

[1] 姿勢制御・筋科学編

Ichihashi Lab.

市橋 則明研究室

解剖学書に書かれている筋の作用は本当に正しい？

医療関係やスポーツの関係の仕事をしている人や今学校で医療系を学んでいる学生は、分厚い解剖学の教科書を暗記すること大変苦労した(している)ことであろう。解剖学書に記載されている内容の中でも、筋肉が各関節をどのように動かすかを示す「筋肉の作用」は、ヒトの動きを考えるために最も重要である。理学療法学の教育を仕事としている著者も以前は、「ヒトの動きを理解するためにはすべての筋肉の作用を覚えなさいといけなさい」と教えていたわけであるが、この作用というものは、教科書を暗記すればいいというものではないところが難しいところである。なぜなら、股位により作用が変化する筋肉が存在するためである。それでは筋の作用はどのようにして決まっているのか？これを理解するためにはモーメントアームを理解する必要がある。

筋収縮によって生じた力は、腱を介して骨に伝達され、関節を介してテコの作用により外部に発揮される。この外部に発揮された力を我々は筋力(関節トルク)として測定している。それゆえ各関節角度で測定された筋力は、筋が発揮している力だけではなく、モーメントアームが影響する。モーメントアームとは関節の回転中心から筋(正確にいうと筋の仮想上の力発揮方向)までの距離であり、この距離が大きいほど同じ筋張力であっても関節トルクは大きくなる。つまり、関節のトルク(T)、モーメントアーム(Ma)、筋張力(F:筋線維張力が総合されて腱に作用された力)の関係は $T = Ma \times F$ で表すことができる。モーメントアームは、関節の構造(腱の付着する位置)に影響され、筋張力は筋の構造(筋断面積)に影響される。同じ筋断面積を持った筋でもモーメントアームが大きい筋の方が実際に発揮される関節トルクは大きくなり、同じ関節でも関節の角度が変化することによりモーメントアームは変化する。このため、関節角度によるモーメントアームの変化が大きな筋では、作用の逆転が起こる可能性がある。ここでは、実際に筋の作用がどのように変化するかを研究した論文を紹介する。

図1は股関節の回旋に関与する筋のモーメントアームを示したものである(1)。股関節の屈曲角度が0度のときの各筋の作用は外旋のモーメントアームを持っている筋が多い。この0度のときの(解剖学的股位の)作用が解剖学書には記載されている。しかし、股関節の屈曲角度が90度が増加すると内旋のモーメントアームを持つ筋が多くなる。外旋筋として代表的な梨状筋や中殿筋後部線維も90度股関節屈曲位では内旋筋となり、角度が変われば教科書の知識では役に立たないことになる。

一方、教科書に書いてある作用は近位が固定され遠位が動くものとして記載されている。しかし筋は近位側にも作用を持っており、このこともヒトの動きを理解するために非常に重要である。図2は、大腰筋の近位部の作用を示したものである(2)。大

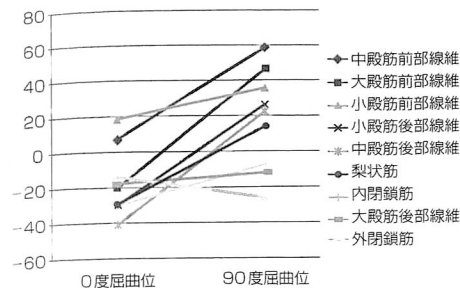


図1 股関節屈曲0度と90度における股関節回旋筋のモーメントアーム +が内旋、-が外旋モーメントアーム(mm) (Delp SL et al. Variation of rotation moment arms with hip flexion. J Biomech. 32: 493-501. 1999. より作図)

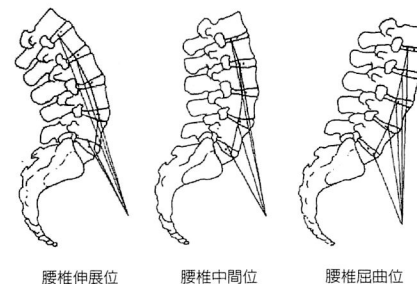


図2 大腰筋の近位部の作用 (Santaguida PL, McGill SM. The psoas major muscle: a three-dimensional geometric study. J Biomech. 28: 339-345. 1995. より引用)

腰筋は、腰部の垂直安定作用があるといわれているが、これは正常な腰椎前弯がある場合にいえる。図2中央に記載した腰椎中間位(正常な肢位)では大腰筋は第1-2腰椎椎体間には主に椎体間を圧迫する力が、第3腰椎以下は腰椎屈曲作用があることがわかる。第3腰椎以下のモーメントアームも短かく、主に腰椎を固定するために働くと考えられるために、大腰筋は腰椎を安定化させる筋として重要とされるのである。一方、右図の腰椎屈曲位(腰椎前弯が減少した肢位)では、第1腰椎以下すべてが腰椎屈曲作用となりモーメントアームも中間位よりも大きく、腰椎に屈曲のストレスを加えることになる。また、左図の腰椎伸展位(腰椎前弯が増加した肢位)では第1-3腰椎椎体間に伸展方向のストレスが生じ、それ以下は屈曲方向のストレスが加わるといふ相反するストレスが腰椎にかかることになり、大腰筋は腰椎を安定させる作用ではなくなってしまう。このように近位側でも腰椎の肢位により大腰筋の作用が変化することが証明されている。

筋肉には、近位側の作用と遠位側の作用があり、そのどちらも関節の角度が変化すると作用が変化する可能性がある。分厚い解剖学書であっても作用に関しては、解剖学的肢位での遠位側の作用のみを示しているに過ぎないことになり、作用を覚えてもヒトの動きを理解できないことになる。大事なのは作用を覚えるのではなく、起始付着の関係からモーメントアームがどの程度かを想像できる柔軟な脳である。著者の最近の講義では筋の作用を丸暗記しようとしている学生に対して「ヒトの動きを理解するためには筋の作用は覚えるな。覚えても作用は変化するので意味がない。考えろ。」と逆説的に教えて、学生の脳にストレスを与えている。 [市橋 則明]

引用文献

- (1) Delp SL et al. Variation of rotation moment arms with hip flexion. J Biomech. 32: 493-501. 1999.
- (2) Santaguida PL, McGill SM. The psoas major muscle: a three-dimensional geometric study. J Biomech. 28: 339-345. 1995.

