

ドラフトー転送禁止

DRAFT – PLEASE DO NOT DISTRIBUTE

ドラフトー転送を禁じます

Posture, Movement and the Alexander Technique

姿勢、動きとアレクサンダー・テクニーク

Dr Tim Gacciatore*

ティム・カッチャトーレ博士

*With invaluable critique and input from Dr Patrick Johnson

パトリック・ジョンソン博士の貴重な批評とご意見をいただきました。

© Tim Gacciatore 2019

姿勢とは何でしょうか？

姿勢とは何かという概念は誰もが持っていますが、特にアレクサンダー・テクニーク(AT)との関係においては、多くの論争や混乱があります。実際、教師たちの意見は、ATは主に姿勢についてだと考えている人から、ATは全く姿勢についてではないと考える人まで、さまざまです。ATのコミュニティ以外でも、臨床家や科学者の間でさえも、多くの混乱があります。姿勢という現象は、見た目以上にとらえどころがないのです。

私たちの経験では、姿勢を厳密に理解することは、理論的にも実践的にも、ATを考える上で助けになります。姿勢は、多くのAT教師が認識しているよりもはるかに広い範囲の用語です。この記事の目的は、姿勢とは何か、姿勢は脳によってどのように制御されているのか、そして動きとはどう違うのかを明らかにすることです。そうすることで、姿勢に関する現代科学的な概念が、ATの先生方にとって極めて関連のあるものであることを示したいと考えています。

まず、専門的でない言葉の定義を見てみましょう。オックスフォード大学の辞書によると、姿勢とは「立ったり座ったりするときに身体を保持する位置」、つまり構成するセグメントの相対的な位置と定義されています。また、「姿勢」という言葉は、その身体形状が維持されていることを意味しており、姿勢をとるときに動いている関節をさすわけではありません。口語で誰かの姿勢についてふれるときには、背骨の形を指すことが多く、背筋が伸びている方が良いという考え方が一般的です。つまり、一般的に姿勢とは体の位置と同義であり、ある位置が他の位置より優れているという考え方もあります。

一見したところ、この定義はATには当てはまらないように思えます。私たちは通常、「まっすぐ立つ」とことや「特定の姿勢を保つ」ことを教えることはありません。姿勢の変化は、緊張や注意、意図といったものの変化から間接的に生じるものです。さらに、ATは動きやバランス、呼吸などの運動行動に幅広く影響を及ぼします。このように考えると、位置は些細なことのように思えます。ATは位置だけでなく、もっと幅広い習慣のことなのではないでしょうか？

姿勢という言葉をあきらめる前に、一般的な定義がすべてを物語っているわけではないことを認識する必要があります。より科学的な視点に立つと、姿勢は単に「位置を保持する」だけでなく、もっと深い概念であることが明らかになります。一般的な姿勢の定義では、位置を保持するために生理学的に何が起きているかが無視されているのです。しかし、姿勢を変えるためには、まさにこの「姿勢を保つ」システムと相互作用しなければならないのです。ある先生は、ATを姿勢の動作に関するものと表現していました。動作を強調したのは、特定の位置ではなく、どのように姿勢が保たれるかというのは複雑であり、そのことに意味があることを示すためです。姿勢の動作の科学を理解することで、実は姿勢が私たちの仕事の基本であることがわかるのです。

モデルシステムとしての目^A

生理的にどのように姿勢が保たれているかを知るには、簡単なことから始めるとよいでしょう。信じられないかもしれませんが、目は理想的なモデルシステムです(そう、目には姿勢があるのです)。目を制御する脳回路は、脳の中で最も研究され、最もよく理解されている回路の一つです。研究者は現在、目を制御する脳回路とその働きを理解しているため、目の姿勢動作を正確に記述することができます。

目の動作は、空間内の一点に注視する静止相と、サッケード^Bと呼ばれる間欠的なジャンプの2つのモードに大別されます。静止相、つまり注視を保持する相は、眼球の姿勢、つまり眼窩内の位置を維持します。一方、サッケードでは、眼球は非常に速く回転し、1/5~1/50秒で注視位置間をジャンプしています。意外なことに、サッケードの間は眼球が速く動いているため、像を結ぶことができません。見えるのは注視している間だけで、ここでも眼球の位置がずれると映像がぼやけてしまいます。

ゲーム 1

注視とサッケードを自分で体験することができます。このページにある1つの文字や短い単語を見てください。その単語を注視しているとき、あなたは「注視」していることになります。視線の位置が少しでもずれると、単語のシャープなエッジがぼやけてしまうので、視線は完全に静止した状態を維持する必要があります。次に、ページ上の別の単語に注視を移してみましょう。どうでしたか？視線は他の単語にすばやく「ジャンプ」し、別の定位置にやってきます。これがサッケードです。この動きの間、あなたはそれらの間にある単語については全く認識していないことに注意してください。サッケードの速度が速すぎるのです。また、どんなに頑張ってゆっくりとスムーズにページ全体をスキャンしようとしても、その間にある単語を拾い上げることはできないことに注意してください。

注視することに筋活動は必要ないと思われるかもしれませんが、眼球は眼窩の中にあるただの浮き球ではありません。実は、そうではありません。まっすぐ前を見てから、頭を動かさずに左のものに注視を移します。すると、両目の左側の眼球外筋が短時間に活動し、サッケードが発生します(図1)。しかし、この左方向の運動は、反対側の組織(右眼球外筋と靭帯)を輪ゴムのように引き伸ばすため、眼球を中心方向に引き戻そうとする副次的な作用があります(図2)。したがって、視線を左側に維持するためには、同じ左眼筋を再び活動させることで、この弾力的な右方向への引っ張りを打ち消す必要があります。ただし、その姿勢を維持する限り、はるかに弱い力で持続的に行います。

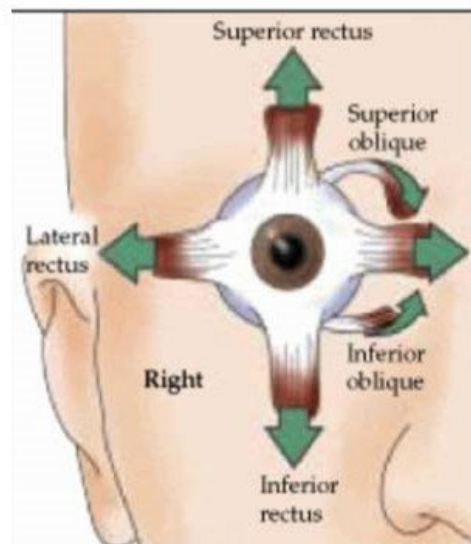


図 1. 眼球を動かさず眼球外筋。ここでは、左右の対極にあるペアに注目する。

A 眼球運動と姿勢が異なる理由についてここで構えた議論は、Shadmehr (2016)1 から引用し、詳細に記述した。
B 前庭眼反射や滑走追従など、サッケードや注視保持以外の眼球制御もありますが、ここでは簡略化のため省略した。

