

# 屈筋と伸筋の生理的特徴上の差異に因る 固有リズムの解析と応用

沼 田 宏 行

序. 屈筋と伸筋は人体の骨格構造により、同じ筋肉でも異なる性質を持つことが田路秀樹、金子公宥による「力—速度関係から見た肘の屈筋と伸筋の特性比較」からみられる。また、金内洋一、伊藤良作らによる「上肢筋の相対重量と筋線維構成の比較解剖学的研究」では、それぞれを司る神経群の具体的な数や太さの違いより、比較解剖学的に相違があることが明らかになった。本論文では、それらを踏まえた上で、楽器を演奏する際の姿勢や身体の運動方向選択により発現するリズムの特徴を考察し、楽曲解析から得られた情報を的確に表現するための奏法選択を行う要素と具体的な選択による差異を模索するものである。

## 1. 屈筋と伸筋の筋肉構造、神経構造による相違の検証<sup>(1)</sup>

### 1-1 伸筋と屈筋について

人体が動作を行うと、関節とそれに関係する筋肉が働く。各関節にはそれぞれ2つ以上の筋肉がついており、解剖学的な名称ではなく、関節あたりの動作方向による名称の付与である。よって、固有の筋肉名ではなく、拮抗する筋肉の動作の区別として認識する。

関節が最も遠位、つまり180度になる方向に動くときに働く筋肉を伸筋と呼び、狭角方向に曲がるときに働く筋肉を屈筋と呼ぶ。例えば、上腕と前腕の関節において、伸筋は上腕三等筋であり、屈筋は上腕二等筋の各筋肉である。厳密には関節の動きをねじれなく安定した動きとするために人体構造はさらに複雑になっており、上腕三等筋の伸筋として機能する筋肉は長頭、外側頭、内側頭と3群によって構成される。この論文では関節の動きに関して同じ働きをする筋肉群を総称して伸筋と呼ぶ。屈筋も同様に複数の筋肉群により構成されている。

人体を構成する関節には各種あり、その動作方向も球関節のように3軸方向に動くものや、楕円関節、鞍関節のように2軸方向に動くものなど多種多様であるが、いずれも動きに対し必ず拮抗した方向に筋肉群がある構造になってい

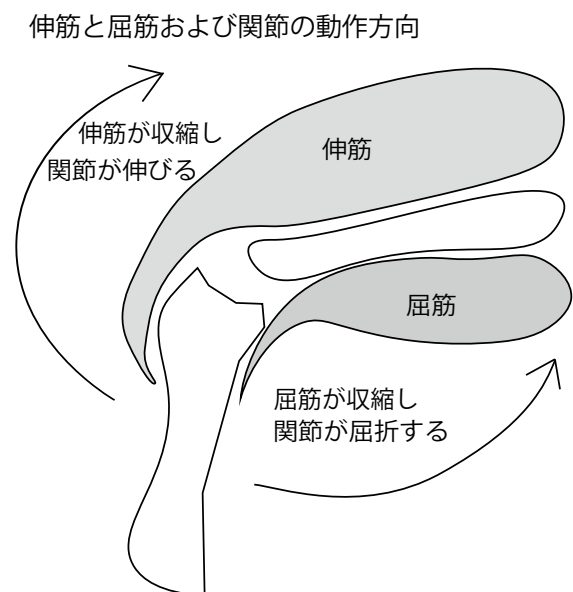


図1 伸筋と屈筋および関節の動作方向

(1) 第1章における各数値は「人体の正常構造と機能」[坂井建雄・河原克雅・他, 2011年]による

ることに注目する。

## 1-2 関節運動の種類

関節運動については前述した上腕および前腕にみられる屈曲・進展を含め以下の動きが挙げられる。

- ① 屈曲・進展 肘、手首、膝、足首、首の前後運動など
- ② 外転・内転 前腕の回転、肩における腕の開き閉じ、足の付け根からの動きなど
- ③ 外旋・内旋 上腕の回転運動により肘を中心として前腕を開いたり閉じたりする運動など
- ④ 回外・回内 肘を固定して前腕を回転する運動など
- ⑤ 外反・内反 足首の回転により小指側と親指側の高さの変化を起こす運動など

実際にはこれらの動きが組み合わさり、複雑な動きをすることができる。また人体の動きは単一の関節で構成されるのではなく、人体中心から手や脚の先に至る数か所の関節を経ることにより複雑で高度な動きをすることができる構造となっている。

## 1-3 筋肉の種類と特性

人体の筋肉には発生学的に次の3つがある。

- ① 骨格筋 人体が運動したり、姿勢を保つために骨と骨を結びつける。
- ② 心筋 心臓壁を構成する。
- ③ 平滑筋 血管や中空臓器の壁を構成する。

それぞれ発生学的に全く違う性格を持っているが、ここでは個々の詳細は述べない。本論文において筋肉として扱うものは①骨格筋を指すこととする。骨格筋の主な特徴は、横紋があり、多核構造となっている。これは筋肉が敏速に、また力強く動くために、個々の細胞が融合し細胞質が混合されていることによるものである。筋肉が収縮し力が出るのは、アクチンとミオシンという2種類のたんぱく質が規則的に配列しており、太いフィラメントを持つミオシン頭部が、細いフィラメントのアクチンとATP（アデノシン三リン酸）の結合と加水分解を繰り返し、滑るような動作が起こる「滑り説」により説明される。また両フィラメントの重なり部分の透過性により暗帯、明帯ができて横紋として見えるが、明帯から明帯までが筋肉の収縮構造の基本となり、筋節となる。筋節の長さは約2.5 mmで基本構造2セットとなるため、一つの動作単位ではその半分の長さとなる。

ミオシン頭部は1本のフィラメントに約300個あり、ATPの反応は1秒間に5回反応できる。1回のATPの反応でフィラメント集合1か所に10~20 nmの運動がおこることがわかっている。なおその構造から筋肉の収縮により約半分の長さまで収縮できる。筋繊維自体は、身体を中心に近く動きの少ない骨に接続する起始腱に続く筋頭から、動きの大きい骨に接続する停止腱に続く筋尾に接続する。しばしばその複合した骨格筋細胞の長さは、筋の全長にわたり数十センチにまで及ぶ。

筋肉はその構造上、収縮方向にしか反応が起こらない。そのため活発な運動を行うために骨格

筋は拮抗する方向にも必要となる。動作方向の違う筋肉が交互に収縮することにより、関節が伸びたり曲げたり高速な動作を可能としている。

上記3種の筋肉は筋肉の反応において明確な差異がみられる。骨格筋は活動電位受電後約20 msec. で最大張力を得るのに対し、心筋は約350 msec. で発生張力が最大となり、平滑筋では20 sec. と反応は桁が違うほど異なる。また発生張力の弛緩の様子も異なり、骨格筋では60 msec. で収縮が解けるが、平滑筋では最大張力発生後、1分経っても完全な弛緩に至らない。このように筋肉細胞の中でも運動に適した発達を遂げた骨格筋の特徴があげられる。

#### 1-4 等尺性収縮と等張性収縮

筋の構造による力の発現には特徴がある。この特徴は等尺性収縮と等張性収縮としてみられ、筋の収縮速度の特性や張力の変化を認識するのにとても役立つ。これら二つの性質は指や腕の具体的な運動を考えると、その移動速度や力強さとして発現されるものである。