関節深層筋は何をしているのか？

インナーマッスルを鍛えよう！コアトレーニングが大切だ！最近ではスポーツをしている中学生にでも通じる言葉になってきているようである。関節深層筋をトレーニングすることの重要性については、リハビリテーションやスポーツ科学の領域で盛んに唱えられている。しかし、解剖書を眺めてみても、関節の深層にあるのはどれも小さな筋ばかりで、大きな力を生み出せるとは到底思えない。いったい、関節深層筋がなぜそれほど重要視されているのであろうか？この分野に関しては、現在までのところまだ多くのことはわかっていない。しかし、現実としてそこには筋が存在している、そのことには必ず何か意義があると思える。ここでは、特に未知なことが多く残されている股関節周囲筋を例にとり、解剖・運動学的、あるいはバイオメカニクスの見地から、関節深層筋の神秘に迫りたい。

まず、関節深層筋の走行を見てみよう。当然、関節深層筋は関節のすぐ近くを走行しており、その点から考えると、関節の回転に関わる筋のモーメントアームは表層の筋に比べると小さくなっている。したがって、筋のボリュームが小さいということだけではなく、モーメントの観点からも関節深層筋が関節の回転運動に対して大きな貢献をすることは難しいことがわかる。しかし、その反面、関節面を圧迫する力を生み出しやすい走行になっている。図1は小殿筋あるいは中殿筋後部線維の走行を示している。これらは、前顔面で見ると大腿骨頸部と平行に走行していることがわかる(1)。すなわち、これらの筋が発揮する力は、関節面を圧迫する方向のベクトルが相対的に大きくなり、関節を物理的に安定させる作用を生み出しやすいと考えることができる。

次に、さらに関節深層筋の奥深くまで入って行ってみたい。先に述べたように関節深層筋は関節のすぐそばに位置しており、筋によっては、関節包・靭帯に接するように走行している。その部分を解剖学的に分析すると、筋の深層の一部の線維が関節包と連続性を持っていることが報告されている。もしそれが確かであれば、そこにも何らかの意義があるに違いない。図2は小殿筋の線維と関節包との連続性を示したイラストである。このイラストでは、小殿筋が作用する局面、つまり股関節が外転する時に、関節包が緊張することを示唆している(2)。このような事例は、小殿筋だけではなく梨状筋や内・外閉鎖筋などでも確認されており、先に述べた物理的に圧迫して関節を安定させる作用とは意味合いが異なるメカニズムが考えられる。関節深層筋が緊張することによって、関節内の骨運動にとって重要な関節包の緊張が変化する。そのことによって、大腿骨頭の軌道を調整し動きを導く作用が関節深層筋にはあるのではないだろうか。ただ、これについてはまだ報告が少なく、確定的なことはいえない。これからの研究による解明が待たれるところである。

最後に、筋のさらに詳細な組織に目を向けてみよう。ヒトではないが、ネコの股関

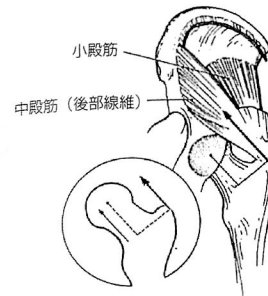


図1：小殿筋と中殿筋後部線維の走行
前顔面では、小殿筋と中殿筋後部線維は大腿骨頸部と平行に走行しており、関節に圧迫力を加える働きがあることが推察される。
(Gottschalk F et al. The functional anatomy of tensor fasciae latae and gluteus medius and minimus. J Anat, 166: 179-189, 1989. より改変引用)

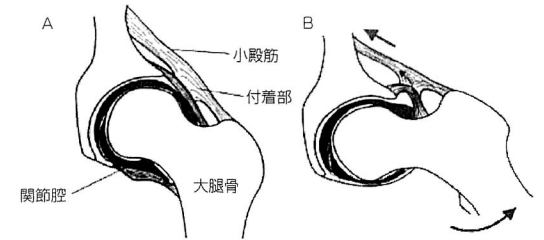


図2：小殿筋と関節包との連続性およびその作用
A：小殿筋の深層線維の一部は関節包と連続性をもっている。
B：股関節外転運動時に小殿筋が収縮すると関節包の緊張が増す。
(Walters J et al. Gluteus minimus: observations on its insertion. J Anat, 198: 239-242, 2001. より改変引用)

節深層筋の組成を分析した報告によると、小殿筋や内・外閉鎖筋、上・下双子筋、大腿方形筋など関節深層筋の多くの筋では、遅筋線維の割合が多いことが示されており、筋によっては、同一の筋においても表層よりも深層でより遅筋線維の割合が高くなっているというから驚きである。著者のRoyらはこの報告で、股関節の深層筋を“ヒップカフマッスル (hip cuff muscles)”と呼んでいる(3)。また、それらの筋では、筋の長さの変化を検知する筋紡錘の分布密度も高いことが報告されており(4)、関節深層筋の役割について“運動学的モニター (kinesiologists)”という言葉が使われている。関節深層筋には、関節の近くに存在することによって、関節の動きを鋭敏に感知するという役割があるのかもしれない。

これまで見てきたように、関節深層筋には、筋としてただ単に力を発揮するだけではなく、いくつかの大切な機能があるようである。普段我々はなかなかその存在に気付いてあげることができないが、今日も関節深層筋は、人目に触れないところで地味に大切な任務を果たしている。
[建内 宏重]

■引用文献

- (1) Gottschalk F et al. The functional anatomy of tensor fasciae latae and gluteus medius and minimus. J Anat, 166: 179-189, 1989.
- (2) Walters J et al. Gluteus minimus: observations on its insertion. J Anat, 198: 239-242, 2001.
- (3) Roy RR et al. Architectural and histochemical properties of cat hip 'cuff' muscles. Acta Anat (Basel), 159: 136-146, 1997.
- (4) Eldred E et al. Spindle representation relative to distribution of muscle fiber types in the cat capsularis muscles. Acta Anat (Basel), 159: 114-126, 1997.

縁の下の力持ち ～骨盤底筋群の構造と役割～

腰痛の予防や正しく美しい姿勢の維持には、いわゆる腹筋や背筋が大事だという話は、すでに一般化されているに等しいだろう。しかし、それらと比較して、骨盤底筋群についてはあまり聞き慣れないかもしれない。四足動物とは異なり、直立二足歩行という特殊な移動形式をとっているヒトにおいては、重力に伴って骨盤内の臓器が垂れ下がってくるのを防ぐための支持構造が必要であり、骨盤底部には頑丈な靭帯や骨格筋が存在している。なかでも最も大きく関与しているのが、骨盤底筋群による下方からの支持力である。

骨盤底部は臓側骨盤隔膜、骨盤隔膜、尿生殖隔膜の三層構造になっている。骨盤隔膜は主に肛門挙筋（恥骨尾骨筋、恥骨直腸筋、腸骨尾骨筋）と尾骨筋、尿生殖隔膜は浅会陰横筋、深会陰横筋、球海綿体筋、坐骨海綿体筋、尿道括約筋で構成されている。これらの筋の総称として骨盤底筋群と呼ばれている。図1のAが健康な人の骨盤底を示していると捉えると分かりやすいだろう。船が骨盤内の臓器、海水が骨盤底筋群を表わしており、海水が満たされていることで船底から上方に向かって浮力が生じている。また船が港内の適切な位置に停留するために船はチェーンでつながれており、これが骨盤内の筋膜や靭帯を表わしている。しかし、Bで示しているように海水が引いてくると浮力が小さくなり、相対的に船の重力が大きくなる。そのため船が沈み込み、船をつないでいるチェーンに頼らざるを得なくなってしまう。妊娠や出産などが契機となって骨盤底筋群が正常に機能しなくなると、骨盤内の臓器が垂れ下がり、周辺の筋膜や靭帯にとって大きな負荷となってしまう状態に似ている(1)。骨盤底筋群の機能不全が生じると、下腹が出てきてしまうだけではなく、さらに悪化すると、腹圧性尿失禁のほか、性器下垂、膀胱瘤、直腸瘤や直腸脱などが引き起こされる危険性が高