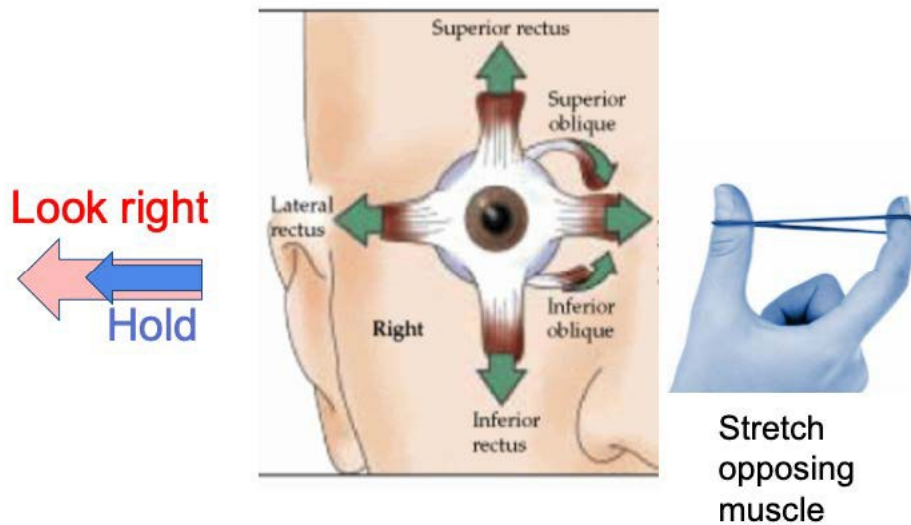


図 2. 直腸外側筋を短時間に大きく活動させると、眼球が移動し、反対側の筋が伸展する。同じ筋を持続的に小さく活動させることで、伸張に対抗し、眼球を所定の位置に保持することができる。

緊張性のモードと位相性のモード

要約すると、目の筋肉には2つの異なる活動様式があります：1) サッケードを発生させる大きな一過性のバーストと、2) 姿勢を維持するために必要な継続的で低レベルの活動。この2つのモードはそれぞれ位相性、緊張性と呼ばれています。この2つの単語は、姿勢と動き全般の議論の中心となるので、時間をかけてでも知っておく価値があります。神経と筋の活動は、この2つの異なるモードのいずれかに分類されることが長い間観察されてきました。位相性の活動は短時間で急激に変化し、緊張性の活動は持続的で安定またはゆっくりと変化します。例えば、素早く計画的な体の動きは一般的に位相性であり、姿勢の活動は緊張性です。また、一瞬の思考は位相性であるのに対し、しずかな状態などの持続的な感情状態はむしろ緊張性といえるかもしれません。目の筋肉では、非常に速い動きであるサッケードは位相性活動によって生成され、非常に安定した注視は緊張性の活動によって生成されるという顕著な違いがあります。

目の回路

私たちにとって目についての大切な疑問はつまり、眼筋の位相性活動と緊張性活動は、一つの統一された回路で制御されているのか、それとも二つの異なる回路が並列に働いているのか、ということです。言い換えれば、移動(サッケード)と保持(注視)は、1つのシステムで制御されているのか、それと

も2つのシステムで制御されているのか？信じられないかもしれませんが、この質問に対する答えは、私たちが教師として何をしているのか、そのヒントを与えてくれることでしょう。

眼球を制御する脳回路は、脳幹の細胞核と呼ばれる特定の神経細胞の塊の中にあります。研究者は、眼球がサッケードと注視を交互に繰り返すときに、これらの神経細胞のどの塊が活性化しているかを測定することができます。その結果、あるものはサッケードの制御に対応し、別のものは注視の制御に対応する、それぞれ異なる領域が「点灯」することが判明しました。言い換えれば、サッケードと注視は、比較的独立した特殊なサブ回路によって別々に制御されていることが実験的に証明されたのです。これらのサブ回路は、連携して動きや姿勢を制御しています(図3)。

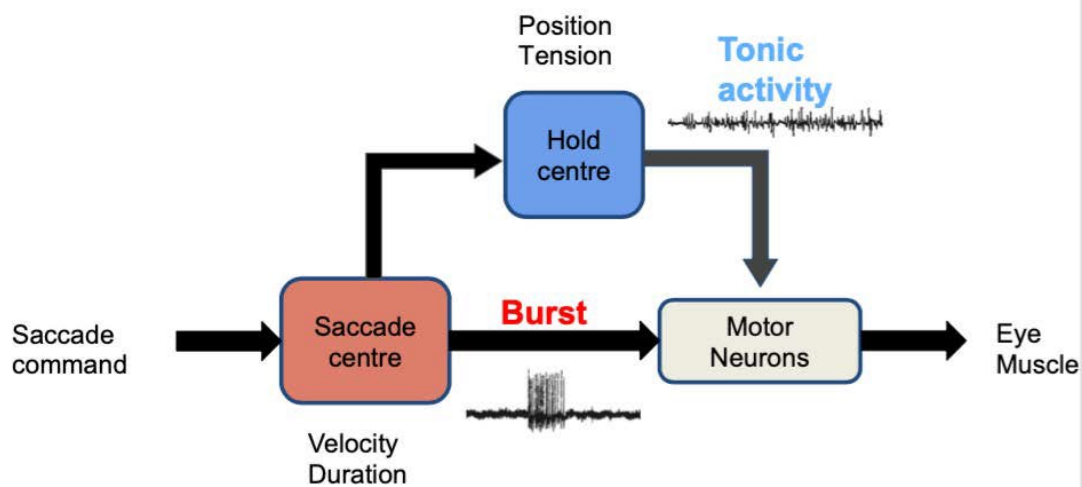


図3. 眼球制御システムの模式図。サッケード指令は、眼球を目標に移動させるのに必要な回転を指定する。脳幹のサッケードセンターは、これを適切な大きさで持続時間の位相性バーストに変換し、サッケードを生成する運動ニューロンを活性化する。脳幹の別の領域であるホールドセンターは、サッケード終了後に注視を維持するために必要な持続的で緊張性の活動を生成する。ホールドセンターとサッケードセンターは並列に接続されており、運動神経細胞と筋を活性化する経路は別々であることに注意されたい。

サッケードのサブ回路は1つの細胞核から構成されており、目標に関する情報、すなわち、目標に到達するために眼球が現在の位置からどれだけ回転する必要があるかという情報を伝えます。そして、他の細胞核がこれを位相性バーストコマンドに変換し、筋肉を活動させて眼球を動かします¹。バーストのパラメータである大きさと継続時間は重要であり、サッケードの速度と回転をそれぞれ決定します。すべてが計画通りに進めば、眼球は目標に着地します。

注視は、姿勢に関連する別の細胞核のセットによって維持されて、目を固定するために必要な持続的な緊張性のコマンドを生成します。眼球を動かす筋肉や靭帯もまた弾力性があることを忘れてはなりません。つまり、注視位置を保持するためには、たとえば左を向く筋肉への、固視せよという指令が、右の伸展した組織からの中心に戻そうとする反対方向の力と完全に釣り合わなければならないのです。不

ドラフトー転送禁止

一致があると、眼球が移動し、視界がぼやけてしまいます。注視が眼窩の中心から遠くなればなるほど、反対側の伸展した組織を打ち消すために、より大きな張力が必要になります。

眼球の姿勢のサブ回路は、視線がずれたときにそれを感知して反射的に修正する単純な反射ループだと思われるかもしれませんが、そうではありません。むしろ、姿勢のサブ回路は、眼球の位置を感知することなく、脳の中心で緊張性のコマンドを生成しているのです。実際、伸張受容体を完全に切断しても注視の保持には全く影響を与えません²。その代わりに、脳はサッケードの動きコマンドをモニターして次の注視位置を先験的に予測し、そこから緊張性の保持コマンドの大きさを決定します¹。この意味で、脳のある部分は、最終的な動きの姿勢の要求に応えるために、他の部分が何をしようとしているのかを監視しているのです。このことは、Sherrington による「姿勢は影のように動きに従う」という言葉を想起させます^c。眼球の場合、姿勢サブ回路は運動計画を監視し、その後の姿勢指令を準備し、その後引き継ぎます。

サッケード回路と注視回路は別々であるため、脳はそれぞれを独立して調整することができます。このことは、広い意味での姿勢と動きについて考えるときに重要なことです。もし注視中に眼球が規則正しく動いていれば、脳はサッケードコマンドに影響を与えることなく姿勢回路を修正しますし、その逆もまた然りです。目の姿勢と動きの回路がなぜ別個のものであると考えられるかについての詳しい説明は、付録で見ることができます。