等尺性収縮は、筋の両端の長さを変化させずに筋を刺激して収縮させて張力を出すものである(図2 等尺性収縮の概念図参照)。筋は筋繊維の滑り構造で張力を発生させるもの(図4 筋肉の滑り構造と2種のフィラメントの状態参照)なので、細いフィラメントと太いフィラメントが十分に重なり合い、しかもフィラメントが滑る距離を十分に得られる緊張していない筋の長さである静止長時に最も強い発生張力を得る(図5 等尺性緊張における各張力の発生参照)。それに加え、筋が伸ばされることに対し弾性により元の長さに戻ろうとする静止張力の合計が筋の全張力となる。

等張性収縮は、おもり等の変化しない重力負荷を筋にかけ、それを筋が引き上げたときの動力特性を表している(図3 等張性収縮の概念図参照)。負荷が無かった時は最も俊敏に動き、その短縮速度は最大となる。負荷が大きくなるにつれ筋の収縮速度は遅くなり、ついには持ち上がらなくなる。この時、等張性収縮は等尺性収縮として収縮を続ける。

このように、張力の発生はその運動や開始時の状態により、素早い動きが得られたり、大きな力を得られたりする。また逆に素早い反応がしにくかったり、急激に大きな力を発揮できなかったりすることも起こり得る。具体的な現象の予測は、筋繊維単位の特性から行うことを必要とする。

等尺性収縮

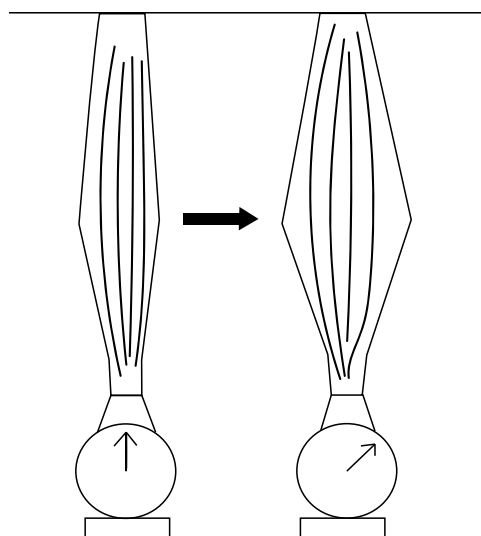


図2 等尺性収縮の概念図

等張性収縮

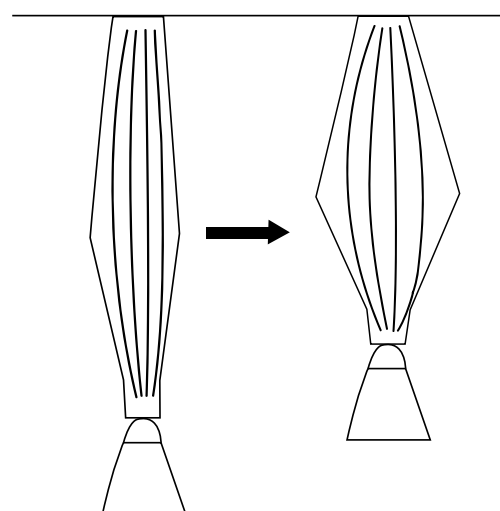


図3 等張性収縮の概念図

# 筋節における細いフィラメントと太いフィラメント

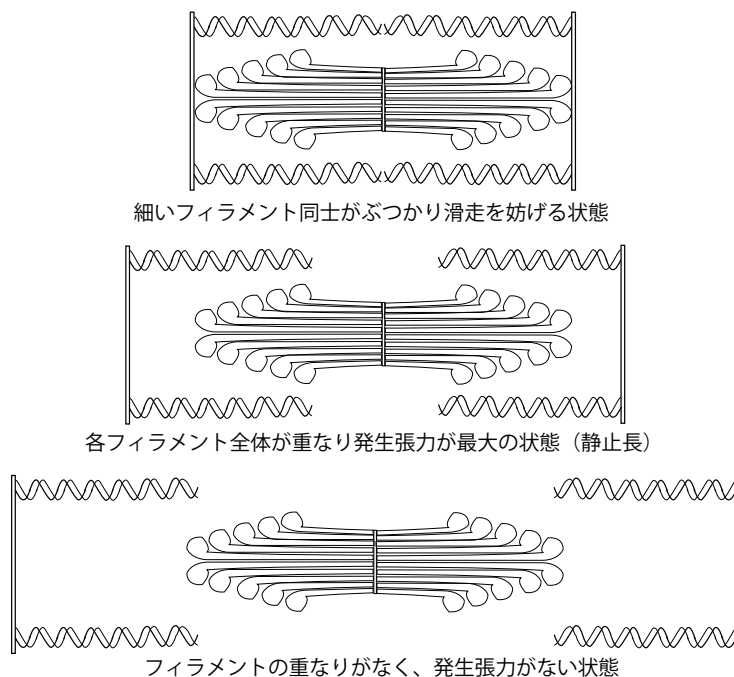


図4 筋肉の滑り構造と2種のフィラメント

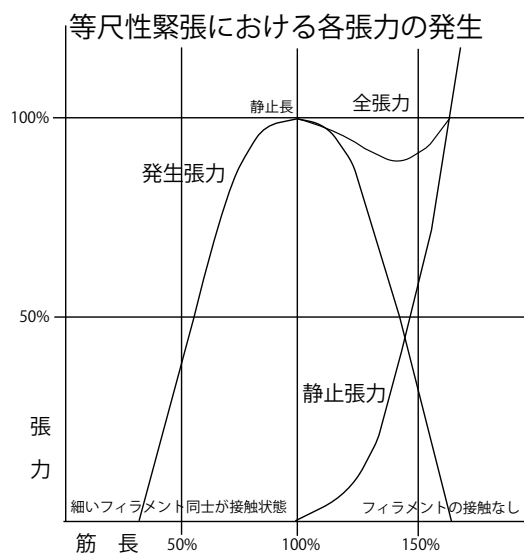


図5 等尺性緊張における各張力の発生

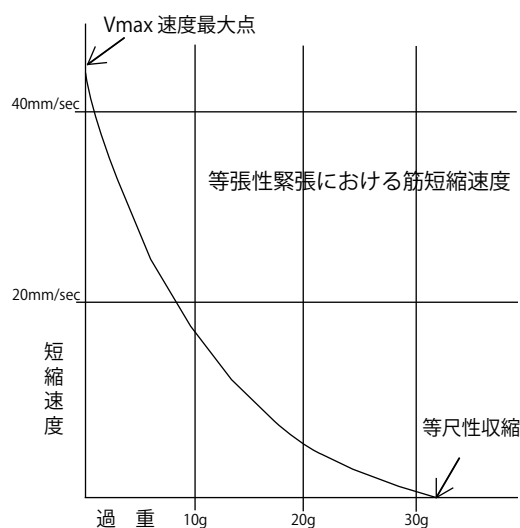


図6 等張性緊張における筋短縮速度

## 1-5 骨格筋の疲労と反応速度について

骨格筋は更に色々な角度から細分化される。その一つとして骨格筋繊維の色合いにより赤筋と白筋と呼ばれるものに分類する。これは主に細胞内のミオグロビンの含有率の差異によるものである。ミオグロビンは筋肉中にあり、酸素分子を代謝に必要な時まで貯蔵する色素タンパク質であるため、この含有率でそれぞれ筋肉の代謝性質が異なってくる。

組織学的には3つに分類され、最も赤い赤筋はI型と呼ばれ好氣的にエネルギーを得ており収

縮速度は遅いが疲労しにくい筋肉となっている。逆に白筋として IIB 型として嫌氣的にエネルギーを得て速く収縮できるが疲労しやすいものとなっている。最後の一つは中間型として IIA 型がある。実際には各型の繊維が単種で構成されているのではなく、それぞれに最適な割合で含まれている。これらは生まれながらにして決まっているのではなく、短距離走のような無酸素運動を続ければ IIB 型が発達し、逆にマラソンのような有酸素運動を続ければ IIA 型が発達するというように割合は後天的にも変化する。

