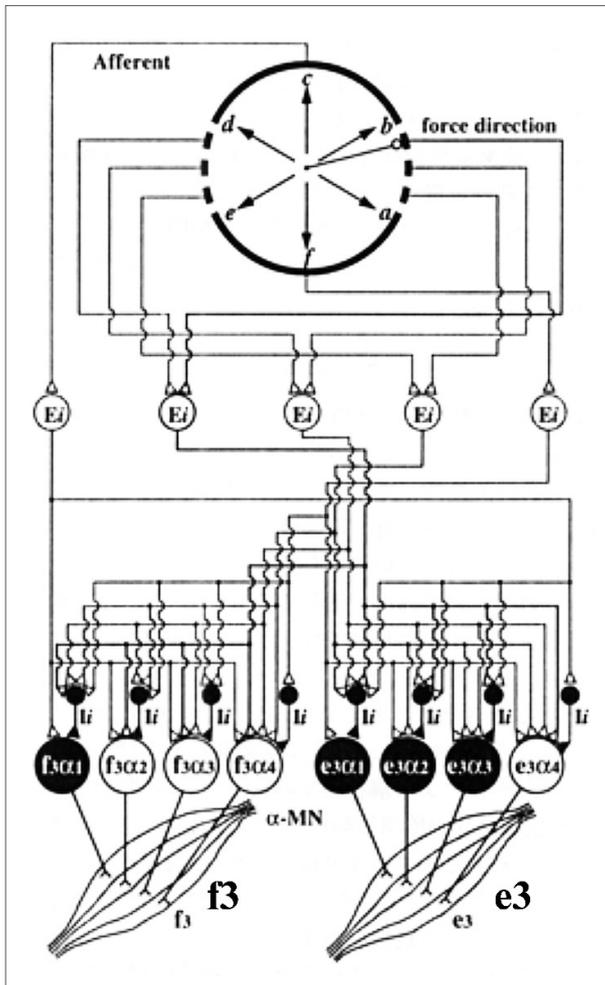


図7 3対の拮抗筋制御回路（協調制御回路）  
各々60度位相をずらして1つに組み込んである。したがって任意の出力方向の指令(A)の入力（最上部パネル）で、3対の拮抗筋の出力レベルを1度に制御し（下段パネルA）任意の方向Aへ出力可能となる。

図6 1対の拮抗筋制御回路