要約すると、目の動きと姿勢は、目を動かすためのバーストパラメータと、外乱の力に対抗するための継続的なコマンドという、異なることに関係する2つの別々に調整された並列システムによって制御されていることが分かります。

身体の姿勢

筋骨格系は、相互に連結された多数の体節と筋肉および靭帯のネットワークから構成されており、目よりもはるかに機械的に複雑です。身体を制御する脳回路については多くのことが知られている一方で、貢献している脳領域の正確なネットワークと機能が明確である目の制御ほどには、現在のところ理解されていません。身体の姿勢や動きが、それぞれ異なる脳回路によって制御されているかどうかという問題ですら、定かではありません。とはいえ、タスクレベルの観点からは、動きは位置を変え、姿勢はそれを維持すると考えることができます。

これらのタスクは、果たして目のように2つの並列システムで別々に制御されているのでしょうか、それとも昔ながらの階層型ロボットのように一緒に制御されているのでしょうか？なぜ、この答えがATに関係するのでしょうか？この記事の残りの部分は、これらの質問に答えるための基礎の一部となります。

^c Sherrington, C. (1906). 神経系の統合的作用。ニューヨーク、NY。Charles Scribner's Sons.

身体の姿勢に関する力学的側面

眼球と同様、身体の位置を保持することは、バランスをとる動作です。姿勢の筋肉は、その位置に要求される力にマッチングさせる必要があります。眼球の場合、右側の筋肉を左側の伸縮にマッチングさせたり、その逆をしたりと、比較的単純なことです。しかし、身体では、歪む力はもっと多く、複雑です。これらの力は、内力 - 体内で発生する機械的な伸縮と張力、そして外力 - 重力および外部からの押したり引いたりする接触力に分けることができます。

内なる力

身体は、目と同様に、伸ばされた筋肉や靭帯から内力が発生し、関節を中心位置に向かって引っ張っています。例えば、頭を左に向けると、靭帯および拮抗する筋肉は伸ばされるので右に引き戻そうとします。そのため、頭を左に向けると、伸展した組織が頭を中心に戻そうとするのを防ぐために、左作用の頸部筋に緊張性の活動をさせる必要があります(図4)。さらに頭を左に向けると、反対方向に引っ張られる力が強くなり、その位置を維持するために左作用筋の筋トーンもさらに強くする必要があります。このような内部の伸展をマッチングさせるという問題は、先ほど述べた眼球の保持を安定させる問題と全く類似しています。

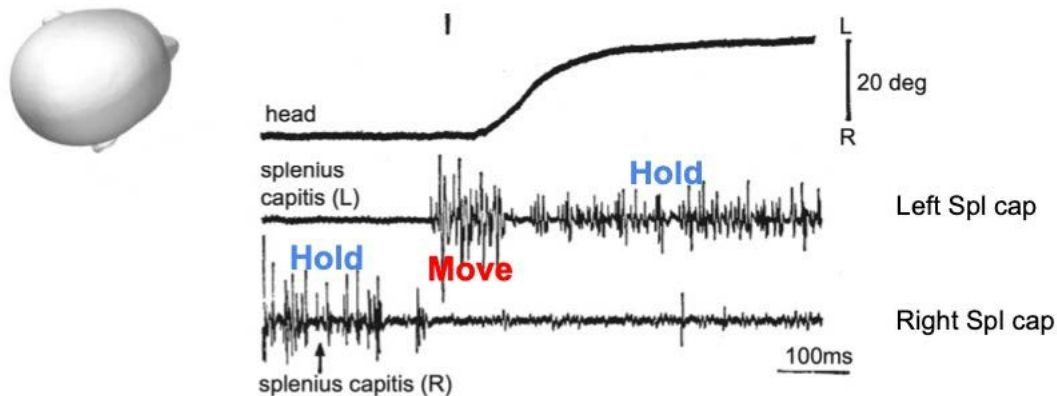


図4. 頭を動かす前、途中、後の左右の頭板状筋の活動。一番上の軌跡は、頭を右から左へ移動したときの頭の位置を示している。動き出す前、頭を右に保持しているとき、右頭板状筋に緊張性の活動が見られ、引き伸ばされた左の組織に対抗している。左頭板状筋の位相性バーストは頭を左へ動かし、今度は左頭板状筋の緊張性の活動が続き、引き伸ばされた右引っ張り組織に対抗して姿勢を保つ。

Bizzi ら 3 章より。

外からの力

外界もまた、力を身体に及ぼしているので、運動システムは対処しなければなりません。これらの力は、眼球ではあまり問題になりませんが、身体全体の動きのバイオメカニクスにとっては内力より大きいことが多いのです。このことは、身体の姿勢と動きの問題を大きく複雑にしています。外力には、重力と接触力の2つのカテゴリーがあります。姿勢システムは、体勢を維持するために、内力と同様にこれらのそれぞれに対抗する必要があります。

重力

重力は、すべての体節を地球に向かって引っ張ります。立っているとき、重力は腰、膝、背骨を曲げるように作用し、これに対抗しなければ姿勢が崩れてしまいます。そのため、身体を直立させておくためには、股関節、膝関節、背の伸展筋の姿勢トーンが必要です。飛行機で居眠りをしていると、頭が前に落ちてしまうという経験をしたことがある人もいないでしょうか。これは、睡眠によって姿勢のトーン(緊張)が低下し、重力によって首が倒れるためです。

身体の位置によって、重力がどう身体に影響を及ぼすのかが決まります。例えば、モンキーで立っているときや、椅子の上で前に傾斜するときには、直立して立つときや座るときとはまったく異なる重力への姿勢の反応が必要になります。

ゲーム 2

この姿勢の活動が重力に適応していく様子は、ちょっとした実験で実感することができます。椅子に座り、腰背部に手を当て、背筋を伸ばしたまま股関節から前傾してください。前傾姿勢になると、背中の筋肉の緊張がどうなるかに注目してください。脳は、重力によって増加する脊椎へのトルクに対抗するため、背中の伸筋の活動を増加させます。^D このような重力と身体の位置の相互関係は、習慣的な姿勢にも当てはまります。例えば、習慣的に頭を体の前に出すと、頸部伸筋の姿勢トーンが高くなります。

接触力

重力とは異なり、接触力は物体や床との物理的な接触によって体節に伝達される力です^E。ドアの取っ手を引く力、人にぶつかる力、コーヒーカップを持つ力はすべて、姿勢を乱す力を与えます。接触力は、重力や組織の伸縮による弾性力よりも予測しにくいものです。また、接触力は一過性のもので、犬の散歩中にリードが引っ張られるのもごく短時間のことです。姿勢システムは、外力の大きさ、方向、タイミングをマッチングさせ、外力に対抗する筋肉を活動させることで接触力に対抗します。犬の散歩の例に戻ると、リードを短く引っ張ると、理想的には短い姿勢で対抗することになります。

^D これは、傾いたときに背骨にかかる重力のレバレッジが大きくなるために起こる。

^E その違いを見るために、床から飛び降りて着地することを考えてみよう。床の接触力は足が床から浮き上がるまでしか作用しませんが、重力は飛んでいる間中、あなたを下に引っ張っている。

ドラフトー転送禁止

また、破壊的な力はグローバルな効果をもたらします。犬の鎖で手を引っ張られると、鎖が手を引っ張り、前腕が引っ張られ、上腕が引っ張られ、肩、背骨、脚、足と連鎖的に力が働くのです。姿勢を保つためには、これらの関節にかかる力を脳が打ち消さなければならないのです。

ゲーム 3:

姿勢を直立に保ちながら、閉じたドアの取っ手やカウンターの上など、動かさないものを押したり引いたりして、姿勢反応の全身的な性質を実験することができます(図 5)。手で力を加えるとき、姿勢を保つために背中や脚にわたって起こる活動に注目してください。

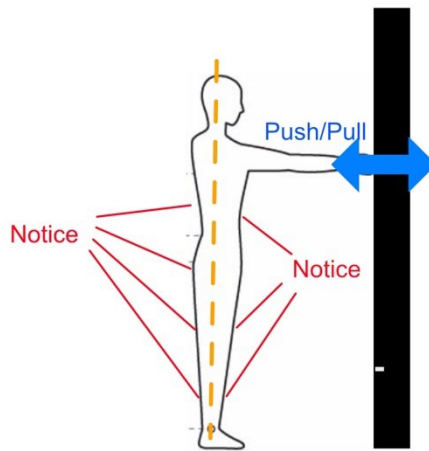


図 5. 直立な姿勢を保ったまま押したり引いたりしながら、体の前側や後ろ側の活動に注意する。

受動的な安定性

身体はある程度、受動的に、つまり神経系が即座に作用しなくても、外力と内力の両方に機械的に対抗することができます。骨はもともと硬いため、重力などによる圧縮力に対してかなりうまく形を保つことができます。骨格の受動的な安定性は、全身の軟部組織の伸縮に対する弾力性のある抵抗によってもたらされます。例えば、完璧に整列した椎骨の積み重ねを思い浮かべて、それが衝突されたらどうなるかを想像してみてください。もちろん、倒されやすいでしょう。では、その想像上の脊椎に靭帯を加えて、実験を繰り返してみましよう。靭帯の弾力性が脊椎の動きに抵抗し、脊椎を直立させるのに役立つため、「靭帯付き」脊椎は倒れにくくなるのです。しかし、靭帯はそれほど堅くないので、これは小さな外乱に対してのみ有効です。実際、頭くらいの重さを上にのせると、靭帯付脊柱は曲がります⁴。

筋肉は受動的な安定性を高めます。同じ背骨をもう一度思い浮かべてみてください。今度は、背骨と肋骨、骨盤をつなぐ筋肉が斜めに配置されています。これらの筋肉は、電波塔の支線のような役割を果たします。靭帯と同様、これらの筋肉を伸ばせば脊柱の動きに抵抗して、受動的安定性が増します。靭帯とは異なり、筋肉の張力は活動を調整することで変化させることができるため、筋肉を引き締めることで

「支線」の張力を高めて脊柱の受動的な安定性を向上させることができます^F。受動的な安定性は、基本的な安定性をもたらすものとして常にあり、脳の反応は関与しないという利点があります。しかし、これは大きな姿勢の乱れを打ち消すには十分ではなく^G、股関節から前傾するようなどときには、前に傾くにつれて背中の中筋が強く働きだします。

筋肉の冗長性

眼球では、1つの筋肉が各方向に引っ張られるだけです。視線を左に向けるには、左の眼球外筋に一定の緊張を与える必要があります。一方、体の筋肉は何層にも重なっていて、同じ位置を保つにもさまざまな方法があります。例えば、ある体位に対して体幹を重力に逆らって支えるために、深層筋や表層筋、内側筋や外側筋、左右非対称の分布などがはたります。つまり、体位だけで支持の分布が決まるわけではないのです。体位を観察することで、例えば、頭が背骨よりかなり前に出ているとか、首が短くなっているなど、何が起きているかを知る手がかりにはなりますが、体位だけでは、具体的な支持のパターンを知ることはできないのです。

姿勢の神経学的制御

姿勢トーン

「発見に対する最大の障害は無知ではなく、知識の錯覚である」-ダニエル・ブーアスティン

重力などの持続的な力に対抗するために、筋肉は緊張性の活動を行い、適切な量の張力を生み出します。このような活動は、無意識のうちに自動的に行われる場合、筋トーン^Hと呼ばれます。例えば、先ほどの例で座っているときの無意識の首の活動、これがないと寝入ったときに頭が前に倒れてしまうのですが、これが筋トーンです。これに対して、自発的に拳を握るときの緊張性の活動は、自動的かつ無意識的でないため、トーンとはみなされません。筋トーンが重力に対抗するなどの姿勢的な役割を果たす場合、代わりに姿勢トーンという言葉を使うこともあります。

筋トーンは最初に研究された運動現象の一つであるにもかかわらず(例えば Sherrington 19245)、まだよく理解されていません。この理解の不足は、技術的な理由と歴史的な理由の両方があります。技術的には、筋トーンは定量化が難しく、多くの筋肉にまたがって発生し、非常に微小です。歴史的にも、筋トーンの研究は、筋トーンは伸張反射によって生成されるという誤った理解によって妨げられてきました。残念ながら、この誤った伸張反射モデルは、トーンや姿勢支持に関する人々の概念を大幅に単純化しすぎています。

F ここで用語が混乱しているが、受動的な力は伸展によってのみ生じ、外乱に反応して活動が増大するものではない。脳が緊張性に筋肉を活動させていても、脳が外乱に対して反応を起こさないという点で、受動的である。

G 激しく共縮しない限りは

H これは、さまざまな意味を持つ議論のある言葉である。例えば、理学療法における筋トーンは、神経学的損傷によって引き起こされる速度依存性の伸張反射の異常と定義されることが多い。一般的には、健康な人の筋トーンは伸張反射によって生成されるという誤解に関連した混乱がある。しかし、筋の緊張性の活動は現実の現象であり、筋トーンという用語は研究文献の中で現在も使われている。

トーンが伸張反射であるという神話

多くの医学書には、筋トーンの生成方法を説明するために、いまだに伸張反射の図が掲載されています(図6)。このモデルには根本的かつ重大な欠陥があります。この考え方の主な問題点は、伸張反射は継続的な活動を生み出さない、つまり位相性である、ということです。膝蓋腱をゴム製の医療用打腱器で叩くと、伸張反射経路が活性化され、膝蓋腱反射が起こります。しかし、筋肉が速く引つ張られたときのこの急激な筋反射は、筋トーンとは著しく対照的です。

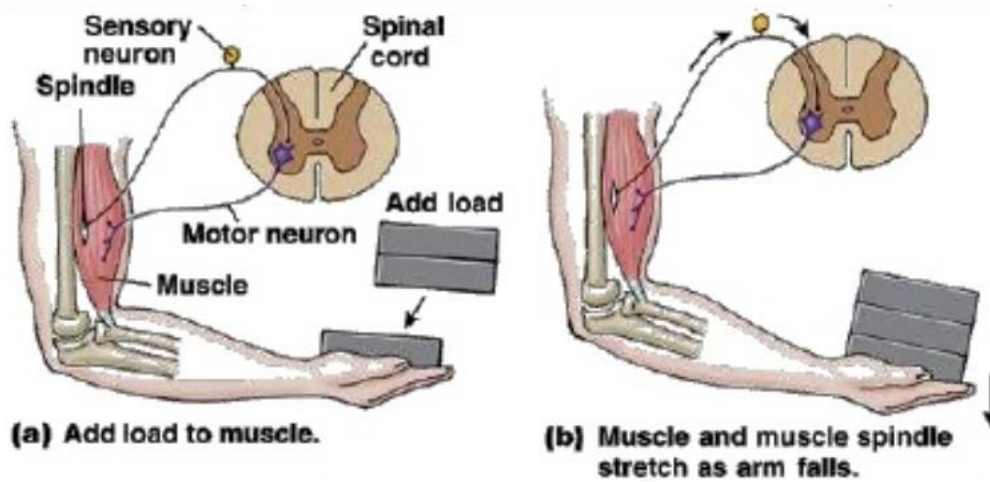


図6. 筋トーンの生成方法に関する典型的な誤った図。

ゲーム4

この方法で大腿四頭筋の筋トーンに変化を与えて、膝を数度上げてそこにとどまるようにしてみましょう。腱を軽く叩いたり、ゆっくり押したり、あるいははしつく押ししたりして試してみてください。もちろん、これではうまくいかないことがわかつていきます。