### 1-6 筋繊維の収縮および弛緩

運動特性を考えたとき、筋肉の性質だけでなく、神経と筋肉の関係も大きな要素となる。筋細胞の細胞膜に活動電位が生じて筋の収縮が起こる過程を興奮収縮通関という。骨格筋細胞では、活動電位を受電してから収縮までの時間が数 msec. と極めて俊敏に反応することと、長い細胞内の筋節が一斉に短縮することが特徴となっている。筋繊維の収縮と弛緩の過程は以下の通りである。

- ① 細胞膜を経て活動電位を受ける（脱分極）。
- ② 脱分極を受け、筋原線維の筋節と筋節の間、つまり細いフィラメントと太いフィラメントの重なる境界部分を環状に取り巻く T 細管の電位依存性  $\text{Ca}^{2+}$  チャンネルであるジヒドロピリジン受容体（DHP 受容体）が開口する。
- ③ DHP 受容体の開口を受け T 細管に接する筋原線維を網目状に取り巻く筋小胞体の終末槽の  $\text{Ca}^{2+}$  放出チャンネルであるリアノジン受容体が機械的に開口し、筋小胞体の  $\text{Ca}^{2+}$  が細胞質に放出される。
- ④ 細胞質に放出された  $\text{Ca}^{2+}$  が筋繊維フィラメントに作用を起こし、筋繊維の収縮が起こる。
- ⑤ 筋小胞体の膜には  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプが豊富にあり、再分極により終末槽からの  $\text{Ca}^{2+}$  放出が止むと  $\text{Ca}^{2+}$  は  $\text{Ca}^{2+}$  ポンプにより再び筋小胞体内に取り込まれ、細胞質の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が下がり、フィラメントのアクチンとミオシンの分子間相互作用が解除されて、筋繊維が弛緩する。

このように、T 細管と筋小胞体の終末槽の組み合わせ（その形状から三つ組と呼ばれる）の DHP 受容体が T 細管を収縮電位センサーとして働かせ、筋原線維全体に広く同時に作用することができるようになり、素早く筋原線維全体として大きな動きを実現している。

### 1-7 神経と筋繊維群の関係

筋細胞は細胞膜内に複数の筋原線維を持っていて、それらを前述した三つ組みから収縮を行っている。筋細胞は筋内膜に包まれ、それらを幾つか集めて筋繊維束を形成する。筋繊維束は筋周膜によりまとめられ、血管や神経は筋周膜と共に筋の内部に入る構造となっている。筋繊維束は幾つかまとめられて筋上膜により表面を包まれ、部位により上腕二頭筋長頭などの名称を得る単位となる。

このような骨格筋の一つの運動ニューロンとそれが支配する筋繊維群を運動単位と呼ばれる。一つの運動単位には複数の筋繊維集合体が作用する。これは細かい制御を要する小さな筋では数本であるが、下肢の大きな筋では数百から千本に達する。この多くの筋繊維の集合体は、前述し

たようにミオグロビンの含有率による筋繊維の種類による差異のある筋繊維が一緒になっているだけでなく、脊髄における運動神経からの伝達の調整により力の出具合の調整も行われている。

ひとつの運動を行うとき、脊髄前角の一定のニューロン群（運動ニューロンプール）が興奮するが、この時にすべてのニューロンが興奮するのではなく、小さな刺激では小型のニューロンだけ興奮し、大きな刺激では全部のニューロンが興奮するように興奮の調整が脊髄で起こる。これは多繊維加重によるサイズの原理と呼ばれ、収縮が弱い時には小さな運動単位で弱く繊細に動かし、収縮が強い時は大きな運動単位により力を粗く増減させる。この脊髄の働きによりスムーズな筋繊維群のコントロールを通して筋全体の動きが制御される。

### 1-8 脊髄で行われる反射と筋紡錘

脊髄では更に、本論文で重要な演奏運動に関わる運動単位の異なる筋肉の相互作用も行われている。これは単に筋肉を収縮させる神経の興奮だけでなく、筋肉内部にある深部感覚の受容体からの興奮による作用も脊髄により別の運動ニューロンを興奮させることによるものである。

筋肉には筋繊維の間に埋もれる形で筋紡錘がある。この筋紡錘内に数群の感覚繊維があり、これは筋肉の状態を検出する受容器で、筋の長さや伸張速度を検出する。特に腱が急速に伸びたときに興奮するものもあり、腱と筋との移行部に存在してその張力を検知するゴルジ腱器官と共に運動および筋肉の保護のために重要なものである。

脊髄では、筋紡錘の感覚繊維からの信号を受け、興奮性介在ニューロンによる興奮をそのまま伝える作用と、抑制性介在ニューロンによる筋肉の興奮を抑制する作用を行っている。またそれらの興奮や抑制は信号を送ってきた筋紡錘を持つ筋自体を興奮または抑制する自原性興奮、自原性抑制や、拮抗する筋に作用する相反性抑制や拮抗筋収縮、また左右の四肢にまで及ぶ交叉性伸展反射などを起こす。

このように、筋肉は脳からの意識による動作だけでなく、解剖学的な見地からも複雑に関係していることがわかる。

### 1-9 運動器としての筋肉の作用

筋繊維群のスムーズな出力調整だけでなく、筋肉はそれぞれの形状により動きも多様になる。筋の収縮距離が大きく単純な一方向の収縮力が望める紡錘状筋から、幅広い起始部と停止部を持つ平板筋、幅広い起始部と筋束が停止部で収束する収束筋、そして羽根のように筋の中央を縦走する腱の両側に筋束が並ぶ羽状筋、更に筋束が同心円状に配列し、開口部を閉じる働きをする輪状筋がある。

また関節の動きを安定させるために骨の両側に分かれた複数部分に筋頭部を持つ二頭筋や、一つの動作筋肉に直列して筋肉と筋肉の間に腱が認められる二腹筋や多腹筋など形状による分類もあり、更に三角筋、菱形筋、方形筋、円筋、広筋などの形状による分類がみられる。また骨格との走行方向による分類で直筋、斜筋、横筋と分類もされる。

いずれにせよ、各筋肉は関節を持つ骨と骨を結び、または腱膜などに結び付き運動をもたらしている。形状はその筋肉の運動特性を決める。長ければ収縮距離も長くなり、筋収縮速度が上がる。また短く広範囲な起始部を持ったり、筋頭が複数に分かれる場合には等尺性収縮の張力を大きく発生することが可能となる。

## 1-10 筋の相互作用

1-8において検討した脊椎反射レベルの相互作用に加え、動物として姿勢を維持し、生命維持活動の基本動作のために、筋肉それぞれが相互作用を起こし、結果的に一つの意味のある動作ができる。動作を主に起こす主動筋、その運動を補助し、動作開始時の弾みを付けたり、関節の不要な動きの抑制を行って助ける協力筋、更に運動筋に対し反対の動作を行い、収縮しかできない筋肉の反復した動作が行えるようにし、適度な緊張により主動筋の運動速度や強度を調整して動作が滑らかに行えるように働く拮抗筋の相互作用があげられる。