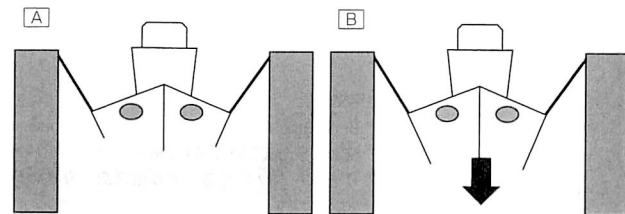


図1：骨盤底の模式図 (Haslam J, Laycock J. Therapeutic management of incontinence and pelvic pain. Springer, 2002.を改変引用)

A：正常な骨盤底

B：骨盤底筋群に機能不全がある場合

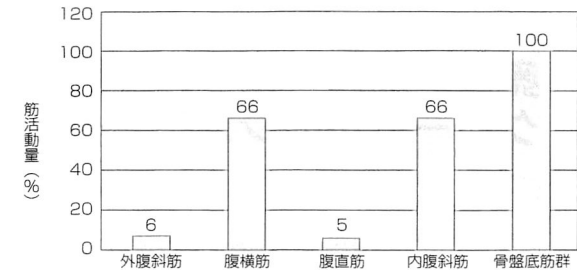


図2：背臥位にて骨盤底筋群を最大収縮させたときの腹筋群の筋活動量 (Neumann P, Gill V. Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 13: 125-132, 2002.より改変引用)
それぞれの筋の最大等尺性収縮を100%とし、正規化した値を示している。

まる。

また骨盤底筋群は、ローカル筋システムに分類される腹横筋や多裂筋に加え、さらに横隔膜とともにユニットを構成しており、これらが協調して円滑に働くことで体幹の安定性が確保されるといわれている(2)。Neumannらの研究では、立位および背臥位において骨盤底筋群を最大に収縮したとき、いずれの肢位においてもローカル筋群に分類される腹横筋および内腹斜筋の筋活動が高まるが、一方でグローバル筋群に分類される外腹斜筋および腹直筋の筋活動は低いと報告されている(図2)。つまり、この結果は、骨盤底筋群の筋活動を伴うことによって腹横筋や内腹斜筋といった腹部のローカル筋群の筋活動がより特異的に高まることを示しているといえるだろう(3)。

骨盤底筋群は下から支え土台を作っている。その構造も役割も、まさに“縁の下の力持ち”そのものである。

[太田 恵]

■引用文献

- (1) Richardson C et al. Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in lower back pain. Churchill Livingstone, 1998.
- (2) Haslam J, Laycock J. Therapeutic management of incontinence and pelvic pain. Springer, 2002.
- (3) Neumann P, Gill V. Pelvic floor and abdominal muscle interaction: EMG activity and intra-abdominal pressure. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct, 13: 125-132, 2002.

奥深い筋肉～ローカル筋システムと グローバル筋システム～

一言に「腹筋」や「背筋」というと、腹直筋や広背筋などを想像しがちかもしれないが、それだけではないということをご存知だろうか。Bergmarkは、脊椎の安定化における主な機械的役割から、腹筋や背筋といった体幹筋群をグローバル筋システムとローカル筋システムに分類している。

グローバル筋システムは、骨盤または胸部の表在にある比較的大きな体幹筋群であり、これには胸部の最長筋、胸部の腸肋筋、腰方形筋の外側線維、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋が含まれている。これらは脊椎の運動の方向性を決定する役割を有しているといわれている。一方、ローカル筋システムは、腰椎に起始または停止している深部の筋で、横突間筋、棘間筋、多裂筋、腰部の最長筋、腰部の腸肋筋、腰方形筋の内側線維、腹横筋、内腹斜筋の胸腰筋膜に付着する線維により成っている。後者は前者と比較してモーメントアームが小さいため、力の発生については不利であるものの、脊椎の分節を制御する機能を有している(1)。図1は脊椎を模式的に表現している。Aは正常な状態を示しており、グローバル筋による支え網およびローカル筋による分節的連結で支持されている。しかしBに示したように、支え網が強くても分節的連結が壊れると脊椎は不安定となる。ローカル筋システムが弱まったり、あるいは反対にグローバル筋システムが強くなり働き過ぎたりすることによって、ローカル筋システムとグローバル筋システムのバランスが崩れてしまうと脊柱は不安定な状態になり、それが腰痛の要因になり得るのである(2)。

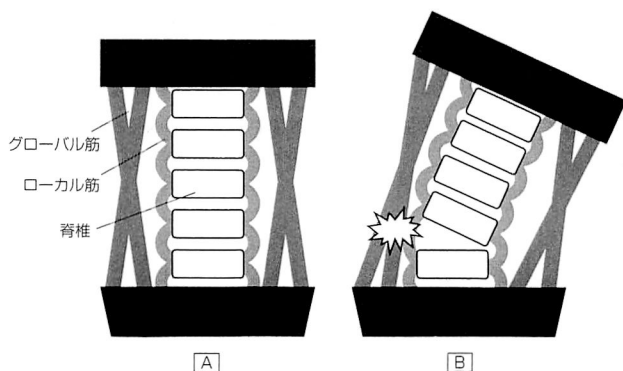


図1：ローカル筋群とグローバル筋群。(リチャードソンC著、斉藤昭彦訳、脊椎の分節的安定性のための運動療法。エンタプライズ、2002。を改変引用)

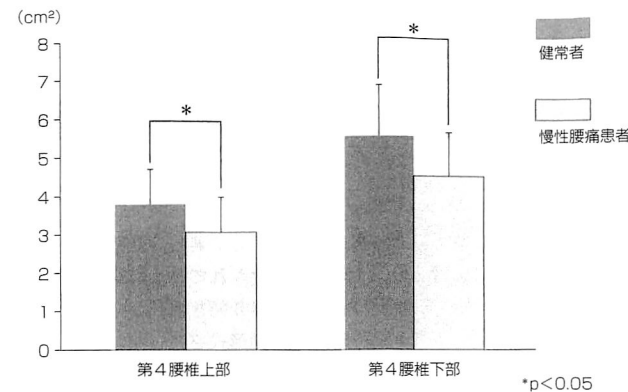


図2：健常者および慢性腰痛患者における多裂筋の筋断面積の比較。(Kamaz M et al. CT measurement of trunk muscle areas in patients with chronic low back pain. Diagn Interv Radiol. 13: 144-148, 2007. より作図)

ローカル筋の中でも特に腹横筋や多裂筋に着目し、その機能不全と腰痛との関連について検討した報告は多い。腹横筋については別項で説明することにして、本項では多裂筋について着目したい。多裂筋は、腰椎骨盤領域に広がる筋で、1個の椎骨から5本の筋束が起り、それぞれ別の神経支配を受けているという特徴を有している。それにより、椎間関節の細かい運動をコントロールし、保護するという重要な役割を担っている。

Kamazらは、コンピューター断層撮影法(CT)を用いて多裂筋の筋断面積を測定し、腰痛が1年以上続いている慢性腰痛患者(平均年齢43.2±6.9歳)と健常者(平均年齢44.4±6.9歳)について比較した(図2)。その結果、第4腰椎の上部および下部において、慢性腰痛患者では健常者よりも多裂筋の筋断面積が有意に小さかったと報告している(3)。これは慢性腰痛患者においては多裂筋に筋萎縮が起きていることを示しており、多裂筋の筋萎縮と腰痛に関連があることがいえるだろう。

割れた腹直筋や張り出した広背筋は逞しく美しい。しかしながら、腹筋も背筋も、目に見える浅い部分だけでなくより深い部分も大事である。案外「奥が深い」といえよう。[太田 恵]

■引用文献

- (1) Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. Acta Orthop Scand Suppl. 230: 1-54, 1989.
- (2) リチャードソン C 著、斉藤昭彦訳。脊椎の分節的安定性のための運動療法。エンタプライズ、2002。
- (3) Kamaz M et al. CT measurement of trunk muscle areas in patients with chronic low back pain. Diagn Interv Radiol. 13: 144-148, 2007.