目のことを思い出してください。眼筋の伸張受容体の切断が注視中の緊張性の活動に影響を与えなかったことを思い出してください。¹ 脳の損傷がない場合、伸張反射を引き起こすには高速の伸張(毎秒100度以上)が必要で、それ以下では全く反応がありません。急速な伸張を伴わない静止姿勢でもトーンは必要であるため、この伸張反射がどのようにトーンを発生させるのかを説明することは困難です。また、機能的な伸張受容体を持たない患者でも筋トーンは存在することは注目に値します。⁷

I 持続的な緊張性の伸張反射は、脳障害で報告されていますが、健常者では確実に引き起こせず、その神経経路もわかっていません。この反射は、おそらく高次脳領域が関与する複雑な反応であることは間違いないでしょう。緊張性の伸張反射という用語は、現在では使われていません。

J トーンの伸張反射モデルに対する議論のレビューは、Davidoff⁶を参照。

トーンの中枢制御

トーンに関する歴史的な伸張反射の説明では、脳自体がどのように筋緊張を生成し形成することができるかが無視されています。実際のところはもっと複雑で、時には謎に包まれています。脳幹のように緊張性の活動を生成する脳領域もありますが、脳の神経細胞の大部分は位相性を有しています。例えば、硬いジョイスティックを極端な位置まで動かし、その後、力に抗してその位置を保持したときの、一次レベルの運動出力ステーションである運動皮質の出力を見てみましょう(図7)⁸。脊髓の神経細胞は、移動時と保持時の両方で活性化しています。注目すべきは、保持の期間に、ジョイスティックの位置を維持するために必要なトーンを生成するために、それらが緊張性に活動することです。一方、運動皮質の神経細胞は位相的にしか活動せず、すなわち、到達期間中は一過性に活動し、保持期間中は沈黙しています。このことは、脊髓神経細胞を緊張性に駆動させる持続的な信号はどこから来るのだろうか?という疑問を抱かせます。

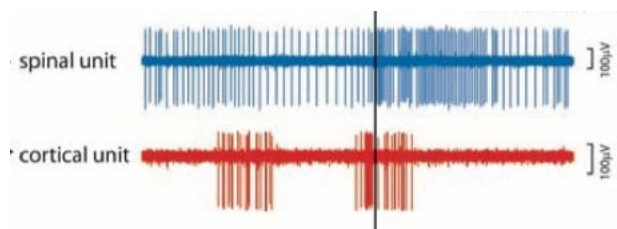


図 7A. 目標に到達しているときの皮質神経細胞(cortical unit)と脊髓神経細胞(spinal unit)の発火。皮質神経細胞は2回のバーストを発火し、脊髓神経細胞は緊張性の発火をした。皮質ニューロンの最初のバーストは動かす指示があったときに起こり、2番目のバーストは実際に腕が動いたときに起こった。Shalit et al 2012 より。

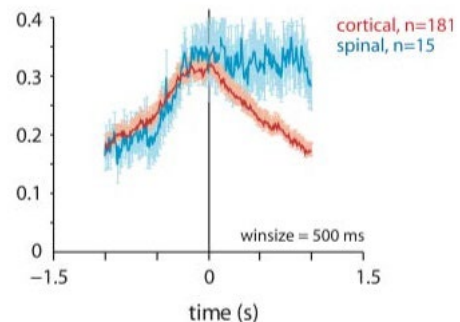


図 7B. リーチ・アンド・ホールド動作中の皮質神経細胞(cortical)と脊髓神経細胞(spinal)の活動を平均化したもの。皮質の赤いトレースが移動時の最中に増加してから、位置の保持時に減少する様子に注目。一方、脊髓神経細胞は保持姿勢の間、活動を維持している。Shalit et al 2012 より。

脳幹にある神経細胞が、筋トーンを生成するこの持続的なシグナルを供給しているという証拠があります。このような領域への短時間の刺激でも、首の姿勢を持続させることができます。同じ部位が損傷すると、頭の位置を保つことができなくなります。同様に脳幹には身体への領域が存在し、短時間の刺激で身体の筋トーンに持続的な変化、例えば筋トーンの増加、減少、筋肉間の分布の変化などを引き起こします⁹。

現在の仮説では、このような脳幹領域は、様々な位相性信号を筋トーンの基盤となる持続的な駆動力に変換する「神経積分器」として働いていると考えられています。ここでいう「積分器」は微積分の意味で使われており、上下に激しく変動するある運動信号が、簡単な数学的計算によって、運動が停止しても持続するゆっくりとした増加信号に変換されます(図8)。これはアイホールド回路に類似した働きをする

ドラフトー転送禁止

と考えられていますが、身体回路はより複雑であり、感覚フィードバックなど、より多くのソースからの情報を統合し、おそらく外部負荷に合わせて筋トーンを調整すると考えられています。^K この神経積分器やその様々な入力の損傷は、斜頸などのジストニアを引き起こすという仮説があります。

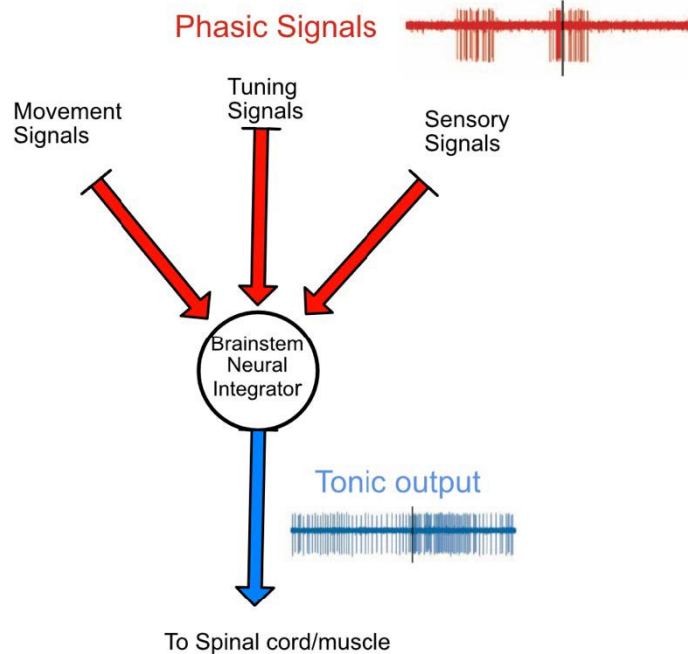


図 8. 脳幹の神経積分器仮説 1,10,11. 様々な形の高レベル位相性信号がすべて神経積分器に投射され、積分器はこれらを持続的な緊張性の出力に変換し、脊髄を通して筋肉に投射して筋トーンを生成する。

最近報告された症例で注目すべきは、特発性前屈症、または「曲がった脊椎」症候群の患者です。カンプトコルミアの原因は様々ですが、この女性は特に、体幹の姿勢を保持できないだけで、他に障害はありませんでした¹²。彼女の背骨の姿勢は1分ほどで、垂直から前方に60°曲がった状態になりました(図9)。彼女の特定の神経障害は不明でしたが、彼女の動作は、脳幹の神経積分器または関連領域の特異的な障害を示唆しています。彼女は、要求されれば意識的に「まっすぐ立つ」ことができますが、注意をそらすと、背部伸筋の筋トーンが適切に調節されないために、姿勢が大きく前に崩れてしまうことが印象的です。意識的にまっすぐ立つことは、自動的なものではないので筋トーンとはみなされず、明らかに別の脳領域によって正常に調節されています。