これら筋肉の分類は、主な動作を行う主動筋を中心とした働きの区別であるが、逆に一つの筋肉だけで動作を行うことは少ないと考えることもできる。例えば、「鍵盤を押す」という単純な動作にも、上腕、前腕の各筋に始まり、そして各指の筋肉が総合的に動作することがあげられる。この場合は各屈筋が主動筋になり、各伸筋が拮抗筋として作用し、強い打鍵や素早い位置調整に回内筋が働く状態である。

## 1-11 筋肉の基礎的な働きのまとめ

筋肉の基本構造を検証した結果、以下のように考えられる。

- ① 筋繊維の構造は、屈筋と伸筋では生理学上の差異はない。
- ② 筋の等尺性収縮と等縮性収縮により、張力の発現や収縮速度は一定の特性を有する。
- ③ 筋の繊維自体が白筋および赤筋で構成され、運動経験による発達で割合が変化し、その動作特徴も変化する。
- ④ 神経の刺激による反応は筋繊維全体で起こり、その速度は 20 msec. で最大張力に達し、弛緩は 60 msec. で完了する。
- ⑤ 筋は多重繊維加重のサイズの理論により、スムーズな出力を得られる。
- ⑥ 筋に接続された神経は、脳からの信号だけではなく、脊椎内での反射にも関係している。
- ⑦ 多くの筋肉が協同動作をすることにより、複雑で繊細かつ大胆な動作を行うことができる。

以上の7点が考察される。

## 2. 既存研究にみられる動作状況による筋肉の性格付け

### 2-1 《力－速度関係からみた肘の屈筋と伸筋の特性比較》[田路秀樹・金子公宥, 2007] について

「Lieber (1992) の筋繊維の長い筋は力－速度関係が速度のほうに、筋繊維長が同じで筋断面積が大きい筋は力のほうにシフトする。」という理論に基づき、「肘関節の屈筋と伸筋の筋形状が、上腕二頭筋は紡錘筋であるのに対し、上腕三頭筋は羽状筋であり、生理学的断面積 (PCSA) は上腕三頭筋の方が上腕二頭筋より大きい筋繊維長は上腕三頭筋の方が短いことから、肘関節の屈筋と伸筋の力－速度関係もまた筋形状の影響を受けるものと考えられる」とし、結論として「本研究で得られた結果からは、屈筋と伸筋における筋繊維組成の特性を決定づけるまでには至らず、より筋形状の影響が反映されるけっかとなった。」としている。

研究のまとめでは、肘関節における最大筋力と最大速度はいずれも明らかな「屈筋>伸筋」であり、最大筋力では43.4%、最大速度で5.4%大きかった、と報告している。これは人間の動作上、屈筋が良く使われるために発達している、ということと推測される。結論では続けてその他には有意な差が認められないとし、筋繊維組成の特性を反映するには至らない、としている。

## 2-2 《筋力とEMG解析から見た屈筋と伸筋の特性の比較》[岡田修一、生田香明、黒田英三、他、1986]について

この研究では、筋力と神経電気信号の観察から、肘と膝における屈筋、伸筋の筋肉特性を導こうというものである。これによると以下の3点が挙げられた。

- ① 正規化された筋力と単位時間当たりで積分された筋電値（IEMG）関係では、屈筋のIEMG値が伸筋より大きかった。
- ② 屈筋の筋力発揮持続時間は伸筋のそれよりも長かった。
- ③ 伸筋のMPF減少率（筋力を維持するために電気信号をより強く出さなければならなくなるため、その電気信号値を筋力で除したものの変化率）が屈筋に比べ有意に大きかった。

これにより推測されるのは、次の2点である。①から屈筋がより強い神経刺激により動いている、②および③から屈筋が伸筋より赤筋（遅筋）の割合が多く、伸筋がより俊敏に動くが持続性のない白筋（速筋）が多い、ということである。しかし論文を詳細に検討すると、いずれも1%水準、5%水準で有意な差としている。また被験者は一般成人男子6名であった。

## 2-3 既存研究にみられる屈筋と伸筋の差異

先行研究を検討すると、有意差を5%水準とされているものであったり、電位信号を測ることにより筋繊維成分の組成を推測するものであったり、各論文や実験も当該研究の先行研究を覆すだけの結論を得ていないものが多かった。多くの先行研究を検討すればするほど、屈筋と伸筋の有意差は認められないと推測される。

しかし、人間の動作感覚からすると、屈することと伸ばすことでは明らかに感覚が違う。また既に毎日の生活動作による筋肉の使い方に習慣性のものがある場合には、屈筋と伸筋の性格を分けていくものがあるのではないかと考えるに至った。これは音楽演奏分野や舞踏における筋肉の使い方やその特性を知り、より効率的な創作活動を行うために有意だと感じるに至った。

## 3. 演奏分野における関節と筋肉の構造による伸筋と屈筋の動作特性の再考

### 3-1 音楽演奏分野における運動の再考

動作の基本となる筋肉の動作を考えたとき、精緻な動作精度や、筋力の発揮までの動作の特徴を調べるためにはどうしても基礎的な研究が避けられない。先行研究を検討していると、筋力の大きさと筋力の持続および瞬発性について研究しているものがほとんどで、動作の特徴についての研究が見受けられない状況であった。先行研究は筋肉の生理学上の基礎研究か、スポーツ機能向上のためのエビデンスの蓄積であるように見受けられた。

そこで、音楽演奏分野においての身体構造を見直し、新しい身体の使い方として関節構造とり



リズムの関係を探るに至った。音楽演奏分野においてのリズムの再現性は msec. に至る精度が必要であり、更に作曲者によるイメージ通りの再現芸術に欠かせない技術となると確信している。これは地域性や時代考証に基づく要素を採り入れる表現では、更に精度を必要とすることは想像に難くない。また音楽演奏分野だけではなく、リズムに関しては舞踏などの身体表現とも関連性があり、それらを統合する要素として有意であると思われる。

### 3-2 日常生活での屈筋と伸筋

この論文では、構造を単純化してわかりやすくするために、先行研究にもみられたような単一動作をする肘や膝の関節における屈筋、伸筋を例にあげて研究を進めたい。

屈筋とは関節を隔てたそれぞれの骨を結んだ筋肉のうち、収縮すると関節が曲がる筋肉とし、伸筋はその拮抗筋とする。通常、上肢において有意義な動作を意識して行う場合は屈筋が動作することが多い。物をつかむ、物を引き寄せる、等を例にあげると、握るために指の屈筋が収縮し、寄せるために肘の上腕二頭筋が収縮する。つまり意識して力が入った時は屈筋が作動することが多いことになる。

一方、上肢における伸筋は力強く有意義な動作に使われることは日常生活では少なく、そっと腕を伸ばしたりそっと握った手を開いたりと表現される消極的動作が多いことに気づく。上肢において強い伸筋の日常動作は、払いのけることくらいである。この習慣的な日常生活がゆえ、伸筋や屈筋の赤筋や白筋の比率が変わることが、先行研究の結果に影響があることは想像に難くない。あらゆる可能性を試みる音楽演奏分野や舞踏では、さらに有効に身体動作を行えるようその特性を検証する必要がある。

### 3-3 動作開始ポイントと終了ポイント

筋肉の特性を測定していた従来の方法に対し、動きを詳細に観察するために動作状況を細かく観察していく。関節を曲げ伸ばしする行為を、伸筋、屈筋共に細分化した時間軸で観察すると、以下ようになる。