注目を集める大腰筋 ～大腰筋の機能は万能？～

速く走りたいという願望はだれにでもあるのではないだろうか。世界陸上やオリンピックで活躍した選手の大腰筋の大きさが一般の陸上選手に比べて大きいという報告があり、大腰筋が速く走るための筋肉であるということに注目が集まった。またリハビリテーションの世界においても高齢者に対して盛んに大腰筋のトレーニングが行われ、テレビや雑誌にも大腰筋について数多く取り上げられるようになった。なぜこんなにも大腰筋は注目を集めるのか？はたして本当に万能な筋肉なのか？その機能に迫る。

はじめに大腰筋の特徴として、ヒト特有な走向が挙げられる。ヒトの大腰筋は、その走向が特徴的で、脊柱から起始しており骨盤前面を通り、股関節前方で後方に大きく屈曲する独特な走向を有している。つまり股関節屈曲位の四足動物では、まっすぐのはずの走向が立位になることによりこのような独特な走向になったことが想像できる。またヒトの大腰筋は、霊長類と比べて筋線維の構成が異なり(表)、その機能が異なることを報告されている(1)。つまりそれはヒト独自の機能である立つ、歩く、走るなどの運動機能が影響しているのではないだろうか。

大腰筋の研究の限界として、大腰筋は深部筋でありその研究は難しいとされてきた。しかし、近年、核磁気共鳴画像(MRI)や超音波画像診断装置の導入により深部筋の収縮動態を観察することができるようになり大腰筋のヒト特有の機能との関連性が徐々に明らかにされ始めた。

立位保持に関する研究において、大腰筋は、前方から大腿骨頭を骨盤に押し付け、拮抗作用を持つ殿筋群とともに股関節の安定性に関与している。また脊柱を安定化し直立二足姿勢の維持に関与していると報告されている。また脊柱を安定化し直立二足姿勢の維持に関与していることも明らかにされている(2)。この直立二足姿勢の維持に関して大腰筋には、持久性に優れた遅筋線維など立位保持に有利な性質を持っていることや立位時に大腰筋が持続的に活動しているという報告からも裏付けられる(1)。

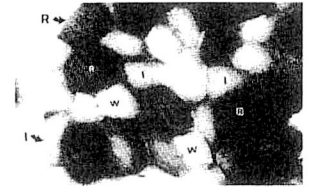
その一方で大腰筋の歩く速さや走る速さとの関連に注目を高めている。若年者の100m走における速さと大腰筋横断面積との関連性や陸上選手は大腰筋の横断面積が大きいことが報告されている(3)。走る動作は、股関節を素早く屈曲させることが重要とされており、大腰筋の股関節を屈曲させる作用は、股関節の伸展による伸張反射を利用することでより素早く屈曲できるのではないかと推測できる。また高齢者における歩行速度にも影響するとされているなど大腰筋の歩行や走行に関する重要な役割が明らかにされている。

立位保持や歩行、走行にも大腰筋は重要な役割を果たしており、その万能な大腰筋の機能が注目を集めている要因の1つであると考えられる。しかしこれらの機能に矛盾や疑問も感じられる。

表：霊長類の大腰筋における筋線維型の割合(木村忠直、解説 数種霊長類における大腰筋の筋線維構築と組織化学的特徴。バイオメカニズム学会誌、24: 141-147, 2000.より引用)

種	性	(固体例数)	100計測点 の筋線維数	赤筋線維 % (数)	中間筋線維 % (数)	白筋線維 % (数)
ヒト	♀	(4)	1,136.0	43.2 (498)	23.8 (265)	32.7 (373)
	♂	(13)	970.0	42.7 (404)	25.4 (247)	32.9 (319)
オランウータン	♀	(1)	519.0	29.3 (152)	22.7 (118)	48.0 (249)
	♂	(1)	341.0	26.4 (90)	21.4 (73)	52.2 (178)
ニホンザル	♀	(1)	370.0	28.9 (107)	26.8 (99)	44.3 (164)
	♂	(1)	221.0	34.8 (77)	24.9 (55)	40.3 (89)
アヌビスヒビ	♂	(1)	481.0	32.9 (158)	27.4 (132)	39.7 (191)
	♂	(1)	533.0	33.4 (178)	27.0 (144)	39.6 (211)
ハマドラスヒビ	♂	(1)	480.0	32.1 (154)	26.0 (125)	41.9 (201)
	♂	(1)	401.0	32.9 (132)	25.7 (103)	41.4 (166)

ヒトと霊長類の大腰筋との比較を行い、ヒトの大腰筋には、持久力を発揮するタイプI型の赤筋線維(遅筋線維)の割合が高く、オランウータンやヒビなどでは瞬発力を発揮するタイプII型の白筋線維(速筋線維)が高いことを示している。



図：ヒトの大腰筋における筋線維の大きさ。ヒトの大腰筋では、速筋線維(W)に比べて遅筋線維(R)が太い筋線維を持つことが示されている。(木村忠直、解説 数種霊長類における大腰筋の筋線維構築と組織化学的特徴。バイオメカニズム学会誌、24: 141-147, 2000.より引用)

一般的に立位保持に関しては、マラソンなどに使用するとされている「遅筋線維」が関与している。逆に走行においては、一瞬のパワーを発揮できる「速筋線維」が重要な役割を果たしており、大腰筋の上記の機能は一見矛盾しているようにみえる。この矛盾に関して、一般的に上肢などでは、速筋線維は遅筋線維より筋線維が太い。しかしヒトの大腰筋の遅筋線維は、速筋線維より太い筋線維を持っている(図)。つまり筋の断面積が力発揮と相関関係を示すことから、大腰筋が力発揮にも優れていることが報告(1)されている。このことは、大腰筋が持久性を必要とする立位保持に関与するだけでなく、パワーや瞬発力を必要とする走行においても重要な役割を果たしていることを示唆している。

このように大腰筋は、多様な機能を持ち合わせている筋肉であり、そしてそのトレーニングが盛んに行われているが、まだまだ未知な部分は多く、今後更なる研究が必要な筋肉である。

[曾田 直樹]

■引用文献

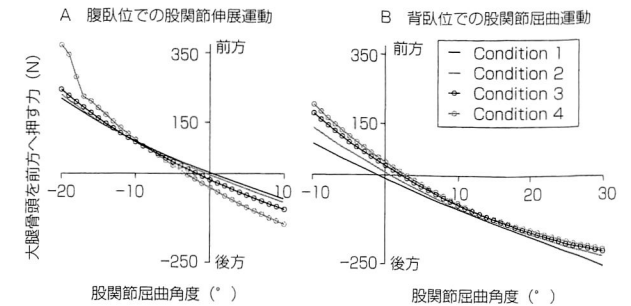
- (1) 木村忠直、解説 数種霊長類における大腰筋の筋線維構築と組織化学的特徴。バイオメカニズム学会誌、24: 141-147, 2000.
- (2) Yoshio M et al. The function of the psoas major muscle: passive kinetics and morphological studies using donated cadavers. J Orthop Sci. 7: 199-207, 2002.
- (3) 久野謙也、解説 大腰筋の筋横断面積と疾走能力及び歩行能力との関係。バイオメカニズム学会誌、24: 148-152, 2000.