^K 斜頸は「ジストニア」のひとつと考えられていますが、生理学的な説明が進んでいないため、一般的な仮説ではトーンについて考慮されていません。

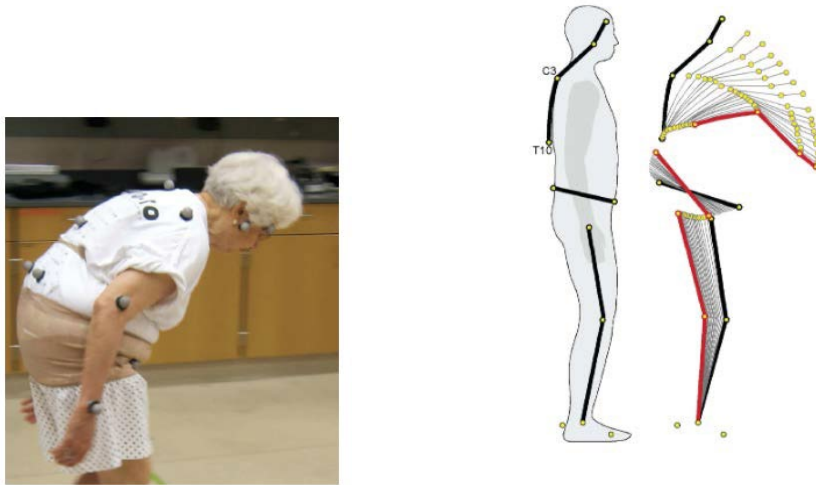


図 9. 注意しないと体幹の姿勢を保てない前屈症の患者さん。右は数分かけて徐々に体幹が傾いていく様子を示している。

トーンとアレクサンダー・テクニーク

次に、AT が筋トーンにどのような影響を与えるか、あるいは与えるかどうかを考えてみましょう。AT によって身のこなしが変わるので、おそらくトーンの分布が変わるのだろうと考えられます。

AT のレッスンでの具体的な逸話を考えてみましょう。通常、教師は、生徒が立ったり、座ったり、横になったりするときの緊張の持続パターンを微妙に変化させるために、手を使ったり、言葉で合図をしたりすることがあります。これらのパターンは、意識的に直接コントロールされているわけではありません(前の例の握りこぶしのように)ので、生徒は、それが変化するまで、特定のパターンに気づかないかもしれません。変化は、突然ではなく、レッスンの全期間にわたって繰り返され、ゆっくりと起こります。変化は、生徒の重力の経験(彼らは軽く感じる)と移動する自由(容易さ)に変化をもたらし、数分、数時間、あるいは数日間持続することがあります。これらの証拠、潜在意識の性質、持続性、変化の速度の遅さ、そして重力との関係から、AT レッソンのこの側面は、姿勢トーンのシフトに関係していることが示唆されるのです。

ゲーム 5

あなたが最近行った、または受けたレッスンの中で、トーンの変化を経験した瞬間を考えてみてください。このようなトーンの変化を、レッスンの他の瞬間と区別するものは何ですか？

ドラフトー転送禁止

幸いなことに、より確かな科学的実験による証拠もいくつかあります。1 つ目は、トーンの評価を行うツイスター (Twister) という新しい装置で、立った状態で首、体幹、腰を極端にゆっくりひねるときの抵抗力を測定します。この装置で測定した抵抗は、重力に対抗するために使われる内的な筋力を定量化するもので、トーンも定量化されます。直立した生徒の頭を、固定されていない手首を使って回し、その抵抗力を測定するのと非常によく似た原理です。その結果、アレクサンダートレーニングや AT 教師は、テストしたすべての領域で抵抗が低いことが示されました。¹³ 同時に、アレクサンダー教師は、緊張性の活動の調節が明らかに異なっており、運動中の体幹筋のトーンに、対照群よりも高い適応性がみられ、位置の変化に対応して支持の分布が容易に変化することが示されました。さらに分析を進めると、この適応的なトーンは、スティフネス減少の主要な原因の一つであることがわかりました。また、アライメントや特定のトーン分布など、他の原因も関係している可能性があります。

AT は、首の表層筋から深層筋への姿勢活動の分布も変化させることを示唆する研究があります。Frank Jones は、少人数の被験者に対して、AT 指導が座位での胸鎖乳突筋の活動を減少させることに気づきました。¹⁴ より最近の大規模な研究でも、AT レッスンによる外部負荷に対抗して胸鎖乳突筋の活動が減少することが明らかになりました。¹⁵ 使用された実験手続きでは、胸鎖乳突筋の活動が低下すると、首の深層筋の活動が増加することが知られており、AT が表層筋から深層筋へ活動を変化させることが示唆されています。

トーンに関して、さらに 2 つの注意点があります。まず、筋トーンは個人差が大きいものであり、ツイスターは、個人ごとには数ヶ月に渡って極めて一貫しているが、ひとによる個人差は非常に大きいことが示されました。^{13,16} これは、AT の練習で観察された習慣の個人差と一致しているようです。二つ目として、筋トーンは適応するのがとても遅いということです。ツイスターや他の研究によると、分布が変化するのに数十秒かかることが分かっており、これはレッスンで手を使うときに起こるゆっくりとした変化に関連していると考えられます。このようなゆっくりとした持続的な変化は、意識的に姿勢を変化させたときに生じる即時的な変化とは著しく対照的です。

動き

身体の動きは、目の動き(例. サッカー)よりもはるかに多様です。身体の動きは、自動的な動き、随意的な動き、リズムカルな動きの 3 つに大別されることが多くあります。それぞれの例として、くしゃみ、投球、走るなどが挙げられます。このように多様であるにも関わらず、動きには共通点があります。それは、動きを引き起こす力の不均衡から生じるということです。¹ この意味で、動きは、力の均衡を必要とする姿勢の維持とは正反対です。

¹ 技術的には、力は動きを開始、停止、および形成する加速度を引き起こします。これは、アイザック・ニュートンの運動の第 2 法則である「力 = 質量 × 加速度」によるものです。

体の一部、例えば腕を目標に向かって軌道に沿って動かすことは、時間の経過に伴う個別の事象の連続によってもたらされます。例えば、三角筋と上腕三頭筋が腕を上げ伸ばし、腕を加速するために筋肉が活動します。しばらくすると拮抗筋が活性化され、動きにブレーキがかかります。例えば上腕二頭筋が使われるかもしれません。動作している間はスムーズに感じられるかもしれませんが、筋は位相性のバースト群で活性化されています。これらバースト群のそれぞれのタイミングと大きさが動きの軌跡を決定します。例えば、ブレーキのバーストが遅れると、腕は目標地点を行き過ぎてしまいます。動きの調整とは、筋肉が様々な位相性バーストを行うタイミングと大きさを調整して、目的の軌道を実現できるようにすることです。歩行のような動作は、ささいなタスクなどではなく、体の両側の多くの筋肉全体にわたって正確なタイミングを必要とするものです。(図 10)。