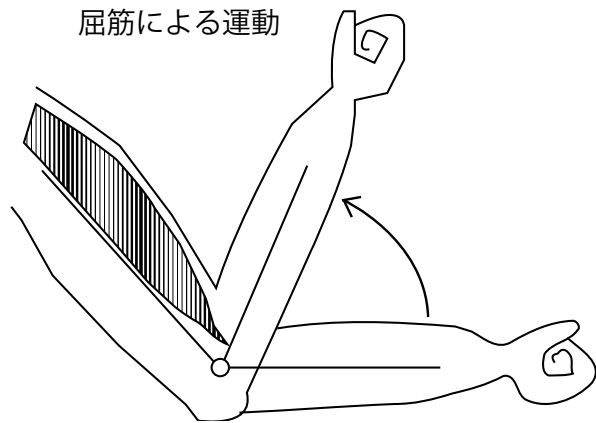


図7 肘関節における屈筋の作用

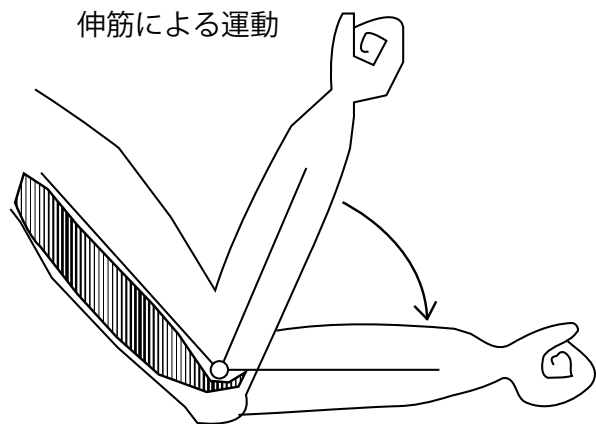


図8 肘関節における伸筋の作用

肘を曲げる場合：

屈筋の様子は、

- ① 動作開始ポイント：弛緩状態で関節が開いた状態
- ② 動作開始：筋肉が収縮を始め、関節が曲がり始める。  
：筋肉の収縮速度は任意。
- ③ 動作終了ポイント：収縮による角度変化を止めた時点。  
：関節が曲がる角度の限界が決まっていないため一定しない。  
：拮抗筋が働く収縮力と均衡する収縮力により動作終了角度を維持し関節を固定する。  
：2つの筋肉による固定の為、終了位置や関節角度は一定ではない。  
：拮抗筋の筋紡錘やゴルジ腱器官による筋伸張による刺激による停止もある（過作動防止）。

伸筋の様子は、

- ① 動作開始ポイント：弛緩状態で関節が開いた状態
- ② 動作開始：屈筋の収縮が始まった時点で、屈筋の速度や動作角度を筋紡錘やゴルジ腱器官により監視する。
- ③ 動作終了ポイント：屈筋の作動を減じるための制動力として拮抗力を発揮し動作を停止。  
：姿勢を維持するために屈筋と均衡する収縮力を発揮し関節を固定する。  
：2つの筋肉による固定の為、終了位置や関節角度は一定ではない。

肘を伸ばす場合：

屈筋の様子は、

- ① 動作開始ポイント：屈曲状態なので屈筋が緊張状態。
- ② 動作開始：筋肉が緊張を解き、関節が伸び始める。  
：緊張前の弛緩状態までに最大筋力反応時間の2倍（40 msec.）かかるため、急速伸張は難しい。
- ③ 動作終了ポイント：関節が最も伸張し180度になった時点で動作終了するため、関節により物理的に固有な位置がある。  
：反る状態は伸筋が逆正規方向動作で屈筋として動作と考える。  
：動作は関節が伸張した時点で終了するので、伸筋および屈筋にて固定するための持続緊張の必要がない。  
：拮抗筋の筋紡錘やゴルジ腱器官による筋伸張による刺激による停止が不要。  
：伸張限界があるため、筋損傷が起こりにくい。

伸筋の様子は、

- ① 動作開始ポイント：屈筋弛緩完了時なら、弛緩状態から急速な張力上昇ができる。
- ② 動作開始：伸筋の収縮により、速度変化および圧力変化が自由。
- ③ 動作終了ポイント：関節の伸長が180度になった時点でそれ以上伸びないため、屈筋による制動動作が不要。

- ：姿勢を維持するための制動力が不要の為、伸筋および拮抗筋の弛緩で動作を終了できる。
- ：終了ポイントを伸筋、屈筋の両方が緊張することに因る動作停止も可能。この場合は停止した動作が持続すると考えることもできる。
- ：関節の最大伸長により筋肉緊張持続が不要となるため次の動作をすぐ再開できる。

### 3-4 演奏動作にとって大切な動作特徴

演奏に要求される動作の要素は、次の3つに分けて考えた。それぞれが、音楽演奏の要素である音程とリズム、音量、音質に次のように関わると仮説をたて、それぞれに屈筋と伸筋がどのように関連しているか検討する。

- ① 音量 → 筋力および筋肉の収縮速度
- ② 音質 → 筋肉動作速度の操作性と筋肉間連携動作
- ③ 音程とリズム → 筋肉動作位置の操作性と初動反応時間

### 3-5 音量の変化に関する筋肉の働き

音量に関しては、他の運動における評価同様、筋力と筋肉の収縮速度に帰結する。電子楽器を利用するのと異なり、所謂アコースティック楽器は、物理的振動体が直接振動することにより、音を発生する構造をとることが多い。簡単な一例としてピアノの演奏では、力強く演奏するとその分振動体が大きな振幅で動き、結果的に大きな音となる。大きな力、つまり筋力は音量に比例すると考えられる。しかし、それだけではなく筋肉の収縮速度も大きな要素の一つとなると考えられる。

ピアノのフェルトハンマーのように発音体自体が質量を持ち、かつダブルアクションによるエネルギーが継続されて供給されても、発音体には一定時間しかエネルギーが伝達されない構造を持つ。このような機構では、速度の速い打鍵により、限られた作用時間でも大きなエネルギーを伝達し、強い音を発音することができる。更にエネルギーの総量を考えたとき、エネルギー量は速度の2乗に比例するため、強い音を出すときに打鍵速度を上げること、すなわち筋肉の瞬発力がエネルギー量そのものとなり音量の変化に重要な要素になる。

また前述の現象とは逆に、1回の打鍵に圧力をあげてゆっくり力を込めて打鍵した場合は、打弦構造のフェルトハンマーをトルクフルに動かすことはあっても、もともと装着されていたハンマーの作動速度が遅くなるだけで、結果的に発音に対して十分なエネルギーの伝達を行うことができず、必ずしも強い音が発音されない。ゆえにピアノにおいては、音量は筋力にも左右されるが、同時に筋肉の作動速度にも影響される。

更に他の楽器でも考えてみると、ヴァイオリンにおいては更に厳格な発音操作が必要で、力任せに弦を弓で引掻いても、かえって発音体の運動を阻害してしまい、大きな音が出ないばかりでなく、発音もできなくなってしまう。ある程度の筋力は大切であるが、それと同時にやはり筋肉の作動速度も音量に関して影響している。打楽器においても、押しつける動作はあまり発音に関係なく、かえって手や脚の作動速度による音量の変化がみられる。

更に力の入れ方、つまり筋肉の使い方についても音量を出す工夫が必要である。特に作用する筋肉の動きを制動して全体の動きを調整する拮抗筋の働きや緊張をなるべく無いようにすることも重要である。これは動作の速度を上げることに繋がり、結果として音量を増すことができる。