なぜ筋バランスが重要なのか？

よくこの筋力で歩いているな。臨床において、時々感じることである。明らかに筋力は正常レベルより低下しているものの、杖もつかずにすたすたと歩行できてしまう人を見ることが少なくない。全体としては決して力は強くないが、かといって極端にある特定の筋の力だけが低下しているということもない印象である。この現象を考えると、「筋バランス」というキーワードが浮かんでくる。

そもそも「バランス」という言葉は、つりあい、均衡を意味するものであり、バランスという言葉が持ち出される場合には2つ以上のものの相互関係を論じていると考えてよい。したがって、筋バランスという場合には、明らかに2つ以上の筋の相互関係を意味していると捉えることができる。では、2つ以上の筋とは具体的にどういった筋の組み合わせを指すのであろうか。1つの関節運動について考えてみると、筋バランスは、1) 共同筋群における筋バランス、2) 主動筋と拮抗筋との筋バランス、3) 固定筋と主動筋との筋バランス、の3つに分類することが可能であろうと考えている(1)。

ここでは、特に1)の共同筋における筋バランスについて、2007年に発表されたLewis CLらの興味深い論文を基にさらに詳しくみてみよう。彼らは、任意に筋の特性や出力を調整することができる筋骨格モデルを用いることで、ある特定の筋の出力を増減させた場合に関節の動きがどのように影響を受け、またその時に、共同筋がどのような代償作用を示すかということについて詳細な解析を行っている(2)。彼らが対象としたのは、股関節の伸展運動あるいは屈曲運動という単関節運動であり、伸展運動については大殿筋の、屈曲運動については腸腰筋の出力を任意に変化させて解析を行っている。図Aは、股関節伸展運動時に大殿筋の出力を正常の状態(100%)から5%まで段階的に低下させたときに、大腿骨頭に加わる前後方向への力が、関節角度の違いによってどのように変化するかを示している。結果をみると、大殿筋の出力の低下に伴い、大腿骨頭を前方へ押す力が股関節伸展域において増大することがわかる。同様に図Bは、股関節屈曲運動時に腸腰筋の出力を変化させた場合の結果である。この場合、腸腰筋の出力低下に伴い、大腿骨頭を前方へ押す力が増大しており、特に股関節伸展域において顕著である。また、それと同時に、伸展・屈曲時にそれぞれ大殿筋と腸腰筋の出力が低下すると代償的に他の筋の出力が増加する。屈曲運動については、長内転筋、大腿筋膜張筋、縫工筋の出力が増加し、伸展運動については、半膜様筋、大腿筋膜張筋、縫工筋の出力が増加することが示されている。しかしなぜ、単に1つの筋の出力が低下しただけで、これほど多くの筋が出力を増加させなければならないのだろうか。その原因は、筋が有する3次元的な作用にある。例えば屈曲運動時には、腸腰筋の出力低下を代償するために大腿筋膜張筋や縫工筋が作用する。これ



図：股関節伸展・屈曲運動における大殿筋と腸腰筋の出力変化と大腿骨頭を前方へ押す力の変化
出力について：Condition 1：100%、Condition 2：50%、Condition 3：25%、Condition 4：5%（正常な状態を100%）
伸展運動（A）屈曲運動（B）ともに、それぞれ大殿筋と腸腰筋の出力の低下に伴い、特に股関節伸展域にて大腿骨頭を前方へ押す力が増大している。
(Lewis CL et al. Anterior hip joint force increases with hip extension, decreased gluteal force, or decreased iliopsoas force. J Biomech, 40: 3725-3731, 2007.より改変引用)

らの筋は屈曲作用とともに大きな外転作用を有する。したがって、矢状面での屈曲運動を遂行するためには、その余分な外転作用を打ち消すために内転作用を有する長内転筋が作用しなければならなくなる。代償的に作用する筋の中でも、屈曲については長内転筋が、伸展については半膜様筋が、大腿骨頭を前方へ押す力に最も強く影響を与えていることも示されている。

このように、筋バランスが崩れることによって、関節への異常なストレスが増大するとともに、代償的に多くの筋が運動に参加しなければならず、運動の効率も低下する。このことが延いては、関節の傷害、あるいは筋の過使用から生じる痛みへとつながってしまうと考えられる。皮肉にも、筋のトレーニングによって筋バランスを崩してしまい、かえってパフォーマンスが低下することもある。他者と比べての優劣よりも、己の中でうまくバランスを保っていることのほうが、一固体にとっては重要であるのかもしれない。[建内 宏重]

■引用文献

- 1) 建内宏重. 股関節の病態運動学と理学療法II—関節運動・動作の捉え方—. 理学療法, 24: 474-482, 2007.
- 2) Lewis CL et al. Anterior hip joint force increases with hip extension, decreased gluteal force, or decreased iliopsoas force. J Biomech, 40: 3725-3731, 2007.

思うように力が発揮できない ～筋力発揮時の同時筋活動～

さあ、今日から始めよう！と新しいことに挑戦した日のことを思い出してみよう。テニス、ピアノ、書道…何でもいい。その時、「鍵盤上の指がごちない」など、本当はもっと柔らかに動かしたいのに、関節の動きが硬くて思うように動かせなかったという経験がなかったらどうか？関節を思うように動かせなかった原因の1つに、動かしたい方向（主動筋）と反対側にある筋肉（拮抗筋）の力が不必要な時に入ってしまったことが考えられる。主動筋と拮抗筋が同時に活動すると、関節の滑らかな動きが妨げられる。このように、主動筋と拮抗筋が同時に働くことを同時筋活動という。例えば、腕を曲げる（肘関節屈曲運動）時に、上腕二頭筋（主動筋）だけでなく上腕三頭筋（拮抗筋）も同時に働いてしまうような現象である。テニス選手と一般男性が様々な速度で肘を曲げた（等速性肘関節屈曲運動）場合、テニス選手の方が一般男性と比較して上腕三頭筋（拮抗筋）の筋活動が少ないことが報告(1)されている(図1)。テニス選手のようにラケットを振るのが上手い人は、肘関節の制御が優れており、肘関節周囲の同時筋活動が生じにくかったのである。このように、働いてほしくない局面では、同時筋活動を生じさせないことが好ましいと考えられる。では、働いてほしい局面はいつだろうか？

ある高さの台から跳び降りた後すぐに最大跳躍するトレーニング（ドロップジャンプ）がある。このドロップジャンプを走り幅跳び選手が行った場合、着地直前に、大腿直筋と大腿二頭筋の同時筋活動が高まることを報告(2)されている(図2)。着地直前であるから、同時筋活動が高まるようにあらかじめ上位中枢運動プログラムに組

図1：等速性肘関節屈曲運動時の上腕三頭筋（拮抗筋）の筋活動量

様々な速度（角速度0-240°）で肘を曲げた場合の上腕三頭筋の筋活動（角速度15°で遠心性収縮を行った時に生じた筋活動を100%として表示）を示している。どの速度でも、テニス選手の方が上腕三頭筋の筋活動が少なく、肘関節周囲の同時筋活動が生じにくいことを示している。