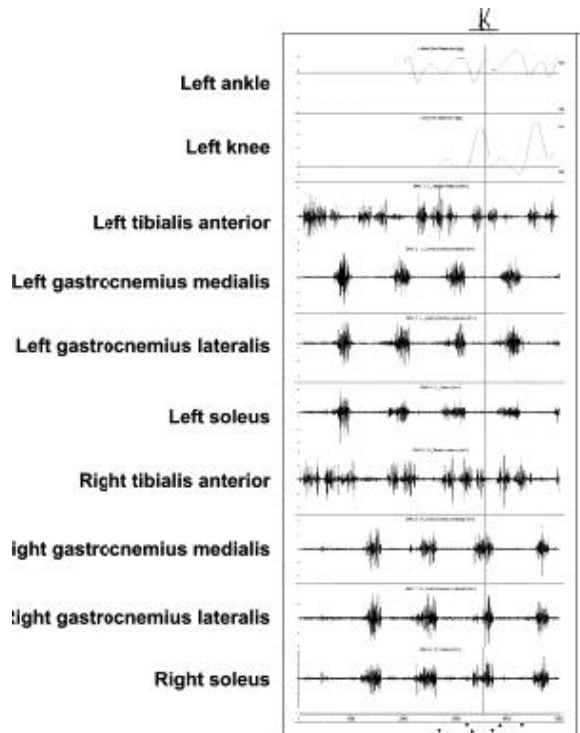


図 10. 歩行時の筋活動。連続しているように見えても、筋肉はバースト的に活動することに注目。Paciらによる。¹⁷

ゲーム 6:

腕を宙に浮かせたまま、コーヒーカップに手を伸ばすように腕を前後に動かしてみましょう。少し時間をとって、この動きの複雑さを考えてみてください—複数の関節を適切なタイミングで加速・減速させる必要があります—しかも素早く動かしても手は思ったところに届きます。これに対して、姿勢の要素については—手を宙に浮かせたまま—重力に耐えられるように筋肉に持続的な信号を送る必要があります。

動きの神経学的基盤

脳がどのように動きを制御しているかについての調査は、この記事の範囲外ではありますが、脳の主な仕事は、様々な位相性バーストのタイミングを調整して、目的の動きをもたらすことであると言えますでしょう。位相性バーストは、例えばピアノの演奏のように神経系の高次レベルで生成されることもあれば、咳や呼吸あるいは基本的な歩行パターンのように低次レベルで生成されることもあります。運動皮質のような高次レベルの脳が関与することで、かなりの自由度を持ってパターンを自在に生成することができますが、これは脳幹や脊髄のような低次レベルで生じる定型的な動きとは対照的です。

ドラフトー転送禁止

ロボットであれば動きを調整するためには、センサーで知覚して、リアルタイムで起きていることに適合させていきます。しかし、運動システムの場合は、急速な動きの中でフィードバックを利用する能力は限られていて、それはニューロンが情報を伝えるスピードがとても遅いからです。例えば、腕が目標に近づいたときに脳がそれを感知して拮抗するブレーキバーストを作動させようとしても、腕を止めるには遅すぎます。情報が入ってきたときには、もう手遅れなのです。

ゲーム7:

例えば、テーブルの角や鉛筆の先端に指を置くなど、非常に小さな目標に指を素早く動かしてみてください。大まかな動きはとても速いのですが、最後の数センチはとてもゆっくり動いていることに注意してください。これは、最後の正確な動きをするためには、感覚器からのフィードバックを使って指を着地させる必要があります、このフィードバックは急速な動きよりも非常に遅いからです。

フィードバックが遅いため、脳はほとんどの動きを高度なプランニングに頼っています。例えば、定常的な歩行における脚の筋肉の様々なバーストのタイミングは、脊髄にある中枢パターン生成器によって生み出されており、感覚フィードバックが全くない状態でもそのパターンを生み出すことができます。随意的な運動は大脳皮質によって、より柔軟に計画されますが、運動の詳細(例えば何かを握ろうとするときの軌道から速度まで)は事前に計画されています。

姿勢と動きの制御は別物か？

その証拠を検証する前に、もし動きと姿勢が別々の回路で別々に制御されているとしたら、それはATにとってどのような意味を持つかを考えてみましょう。このことは、姿勢と動きが互いに影響し合い、干渉し合う可能性さえあることを示唆しています。

ATのレッスンでトーンがどのように変化するかについて、上に挙げた逸話をもう一度考えてみてください。テーブルワークのセッションは、定義上、主にトーンの変化です。教師がハンズオンのワークをして、言葉で合図し、生徒の思考も合わせることで、生徒の体全体にある潜在的または半意識的な緊張のパターンが変化するのはです。これらのシフトはテーブルワークの後も続き、生徒の姿勢と重力に対する全体的なサポート感を変化させます。さらに、テーブルセッションは、動きの計画に関する特別な指示がなくても、生徒の動きを変化させることがあります。言い換えれば、セッション前はスティフネスやサポートが不十分でぎこちない動きをしていた生徒が、セッション後にはより良いサポートとよりスムーズな動きをするようになるかもしれないのです。これは、姿勢(筋トーンのパターン)が、良くも悪くも、動きのパターンに影響を与えることを示唆しています。

現在のところ、姿勢と動きが別々に制御されているという決定的な科学的証拠はありません。しかし、その方向を示す証拠があり、ATの教師としての経験と組み合わせると、説得力のあるケースになります。例えば、脳幹の不活性化によって首の姿勢を保つ能力が失われた前述の実験を思い出してください。姿勢の制御ができなくなることで、動きは変化しません。頭を目標に向けることはできても、それを

ドラフトー転送禁止



図 11. 手の上で赤ちゃんのバランスをとる男性

維持しようとする中心に戻ってしまうのです。¹⁸ 同様に、前に挙げた重力に逆らって体幹の姿勢を保つことができない前屈症の患者を考えてみましょう。この損失があるにもかかわらず、彼女の動きは正常でした。別の関連する実験では、参加者が手を伸ばす動作をしている最中の腕の位置の知覚を歪めるという「いたずら」をしました。¹⁹ これに対して運動計画システムは適応しました。しかし、適応した後は、位置を保持すると、元の「いたずらしていない」位置に戻ってしまいました。このことは、運動システムが姿勢システムとは独立して適応したことを示唆しています。最後に、1歳児を考えてみましょう。彼女は美しい姿勢支持を示しますが、まだ最も単純な動きやバランスのパターンを学んでいません(図 11)。このよ

うな発達の劇的な違いが示すことから、システムには独立性があって、トーンは動きの調整やバランスよりもずっと以前に発達するということがわかります。

動きと AT

AT がなぜ動きを変えるのか、という疑問が残ります。例えば、sit-to-stand(座位から立位への動き)を例にとると、AT が動きを変えることは分かっています。AT の教師は、訓練を受けていない対象者よりも、椎間関節の動きが少なく、スムーズに椅子から立ち上がることができます²⁰。問題は、何がそれを可能にするのか、ということです。部外者にとって明らかな可能性は、AT が運動計画を変更した、言い換えれば、運動の基礎となる位相性バーストを変更することによって、異なる軌道を直接指定した、ということです。つまり、「AT 式」立ち上がりです。しかし、これは、AT のレッスンの逸話と一致しません。なぜなら、教師は通常、生徒に「まずこうして、次にこうして、それからこうして...」と合図を送り、動きを変化させることはしないからです。もう一つの可能性は、もちろん、AT が姿勢システムの変化を通じて間接的に動きに影響を与えることです。

私たちは、AT による sit-to-stand 動作の変化が運動計画によるものかどうかを調べる実験を行いました。²¹ 椅子からの立ち上がりをほぼ氷河のスピードまで遅くすることで、初心者がピアノ曲をゆっくり弾くように、動作計画が容易になるようにしました。もし、この違いが動作プランニングによるものであれば、対照者は、このようなゆっくりとした動きに対して、AT 教師の協調運動をよりよく真似ることができるはずです。しかし、私たちはその逆であることを発見しました。対照者は、ゆっくりとした動きを難しく感じ、立ち上がり時の不意の傾斜 (lurch) を防ぐことができなかったのです。バイオメカニクスのコンピューター・モデルによると、この不意の傾斜は、過剰なスティフネスを補うために生じている可能性があることが示唆されました。

ドラフトー転送禁止

チェアワークを見ていると、ATが姿勢を通して動きに影響を与えることは、ほとんど明らかであるように思えます。教師は座っている生徒の姿勢を調整し、教師と生徒は生徒が椅子から離れるときにこの変化がどのように動きに影響するかを観察しているのです。