筋肉の拮抗する筋肉だけでなく、更に身体を中心に位置する筋肉や、末端に位置する筋肉との連携動作も重要な要素である。

このように演奏動作においては必ずしも要因を単純に決めることができる訳ではない。

### 3-6 音質に関して

音質は音量変化や、音程変化や和音などの奏法に対する動きの組み合わせによっても影響を受ける要素であるが、特に筋肉動作速度の操作性と筋肉間連携動作が重要である。ピアノでも、弦楽器でも、管楽器や打楽器でも、筋肉の動作速度が速くなればすべての発音構造で高次倍音が発生しやすくなる。ゆえに音色スペクトラムは変化し、音色が変わるのである。

音色を科学的に比較する方法はスペクトログラムによるものが一般的である。スペクトログラムは科学捜査で声紋を調査する時に使用することが一般に知られているが、それぞれの周波数に含まれる成分が色と光の帯で図形として表現される方法である。この方法では音の周波数成分と強度がわかることにより、音固有のフォルマントが検出され、発音体の基本周波数に対して倍音や共鳴の具合が図形として読み取れる方法である。

各楽器の専門家にとって、良い音色というのは永遠のテーマであるが、音色の記録、比較はできても、良い音色の具体的な基準指標は無く、周波数帯域による良し悪しや倍音構成による決め手はいまだに解明されていない。しかし、良い音にするために様々な演奏方法を試し、弾き手は常に試行錯誤している。その行為にそぐう筋肉動作速度の操作性と筋肉間連携動作が得られれば、音色の変化の幅を広げることができる。

### 3-7 音程とリズム

ここで取り上げる音程はマイクロチューニングではなく、ドレミのように音階に分割された音の周波数を行き来することである。音楽に造詣がある方だと音程とリズムは関係のないことのように思われるが、演奏動作を主軸に論じると、手のひらの左右水平方向の動きが音程変化をつかさどる動きであり、上下方向の動きが音を発音したり、制音したりする音のリズム変化をつかさどる動きとなり、動作の方向が違うだけである。音程とリズムは同じように筋肉の働きや特徴にしたがって生み出される。

具体的には手のひらを基準として指がそれぞれ三つずつの関節を持ち、筋肉もその関節ごとに屈筋、伸筋を持ち、それらが音程を選択し、発音タイミングを表現している。更に、手のひらから身体を中心に向かっては、肘、肩、首、背中の骨および骨に接続された筋肉の動きが、手のひらから指までと同様に統合され、それらすべてから無駄のない精度の高い打鍵が繰り返される。

このように統合動作を考えたとき、左右方向の動きは音程で表現されるため、違う位置に手のひらが移動するなどの不完全動作は、明らかに発音される音の違いとして判別される。しかし上下方向の動作については音程ほどはっきりした違いとして判別されないため認知度は低い、音程と同様に重要な要素である。このように動作を検討していくと、発音の時系列配置、音楽用語では発音リズムの精度と筋肉との関係が、正しい音程を打鍵することと同様に大切であることがわかる。

### 3-8 筋肉の操作性について

演奏動作にとって重要な要素である音程とリズムの正確な表現には、筋力の正確な制御とタイ

ミングが必要なことがわかった。そこで筋肉の操作性がより明確になるように筋力の発現パターンと関節位置および屈筋と伸筋の状態を観察し、より意図した制御ができるよう検討する。

① 屈筋を中心に動作を起こし、基準のタイミングに打つ動作を行う場合

1. 初期関節角度は自由。
2. 予備動作は不要。
3. 終止点を目指し、筋力を制限しながら動作を開始。
4. 打点で筋力最大。
5. 打点で速度 0。
6. 打点までの距離の可変可能。
7. 打点での接触時間が長く、弛緩まで続く。
8. 打点後の運動ベクトルの方向が反転。
9. 動作後の関節が狭角に近くなる。
10. 次の動作に移るために屈筋の弛緩と、伸筋の緊張が必要。

② 伸筋を中心に動作を起こし、基準のタイミングに打つ動作を行う場合

1. 初期関節角度は必ず関節が曲がっている状態から開始。
2. 予備動作があれば、より正確に打点タイミングを得られる。
3. 予備動作により初速が上がっているため、筋力の調整がしやすい。
4. 打点で筋力が 0。
5. 打点で速度が最大。
6. 打点が基本的に関節の最大伸長に想定される。
7. 打点での接触時間は一瞬。打点までに弛緩が開始する場合もある。
8. 打点後の運動ベクトルの方向は鈍角で変更、または円運動。
9. 動作後の関節は基本的に自由。筋肉の弛緩により一定しない。
10. 打点後弛緩しているので、すぐに次の動作の開始が可能。

## 4. 演奏動作の各特徴と音楽演奏動作

この章では前章にて検討された筋肉動作の特徴が、音楽演奏動作にどのように関係するのか詳細に検討する。

### 4-1 初期関節角度について

初期関節角度は、一つの動作を行う上で予備動作が必要か否かということに関係する。演奏動作は単一の動作ではなく、長時間にわたる連続する動作が続き、更に右手、左手を超えて、左右の手に分割された一連の動作を行う動作が同時に行われることまで含めると、非常に複雑な作業を行わなければならない。そのため、一つの動作のために予備動作を行うかどうかは演奏動作全体の動作数を大きく変えることになり、演奏動作そのものの難度も変化させてしまう。つまり、屈筋では単純にその動作のみを行えばよいところを、屈筋を中心に動作すると 2 倍の手順がかかる。これは特定の動作を素早く行わねばならない場合、更に初心者では屈筋を中心に動作することから始めざるを得ない状況となる。

通常、一度得られた運動習慣はとても長いスパンで継続されるため、積極的な演奏動作の研究がない限り、手順の少ないこともあり、この習慣が続く場合が多くみられる。

ここで注意したいのは、この筋肉の動作が良い、悪いではなく、幾つの特徴を探ることが重要であり、その特徴を踏まえた上で適切な動作をする筋肉を選択することが必要であると提案するものである。

#### 4-2 予備動作と打点時間

屈筋、伸筋のどちらの筋肉を使ったとしても、各動作の作用、つまり打つことにより発音される、または擦弦されることによる発音は瞬間的にできない。各動作は必ず発音体の振動が最大振幅を得るまでの時間がどうしてもかかってしまう。その数百 msec. の遅れは特に合奏等のアンサンブルで致命的なものとなるため、現実的には各演者が時間的遅れを補正するべく予測をし、演奏動作を行っている。つまり、思考による事前に運動を開始するか、演奏動作として予備動作をするか、方法の如何を問わず何らかの操作を行って、全員が正確な発音時間を得ている。

この事象の顕著な例が、指揮者による時間の伝達である。具体的には、指揮者の打点ないしは走点の指示から、一定の遅れをもって演奏者が発音する事例となる。オーケストラでは時々刻々と変化する指揮者の指示を受け、演奏者が数 msec. 以内での精度で正確に演奏していくために、演奏者は自分の演奏動作を常に工夫をしている。ちなみに四分音符が 120 beats/min. なら 32 分音符が約 60 msec. となり、それを CD の基準収録時間となっているベートーヴェンの交響曲第 9 番にみられるように 80 分以上続けることになる。このような過酷な状況において、より正確に、より負担のない方法で、最適化された筋肉の演奏動作を選択しないと専門家として毎日活動することは難しくなってしまう。ベテランの指揮者では、予備動作さえも表出することができるため、演奏者の負担が減り、より正確な演奏動作を実現することができる。