(Bazzucchi I et al. Tennis players show a lower coactivation of the elbow antagonist muscles during isokinetic exercises. J Electromyogr Kinesiol. 18: 752-759, 2008.を改変引用)

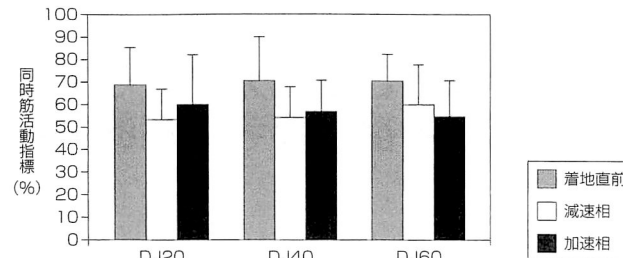
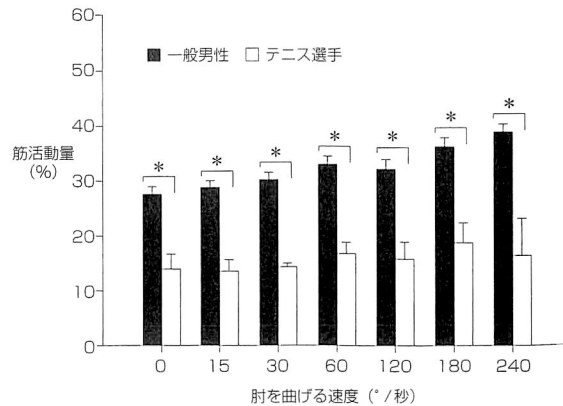


図2：ドロップジャンプ時の同時筋活動指標
DJ20：20cm台からのドロップジャンプ
DJ40：40cm台からのドロップジャンプ
DJ60：60cm台からのドロップジャンプ
同時筋活動指標（%）：大きいほど、同時筋活動が高まっていることを示す。様々な高さの台を利用したドロップジャンプにおける、着地直前・減速相・加速相の大腿直筋と大腿二頭筋の同時筋活動指標を示している。どのドロップジャンプでも、着地直前に同時筋活動が高まることを示している。(Kellis E et al. Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-contraction index. J Electromyogr Kinesiol. 13: 229-238, 2003.を改変引用)

み込まれていたと考えられる。台から跳び降りた場合、膝蓋大腿関節に体重の24倍もの力がかかるといわれていることから、着地時の一瞬で大きな力が膝関節にかかると思像できよう。その時に膝関節が不安定では怪我をしそうである。そこで、着地直前に膝関節周囲筋の同時筋活動を高めて膝関節を安定させ、着地時に膝関節が損傷しないように備えたのである。このように、同時筋活動は関節を安定させるのに役に立つ。そのため、台からの着地や歩行の支持期といった関節を安定させたい局面では、同時筋活動を高めることが好ましいと考えられる。

滑らかに関節を動かしたい時には同時筋活動が生じないように、関節を安定させた時には同時筋活動を高めて…と、あまり深く考えるとかえって動きがごちなくなりそうである。やはり熟練には経験の積み重ね、すなわち反復練習が大切である。本文は、動作を効率よく獲得するために、運動学習の過程で行き詰ったら参考にして頂ければ幸いである。
[佐久間 香]

■参考図書

松村道一ほか編著. 脳百話一動きの仕組みを解き明かす一. 市村出版, 2003.

■引用文献

- (1) Bazzucchi I et al. Tennis players show a lower coactivation of the elbow antagonist muscles during isokinetic exercises. J Electromyogr Kinesiol. 18: 752-759, 2008.
- (2) Kellis E et al. Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-contraction index. J Electromyogr Kinesiol. 13: 229-238, 2003.

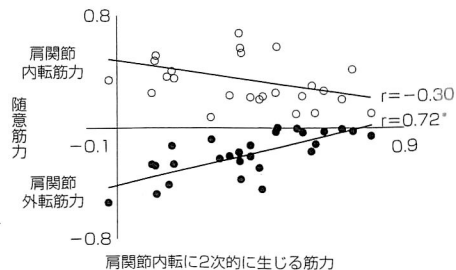
意外なところに力が入ってしまう ～脳卒中後遺症者の病的共同運動～

目の前に、しっかりと固定された机があったら、机の下に腕を入れて机を持ち上げようと肘に（肘関節屈曲方向に）3秒ほど思いっきり力を入れてみよう。そして…、手や肩の周りの筋肉にも力が入らなかったらどうか？机が固定されていなかったら、肘が曲がるだけでなく、手や肩も一緒に動いてしまっているはずである。このような、ある関節を動かそうと力を入れた時に、その関節だけでなく他の関節も一緒に動いてしまうという特徴を持つ運動は、病的共同運動と呼ばれ、脳卒中後遺症者で顕著に観察される。例えば、目の前でまっすぐ手を挙げようとする（肩関節屈曲運動）と、健康な人では難なくまっすぐ手が挙がるのに、脳卒中後遺症者では脇が大きく開いた形で持ち上がってしまう（肩関節外転、外旋、肘関節屈曲、前腕回外、手関節掌屈、手指屈曲運動が伴う）。脳卒中後遺症者の動きが健康な人と違うように見えるのは、病的共同運動が影響していると考えられる。

Dewaldら（1）は、この病的共同運動を定量化するため、ある関節に力を入れた時（随意筋力発揮時）に他の関節に2次的に生じる筋力を測定した。例えば、肘関節を思いっきり曲げ（最大等尺性肘関節屈曲運動）させ、肩関節に生じる力を測定した。その結果、健康な人も脳卒中後遺症者も、随意筋力の発揮方向と2次的に生じる筋力の方向に規則があることがわかった。この規則は健康者と脳卒中後遺症者で同じものもあれば、異なるものもあった。例えば、健康者と脳卒中後遺症者ともに、思いっきり脇を広げる（肩関節外転）方向に力を入れると、肘が曲がり（肘関節屈曲）、掌が前を向く（肩関節外旋）方向に力が入った。一方、健康者では腕が前方に持ちあがる（肩関節屈曲）方向にも力が入ったのに対し、脳卒中後遺症者では後方に持ちあがる（肩関節伸展）方向に力が入った。また、脳卒中後遺症者は、麻痺側随意筋力が非麻痺側随意筋力と比較して弱く、2次的に生じる筋力が出現しやすいこともわかった。随意筋力が弱いために、2次的に生じる筋力が生じやすいのかもしれない。

図：2次的に生じる筋力とその力に拮抗する筋力との関係
他の関節に力を入れた際に2次的に出現した肩関節内転筋力（最も大きく出たものを採用）と随意肩関節外転筋力（拮抗筋力：●）、随意肩関節内転筋力（主動筋力：○）との関係。随意肩関節外転筋力が弱い人ほど、2次的に生じる肩関節内転筋力が大きいことを示している。

(Lum PS et al. Evidence for strength imbalances as a significant contributor to abnormal synergies in hemiparetic subjects. Muscle Nerve. 27: 211-221, 2003.を改変引用)



脳卒中後遺症者で異なる規則があったり2次的に生じる筋力が大きかったりする理由は他にないだろうか？この疑問に立ち向かうべく、Lumら（2）は2次的に生じる筋力とその力に拮抗する筋力（拮抗筋力）との関係を調べた。例えば、随意肩関節内旋筋力発揮時に肩関節内転筋力が最も2次的に出現しやすかったとすると、随意肩関節内旋筋力発揮時に2次的に出現した肩関節内転筋力と随意肩関節外転筋力との関係を調べたわけである。その結果、肩関節外転筋力が弱い人ほど2次的に肩関節内転筋力が出現しやすいことが示された（図）。

脳卒中後遺症者で病的共同運動と呼ばれる特有の運動パターンが目立つのは筋力が低下しているからかもしれない。そうだとすれば病的共同運動が目立つからといって気に病むことはなさそうである。脳卒中後遺症者では、随意運動の司令塔である脳が損傷されるため、筋力の発揮が困難となっている。しかし、脳卒中後遺症者においても、筋力トレーニングを行うことで筋力は向上する。適度な筋力トレーニングを行うことは、身体を動かしやすくして、楽しみを増やしてくれることだろう。

【佐久間 香】

■参考図書

市橋則明編. 運動療法学. 文光堂, 2008.