ゲーム 8

ATの授業、姿勢、動きについてのこの議論を考えてみてください。それはあなたの経験と一致していますか？姿勢と動きを並列システムとしてとらえるこのモデルは、レッスンを考える上で役に立ちますか？それともそうではないですか？

結論

私たちが見てきたように、辞書的な定義にもかかわらず、姿勢は単なる位置のことではありません。姿勢システムは位置を調節することを目的としていますが、内外の力、位置、筋トーンの分布、随意的な姿勢行動など、多くのものが複雑に絡み合っているのです。姿勢トーンの制御はまだ十分に解明されていませんが、伸張反射によって生成されているわけではありません。脳幹の領域は筋トーンの生成と調整に関与しており、これらの回路を理解するための最近の科学的関心と進歩はかなりのものです。ATは姿勢トーンをより適応的なものに変え、その分布を脊椎の深層筋の方へシフトさせることが実験によって明らかにされました。結論を述べるのは時期尚早ですが、身体の姿勢と動きは、目のように、別個の並列回路によって制御されていることを示す証拠があります。最後に、ATは姿勢システムを介して動きに影響を与える可能性があると考えられます。

付録

目の姿勢と運動の回路は、2つの回路が独立して動作し適応的であるため、別個の回路であると考えられています。このことは、3つの異なる証拠によって裏付けられています。1) それぞれのサブ回路は別々に障害される可能性があります。例えば、動きの細胞核の損傷はサッケードの目標を外しますが、注視の固定には影響を与えません。一方、眼球の姿勢の細胞核の損傷はサッケードに影響は与えませんが、その場合、眼球は注視を維持できず、中心に向かってドリフトして戻ってしまいます。2) サッケイドと注視は独立して適応的です。サッケードの途中で目標位置を近づけることを繰り返すと、サッケードの大きさを小さくすることができます。この適応は眼球運動に特有のものであり、注視には影響しません。一方、注視の最中に視線ドリフトをシミュレートする(視覚シーン全体を動かす)ことによっても、眼球の姿勢をだますことができます。この場合、目の姿勢サブ回路は注視の張力を調整して、いずれは押し付けられたドリフトを解消しますが、サッケードには影響がありません。3) 今述べたような眼球運動と眼球姿勢への適応は、異なる回路を経由して起こります。小脳の背側虫部は前者を、片葉は後者を適応させるので、脳は眼球運動と姿勢を別々に扱っていることがわかります。運動は状態(注視位置)を変化させることに関係し、姿勢は状態を維持することに関係するので、直感的にこれは理にかなっていると言えます。

参考文献 (References)

- 1 Shadmehr, R. Distinct neural circuits for control of movement vs. holding still. *J Neurophysiol* 117, 1431-1460, doi:10.1152/jn.00840.2016 (2017).
- 2 Lewis, R. F., Zee, D. S., Hayman, M. R. & Tamargo, R. J. Oculomotor function in the rhesus monkey after deafferentation of the extraocular muscles. *Exp Brain Res* 141, 349-358, doi:10.1007/s002210100876 (2001).
- 3 Bizzi, E., Kalil, R. E. & Tagliasco, V. Eye-head coordination in monkeys: evidence for centrally patterned organization. *Science (New York, N.Y)* 173, 452-454, doi:10.1126/science.173.3995.452 (1971).
- 4 Lucas, D. B. & Bresler, B. Stability of the ligamentous spine. Report No. esr. 11 No. 40, (University of California, San Francisco, 1960).
- 5 Sherrington, C. & Liddell, E. G. T. Reflexes in Response to Stretch (Myotatic Reflexes). *Royal Society of London Proceedings Series B* 96, 212 (1924).
- 6 Davidoff, R. A. Skeletal muscle tone and the misunderstood stretch reflex. *Neurology* 42, 951-963 (1992).
- 7 Cole, J. *Losing touch : a man without his body*. First edition. edn, (Oxford University Press, 2016).
- 8 Shalit, U., Zinger, N., Joshua, M. & Prut, Y. Descending systems translate transient cortical commands into a sustained muscle activation signal. *Cereb Cortex* 22, 1904-1914, doi:10.1093/cercor/bhr267 (2012).
- 9 Takakusaki, K., Chiba, R., Nozu, T. & Okumura, T. Brainstem control of locomotion and muscle tone with special reference to the role of the mesopontine tegmentum and medullary reticulospinal systems. *J Neural Transm (Vienna)* 123, 695-729, doi:10.1007/s00702-015-1475-4 (2016).
- 10 Joshua, M. & Lisberger, S. G. A tale of two species: Neural integration in zebrafish and monkeys. *Neuroscience* 296, 80-91, doi:10.1016/j.neuroscience.2014.04.048 (2015).
- 11 Shaikh, A. G., Zee, D. S., Crawford, J. D. & Jinnah, H. A. Cervical dystonia: a neural integrator disorder. *Brain* 139, 2590-2599, doi:10.1093/brain/aww141 (2016).
- 12 St George, R. J., Gurfinkel, V. S., Kraakevik, J., Nutt, J. G. & Horak, F. B. Case Studies in Neuroscience: A dissociation of balance and posture demonstrated by camptocormia. *J Neurophysiol* 119, 33-38, doi:10.1152/jn.00582.2017 (2018).
- 13 Cacciatore, T. W., Gurfinkel, V. S., Horak, F. B., Cordo, P. J. & Ames, K. E. Increased dynamic regulation of postural tone through Alexander Technique training. *Human Movement Sci* 30, 74-89, doi:S0167-9457(10)00156-9 [pii].
- 14 Jones, F. P., Hanson, J. A. & Gray, F. E. Head balance and sitting posture II: the role of the sternomastoid muscle. *Journal of Psychology* 52, 363-367 (1961).

ドラフトー転送禁止

- 15 Becker, J. J., Copeland, S. L., Botterbusch, E. L. & Cohen, R. G. Preliminary evidence for feasibility, efficacy, and mechanisms of Alexander technique group classes for chronic neck pain. *Complement Ther Med* 39, 80-86, doi:10.1016/j.ctim.2018.05.012 (2018).
- 16 Gurfinkel, V. et al. Postural muscle tone in the body axis of healthy humans. *J Neurophysiol* 96, 2678-2687, doi:10.1152/jn.00406.2006 (2006).
- 17 Paci, D. et al. Subclinical abnormal EMG activation of the gastrocnemii during gait analysis in restless legs syndrome: A preliminary report in 13 patients. *Sleep Medicine* 10, 312-316, doi:10.1016/j.sleep.2008.04.007 (2009).
- 18 Klier, E. M., Wang, H., Constantin, A. G. & Crawford, J. D. Midbrain control of three dimensional head orientation. *Science (New York, N.Y)* 295, 1314-1316 (2002).
- 19 Ghez, C., Scheidt, R. & Heijink, H. Different learned coordinate frames for planning trajectories and final positions in reaching. *J Neurophysiol* 98, 3614-3626, doi:10.1152/jn.00652.2007 (2007).
- 20 Cacciatore, T. W., Gurfinkel, V. S., Horak, F. B. & Day, B. L. Prolonged weight-shift and altered spinal coordination during sit-to-stand in practitioners of the Alexander Technique. *Gait Posture* 34, 496-501, doi:10.1016/j.gaitpost.2011.06.026 (2011).
- 21 Cacciatore, T. W., Mian, O. S., Peters, A. & Day, B. L. Neuromechanical interference of posture on movement: evidence from Alexander technique teachers rising from a chair. *J Neurophysiol* 112, 719-729, doi:10.1152/jn.00617.2013 (2014).

(和訳: DeepL Pro & 安川悦子)