屈筋による動作と伸筋による動作では指示から発音まで予備動作分の時間だけ差があるため、この選択は非常に大きなものとなる。

#### 4-3 動作の初速の違い

前項で検討したように、動作の正確な時間を得ることはかなり工夫が必要であることがわかった。屈筋と伸筋では動作速度が変わってしまう。単に早い遅いではなく、その動作特性も異なる。屈筋では静止から動作が起こることが多く、初速がどうしても低くなる。伸筋では予備動作の作用により既に運動が始まっているため、動作に二つの特徴がある。一つは予備運動と同じベクトル方向または阻害しない方向変換ができれば、高速な初速もしくは滑走が得られ、非常に高速な動作が可能となる。もう一つは、打点においてベクトルを逆方向に変換すれば、次項に述べる圧力ないしはエネルギーを与えることができる。どちらにせよ筋肉の収縮力を複合的に利用することにより、単に筋肉の力を利用するのではなく、複合的に他の筋肉の力を利用する。または自分の筋肉の動作を副次的に追加していくことができる。しかし、これを利用するには前述しているように単一動作に対し複数の手順を踏まなければならない。

初速を検討したとき、どの角度からでも起動できる屈筋に対し、より作動角度や作動条件の厳しい伸筋とは様々な面で異なり、それぞれが連携していることがわかった。

#### 4-4 打点における筋力の発現

筋力の発現状態については、筋力の特性として等尺性収縮と等張性収縮について考える必要がある。筋の長さが変わらない状況で筋の収縮が起こると、筋に発生する静止張力が上がる。つまり動作点が動かない場合、動作点に到達しても筋の収縮が続く場合、動作点で圧力がさらに上が

る状況となる。これが等尺性収縮であり、屈筋ではこの状態が動作終了時に続く状態となる。これを解除するには、筋肉の弛緩となる刺激が必要であるが、これは皮膚感覚か視覚以外にはない。筋内にも張力を監視するゴルジ腱や筋紡錘からの刺激があるが、これは動作終了の刺激を発するものではないため、動作終了と筋肉収縮が同時に行われることは難しい。ゆえに初速から徐々に筋肉の動作が加速し、動作終了点で物理的静止が行われ、その後も筋圧力が上がり続け、皮膚の刺激が起こり、または視覚による動作終了を確認してから収縮動作を停止することになる。つまり屈筋における終了時の圧力は常に最大となる。

これに対して、伸筋では等張性収縮が筋特性を表す。等張性収縮は負荷を筋に荷重し、負荷側を自由端にする。その際におこる筋の速度特性を表したものである。筋肉の短縮速度（収縮速度）は初速が最大で、最も縮んだ収縮状態で速度が0になる。速度が0になり筋肉の長さが最小になった後、筋肉は等尺性収縮に移行する。通常伸筋が意識された意味ある動作を行うことは少なく、更に筋肉が等尺性収縮に移行するのは関節を固定したい。等の特別な動作に限られるため、伸筋ではこの等張性収縮の範囲で動作することが多いと考えられる。

この特性を検証する際に大切なのは、筋肉自体の速度特性が筋肉の重量など具体的な負荷がかかった時に起こる慣性を含めた客観的な動きに変換する必要があるということである。つまり筋肉単体の動きで初速が早くても、それらがある程度以上の重量物を動かす場合には、エネルギーの伝達により初速が遅く見える。力が加わり続ければ加速を続けるが、加速力自体が弱くなっても見かけ上の加速は続く。そして筋肉の加速度が無くなった時点で、見かけ上の重量物の移動速度は最大限に達する。具体的に例えれば、腕の上腕三頭筋は、初期動作において急速な筋肉の収縮が起こっても、腕の重みで徐々に動き出し加速していき、最大伸長時の動作終了点まで加速を続ける。筋肉は動作終了点に近づくにつれ加速しなくなるが、速度を得た重量物である腕は減速せずに力が少しでも加わる限り加速し、そのまま伸び続ける。関節の最大伸長を超えると伸筋が伸びを感じ、筋紡錘やゴルジ腱器官が興奮し、筋肉の収縮を停止する。関節の破壊や屈筋の過伸張を避けるための停止であるが、場合によっては屈筋が緊張しブレーキとして作用する場合もある。また、関節の具体的な構造から標準作動角を外れた場合はそれ以上伸筋による作動を起こせず関節が反らない状況になると、屈筋内の筋紡錘やゴルジ腱器官が興奮して伸筋の収縮を止めるに至る。

#### 4-5 打点における速度とリズム

これらを演奏動作として捉えると、筋肉の働きによる圧力と速度は位相のずれた特性を得ている。これはエネルギーの特性に基づくものとも考えられるが、筋肉が力を出すときは速度が出ない。速度が出ているときは力が出ない。屈筋では力を発現するが速度は出にくい。伸筋では速度が速いが力はあまり出ない。

この特性は屈筋が主に意識下にある動作を行うのに対し、伸筋が重力に抗い姿勢を保つために使われている人間の生活によるものと考えられる。動作を行うのには力強さが必要であり、姿勢の安定には瞬発力が必要になる。また屈筋では持ち運び、作業を続ける持続性も必要であり、伸筋では姿勢制御のために常に柔軟で最小限の力の発揮ができるように弛緩している必要がある。どちらも同じ筋肉細胞からできており生理的な性質は同じなのに、構造上の差異による力や速度の発現タイミングとして出ている。

演奏動作では、この速度というのがリズムにとって重要な要素となっている。特に西洋音楽ではその傾向が顕著に表れ、リズムの取り方に大きな差異を生んでいる。例えば、日本文化の特徴

である摺り足や揉み手、四股を踏む動作はまさに屈筋にて圧力を上げる動作とみられる。これらの動作では、演奏動作の際、筋肉の速度はほとんどなく、代わりに圧力が非常に高くなっているほど高い評価を受ける動作となっている。一方、伸筋を使ってみられるリズムは弾む動作にみられ、打点を身体の伸長時に設定する縦ノリという状態である。西洋音楽にておける演奏動作にリズムが良い、と言われるのは素早い打点からの回復で、常に次のビートが出てくる前から動き続ける運動状況となる。

この打点における速度は、大きくリズムの性質を変えてしまう。これもどちらかが良い悪いというのではなく、それぞれの特徴に適切な方法や筋肉が選ばれているかどうかが問題である。わかりやすい例を挙げるために上記のものを取り上げたが、西洋音楽にも日本音楽にも、芸術はタブーや習慣をものとしめない自由さを持つものであり、演奏意図により両方が採り入れられていることは明白である。

#### 4-6 打点までの距離について

打点までの距離は、屈筋と伸筋ではその動作の構造から全く異なる。屈筋の動作の場合は、打点というより作用終了点ないしは作用持続点ともいうべき位置は、屈筋による関節可動域すべてとなる。これは屈筋の主な動作状況が等尺性収縮を用いたものである。それゆえに打点までの距離は可変可能である。

これに対し、伸筋の動作では最大効果を発揮するのは関節が最も開いた時点である。この時点を超えると腱や筋肉が関節を跨ぐことになり収縮しても筋力を効果的に発揮することができない。また収縮途中では関節の構造から圧力を発揮することが難しく、速度も上がっていない状態なので打点としては不完全となる。ゆえに伸筋での打点は関節の最大伸長時となるため、打点までの距離は一定となる。

#### 4-7 打点での接触時間

打点での接触時間は、筋肉の作用においてはあまり意味のないことかもしれないが、演奏動作の観点から見るとリズム、つまり時間的操作に大きな影響を及ぼす。屈筋の動作では、打点において速度が落ち、圧力が上がる。そのために打点での接触時間が長くなり、場合によっては等尺性収縮による圧力が上がった状態で静止する。