■引用文献

- (1) Dewald JP, Beer RF. Abnormal joint torque patterns in the paretic upper limb of subjects with hemiparesis. Muscle Nerve, 24: 273-283, 2001.
- (2) Lum PS et al. Evidence for strength imbalances as a significant contributor to abnormal synergies in hemiparetic subjects. Muscle Nerve, 27: 211-221, 2003.

まずは体幹の固定が大事！

近年、健康指向が高まる中、ピラティスやコアリズムといった、体幹を鍛え、しなやかな動きを獲得するトレーニングが一般的にも広まり、体幹筋の重要性が認知されてきている。しかし、一言に体幹筋といえども、さまざまな筋肉が存在する。実際の運動時には、体幹筋はどのように活動しているのか？また腰痛などの体幹の傷害を抱えている人では、体幹筋の活動にどのような変化がみられるのだろうか？ここでは、筋肉が活動する順序に焦点を絞って、体幹筋の働きについて少し触れてみたい。

体幹には、脊柱を安定させるために様々な筋肉が付着している。体幹の浅層もしくは脊柱から遠い位置に存在する筋肉はグローバル筋と呼ばれ、体幹の深層もしくは傍脊柱に存在する筋肉はローカル筋と分類される。これらグローバル筋とローカル筋についての解剖学的特徴の詳細については他項を参照していただきたい。

実は、これら体幹筋は、単に体幹を動かす時だけでなく、四肢の運動の際にも活動が生じる。肩を屈曲運動させる時の体幹筋の活動を例にとってみることにしよう。肩関節を屈曲させるための代表的な筋肉は三角筋である。三角筋が収縮することで上肢は挙上され、肩関節の屈曲が生じる。Hodgesら (1) は三角筋と体幹筋に電極を挿入し、立った状態からすばやく肩を屈曲させた時の筋活動を調べた。すると、主動作筋である三角筋よりも腹横筋の方が約30ミリ秒先行して活動していた (図1)。これは、中枢神経レベルで腹横筋がフィードフォワード制御され、脊柱安定性に寄与していることを示唆している。この腹横筋のフィードフォワード制御は、上肢の運動の方向には関係なく発生する。また、この現象は上肢の運動時だけでなく、下肢の運動時でもみられるとされている。腹横筋は腹部前面を横方向に走行する筋肉であり、収縮すると腹部を引き締め、コルセットに似た役割を果たす。逆にいうと、脊柱の大きな運動

図1：肩関節屈曲、外転、伸展時の三角筋、腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋、多裂筋の筋電図波形。三角筋の筋活動開始時期は実線、腹横筋の筋活動開始時期は波線で示してある。腹横筋の筋活動開始時期が、肩関節の運動方向に関係なく三角筋に先行していることが分かる。(Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. Exp Brain Res. 114: 362-370. 1997. より改変引用)

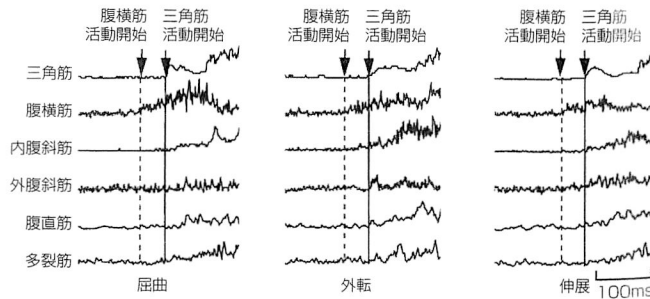
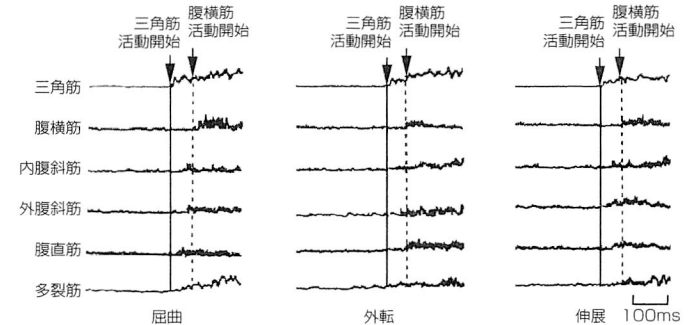


図2：腰痛既往者の肩関節屈曲、外転、伸展時の三角筋、腹横筋、内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋、多裂筋の筋電図波形。三角筋の筋活動開始時期は実線、腹横筋の筋活動開始時期は波線で示してある。腹横筋の筋活動開始時期が、三角筋の活動開始よりも遅延していることが分かる。(Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. Spine, 21: 2640-2645. 1996. より改変引用)



を生じさせるような機能は備わっていない。腹横筋が先行して活動することで、腹腔の内圧を高め、また背面の筋膜を緊張させて、脊柱が安定する環境をあらかじめ作っている。四肢が動く前に、体幹を固定することが大事ということである。

では、腰痛経験がある人ではどうなっているだろう。興味深いことに、腰痛の既往がある人では、四肢と体幹筋の筋活動開始のタイミングが少し異なってくる。先程と同様の方法で、過去に重度の腰痛経験がある被験者を対象として、肩関節運動時の体幹筋の活動を見てみる。すると、健康者では主動作筋である三角筋よりも腹横筋が先行して活動していたのに対して、腰痛既往者では腹横筋の収縮が遅延していたのである (2) (図2)。これは、体幹固定のフィードフォワードがうまく機能せず、中枢神経系レベルでの変化が生じていることを表している。これらの筋活動開始時期の変化のメカニズムは、運動制御パターンの変化や、運動ニューロンの伝導速度の低下などが考えられているが、未だ統一した見解は得られていない。

日常生活においては、物を持ち上げたり、動き始めたりする時、そしてスポーツ場面においては、ボールや相手選手とのコンタクトの瞬間など、体幹には少なからず衝撃が加わる。予め体幹を固定できる機構が備わっていることで、これらの体幹への衝撃を抑えることが可能となっているのである。収縮開始時間がわずかに数十ミリ秒早いのか、それとも遅いのか、これが腰痛に悩まされるか否かの分かれ道なのかもしれない。

[永井 宏達]

■参考図書

リチャードソン C 著、斉藤昭彦訳、脊椎の分節的安定性のための運動療法。エンタプライズ、2002。

■引用文献

- (1) Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. Exp Brain Res. 114: 362-370. 1997.
- (2) Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. Spine, 21: 2640-2650. 1996.