伸筋による動作はこれとは全く異なり、最適打点が関節の最大伸長時一瞬である。そのため打点での接触時間も一瞬にして終了するため、非常に短く限られた時間となる。

これら接触時間の特徴はリズムや時間的配置に、遅れや進みとして表現される。接触時間が長ければ次の発音までの時間が長くなり、結果的に遅くなったり、もたれた感触を表現したりすることとなる。これは広大さや荘厳さを表出するために有効である。逆に短くなれば活発さや軽快さ、または切羽詰まった感じを表出することになる。多様な表現をする場合にそれぞれの特徴を活かした選択をする必要がある。

#### 4-8 動作後の運動ベクトルの方向

各動作がほんの数 msec. で表現が変化してしまう状況で、動作後の運動ベクトルの方向も重要な要素となる。動作する運動ベクトルに対し、動作後の運動ベクトルの方向により、次の動作に大きな影響があるからである。もし同一ベクトルであれば動作によるエネルギー損失を除いたエネルギーは次の動作へと受け継ぐことができる。連続動作をする場合に素早い応答と圧力の利用



ができることを意味し、高速かつ強度のある圧力を持った動作が行える。

これに対し、ベクトルの方向が逆になり、相殺する方向に向かっている場合、次の動作が圧力のないものになったり、弱いものになったりする。または次の動作までに想定より時間のかかったものとなる。これらは前述の接触時間と共にリズムおよび時間的特徴を更に拡張するものである。

屈筋による動作では収縮を解除する必要があるために、動作後の運動ベクトルは全く逆にならざるを得ない。これにより動作を繰り返す。しかし、伸筋の動作は関節伸長時に筋肉の収縮は終了し、それ以上は関節の自由度に任せるため、ベクトルの方向が逆にならなくて良いばかりか、場合によってはベクトル自体が消滅しても良い動作となっている。もし伸筋動作後に同じベクトルを逆に戻ることになるとすれば、拮抗筋である屈筋の収縮が必要となる。伸筋の動作の場合は、ベクトルの方向が別の方向に逃げることができたり、屈筋の素早い応答につなげることができることとなる。

この違いがわかりやすいものには、指揮者の腕の動きを挙げられる。拍を表現する方法として、打点ではベクトルが逆方向になり、走点ではベクトルが逆以外の方向に向くこととなる。指揮における打点を続けると、次の打点への動作に力の減衰や弛緩のための時間が必要となり、だんだんと遅くなってくる。走点では運動の速度を失うことがなく、加減速が自由に軽く行える。筋肉の運動ベクトルも、次の動作への筋肉の弛緩や収縮への用意の時間に大きく関わり、リズムや時間的特徴に大きく影響することがわかる。

#### 4-9 動作後の関節の位相

それぞれの筋肉が動作後の関節の位相もやはりリズムや時間的特徴に大きく影響を及ぼす。これは筋肉が力を出すときに必ず収縮する必要があるということに由来する。等尺性収縮においても圧力が上がるまでにどうしても筋の収縮時間が必要となる。このため、単なる反応速度だけでなく、その準備段階の関節の位相がどの位置にあるかが、現実的な連続運動を考えたときに考えるべき一つの要素となる。つまり関節の位相が次の動作の始動に適切な位置にあるかどうか、次の動作の俊敏性に関わることとなる。

屈筋では常に動作終了点で必ず関節が曲がった状態にある。特に力を出すときには構造からも関節が狭角になることが多い。ゆえに動作終了も狭角等の曲がった状態となる。これに対し、伸筋の動作の動作終了はやはり伸び切った状態で行われるが一瞬で緊張は解かれ、その後伸筋および屈筋の関節の両筋肉が弛緩状態になるため、必ず少し曲がった脱力した状態に移行する。これにより、伸筋の再収縮にも、屈筋の収縮にもすぐに対応できる状態になり、結果的に次の動作がすぐ行える状態にて動作終了が行われることになる。これは連続する多数の発音動作を処理する演奏現場では大切な特徴であり、リズムや時間的特徴を表現する場合に留意する必要がある。

#### 4-10 動作の反復性と筋肉の弛緩の必要性

筋肉の構造は同じ組織でできているので屈筋と伸筋とでは発生学上では差異はない。しかし、骨と関節をめぐる構造上の特徴から様々な差異を検討してきた。最後に動作後の状況を観察したい。動作後の状況により、次の動作の特性が変わることは論じてきた。ここでは、打点時筋肉が収縮しているかしていないかにより、次の動作への予測と、それが連続する反復性を考える。なぜなら、筋肉は収縮する動作より、弛緩するほうが時間がかかってしまうからである。また、収縮が連続すると筋肉自体の収縮状況が変化する。それは5Hz程度の刺激感覚なら単縮するが、

約 10Hz で加重が起こり、約 25Hz で不完全強縮、約 50Hz で強縮が起こる。つまり、5Hz を超えた刺激では完全な弛緩ができなくなってくる。これは筋肉自体の限界ともいえるが、逆にうまく動作させればこの速度までは反復動作が可能ともいえる。

筋肉を使用していくうえで大切なのは、この弛緩をいかに得るかということである。特に屈筋の動作の場合は、収縮を持続させることが可能なため、少しでも収縮へのタイミングが遅れると弛緩のチャンスを逃し、強縮の状態が起こりやすいということである。演奏動作の場合、多くの人が一生懸命演奏するがゆえに屈筋に地下が入り過ぎ、手が攣れる状態で強直することを経験している。これが筋肉の働きからすると強縮している状況である。

関節には必ず屈筋と伸筋がある。反復動作を行う場合は、必ず両方を使わなければならない。どちらかだけを意識して発達させても、その拮抗筋も意識下になればその関節のコントロールは理想的にはならない。現実的な動作を考えたとき、この屈筋と伸筋の交代制オルタナティブな運動も筋肉の特性の一つである。

## 5. まとめ

### 5-1 屈筋と伸筋の特性について

このように屈筋と伸筋と比較し、更に関係性を研究すると、以下のような性質がみられた。

- ① 屈筋と伸筋は、発生学上の有意な差は認められない。
- ② 屈筋と伸筋は、演奏動作において全く異なる性質を持っている。
- ③ 屈筋と伸筋は、お互いに補完しあう筋肉であり、その関係は密接である。

### 5-2 音楽演奏と動作筋肉の選択について

本研究では、具体的な音楽に対する必須の動きの関係を提示するには至らなかったが、屈筋と伸筋の動作上の差異を提示することにより、動作に対する適切な筋肉の選択の可能性を示すことができた。筋肉の動きは、屈筋と伸筋の関係だけでなく、それより求心性の筋肉や遠心性の筋肉にも関係し、それを具体的にどのように動作すればよいのかは本研究では至らなかった。いままですら身体表現や使い方はとても抽象的であり、一般的な概念として伝えにくかったが、筋肉の圧力、速度、そして刺激のポイントなどを明確に表現できれば、演奏方法も科学的に伝達する可能性を見出した。様々な奏法研究がある中、科学に基づいた身体表現の理想的な使い方ができればといい、この論文を締める。

※掲載されている図は「人体の正常構造と機能」[坂井建雄・河原克雅・他, 2011 年]を参考に筆者が描き起こした。

## 参考文献

- 岡田修一・生田香明・黒田英三・他. (1986 年 1 月 20 日). 筋力と EMG 解析からみた屈筋と伸筋の特性の比較. 体育学研究, 第 31 巻 (第 3 号), 227-234.
- 坂井建雄・河原克雅・他. (2011 年). 人体の正常構造と機能. 東京都: 日本医事新報社.
- 田路秀樹・金子公宥. (2007 年 5 月). 力—速度関係から見た肘の屈筋と伸筋の特性比較. 日本生理人類学会誌, 43-48.