筋力発揮はスピード勝負？

ボーっと考え事をしながら歩いていると、ちょっとした段差を踏み外したり、小石につまずいたりしてバランスを崩して転びそうになることがある。このような場合、若年者では完全に転んでしまうことはほとんどなく、とっさに手や足を出して体勢を立て直し転倒を防ぐことができる（酔っ払っているときは別として…）。しかし、高齢者や脳卒中片麻痺者ではこのようなとっさの運動が難しく、とすればそのまま転んでしまう。ではなぜ、彼らはバランスの崩れに対応しきれず転んでしまうのだろうか。姿勢の崩れに対する認知の問題や反応時間の問題も多分にあるが、瞬発的な運動のスピードにも問題があると考えられている。また、様々なスポーツの場面でも筋力発揮のスピードはパフォーマンスにおける重要な要素である。

私たちが筋力を発揮しようとするとき、筋線維は一斉にその全てが動くのではなく、要求された運動を行うに足る筋出力が得られるまで、活動する運動単位の数徐々に増加していく。運動単位とは1つのα運動ニューロンとそれに支配される筋線維のことであり、運動単位によって筋線維数や筋線維のタイプが異なる。筋力を発揮する際、通常は遅筋線維で構成されるS型（slow）の運動単位から動員が始まり、筋出力要求に伴って速筋線維で構成されるFR型（fast fatigue-resistant）、FF型（fast fatiguable）の運動単位が順次動員される。これは「サイズの原理」と呼ばれるものである。さらに、動員した運動単位の活動頻度を増加して筋出力を高めるという調節もなされるため、最大筋力の発揮には数百ミリ秒の時間を要するのである。この動員の速さが筋力発揮すなわち運動のスピードの一翼を担っており、筋力の増加スピードのことをRFD（Rate of Force Development：筋力増加率）という。RFDは最大努力での筋力

図1：年代別の膝関節伸張RFD。若年者に比べて、中年者および高齢者のRFDは低下している。（Pääsuke M et al. Age-related differences in knee extension rate of isometric force development and vertical jumping performance in women. J Sports Med Phys Fitness, 43: 453-458, 2003.を改変引用）

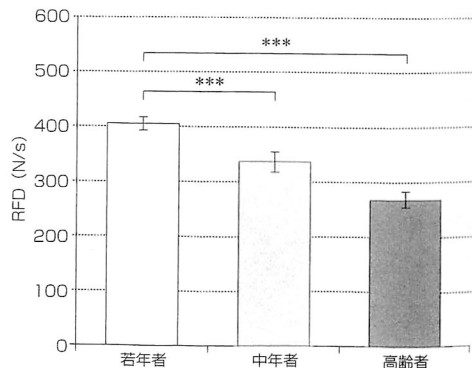
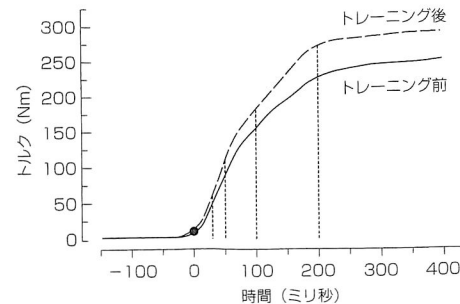


図2：筋力トレーニングによるトルク-時間カーブの変化。トレーニング後では、トルク発揮時から200ミリ秒までのトルク-時間カーブが急勾配であり、RFDの増加を示している。（Aagaard P et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. J Appl Physiol, 93: 1318-1326, 2002.を改変引用）



発揮開始から増加途中の数十～数百ミリ秒時点での筋力値を時間で除して算出する。年代別のRFDを調べた研究によると、RFDは若年者から中年者、高齢者へと低下する傾向にあり、高齢者は筋力発揮に時間がかかることが示されている（図1）(1)。また、RFDは高齢者だけではなく、関節疾患を患った場合や長期の臥床によっても低下するとされており、RFDは身体状態の悪化によって容易に低下することも示されている。しかし一方では、トレーニングによってRFDを高めることが可能である。若年者を対象として14週間の高負荷トレーニングを行った結果、図2に示すようにトレーニング後にはトルク-時間カーブがトレーニング前に比べてより急傾斜になり、RFDの改善が示されている。また、高齢者に関する研究では60歳代と80歳代のグループに12週間の筋力トレーニングを行い、最大筋力とRFDは60歳代のグループで21%および18%の増加、80歳代では28%および51%もの増加が見られたと報告されている（3）。80歳代のほうが60歳代に比べてRFDの増加が顕著であるが、これは日常生活での活動度が低いために潜在化していた神経性因子がトレーニングによって強く賦活されたためと考えられている。神経性因子はトレーニングの初期の筋力増加に大きく関与し、筋肥大よりも先に適応的変化が起こりやすいとされている。

筋は車に例えるとエンジンのようなもの。エンジン性能が良く馬力の大きいスポーツカーは数秒で時速100km/hまで加速することができるが、何万キロも走行したような古い車ではそうはいかない。私たちの身体では、弱ったからといって良質なエンジンに交換することはできないが、日頃から身体の整備を怠らず、高い回転数を保っていることでとっさの出来事に素早く対応できるかもしれない。 [塚越 累]

引用文献

- (1) Pääsuke M et al. Age-related differences in knee extension rate of isometric force development and vertical jumping performance in women. J Sports Med Phys Fitness, 43: 453-458, 2003.
- (2) Aagaard P et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. J Appl Physiol, 93: 1318-1326, 2002.
- (3) Caserotti P et al. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. Scand J Med Sci Sports, 18: 773-782, 2008.

筋力をつけたい～その前に……～

筋力トレーニングは、アスリートのトレーニングや運動器障害のリハビリテーションにおいて、主要な位置を占めている。古くから、筋力トレーニングの適切な負荷量、方法やその効果について多くの報告がなされてきた。一方、姿勢安定性向上や関節障害予防のためのリハビリテーション手段としてバランストレーニングが用いられており、その内容としては、軟らかいマットや不安定板上での立位姿勢制御などが行われている。これらの筋力トレーニングやバランストレーニングは、単一行うのではなく組み合わせて行うことで、よりその効果が得られやすいことが知られている。筋力増強のためには筋力トレーニングが行われるが、筋力トレーニングにバランストレーニングを加えることで、より筋力増強が得られやすくなる。これには、バランストレーニングが神経筋機能に与える陽性効果が関連している。

筋力発揮には、神経性因子（大脳の興奮水準、拮抗筋の筋活動）や筋の形態的特徴（筋断面積や筋線維長、筋羽状角）などが関わっている（1）。神経性因子の指標としては、筋電図により計測した筋活動や、固有筋力指数（筋力値を筋断面積で除した値）の他、筋力増加率（Rate of Force Development, RFD）が使用されている。RFDは神経筋機能の質的な指標であり、筋力発揮開始から最大筋力に達するまでの速さ（ Δ 筋力/ Δ 時間）により規定される。高いRFDは瞬発的な四肢の運動が可能であることを示し、関節安定性のために重要と考えられている。バランストレーニングを行うことにより、特にこのRFDの向上や筋力発揮初期の筋活動向上が得られると報告されており（2）、バランストレーニングは瞬発的な神経筋活動を向上させる効果があることが示されている。冒頭で述べた、バランストレーニングが関節障害予防に有効であるという知見は、ここに起因している。

筋力発揮の神経性因子には中枢神経の興奮のみでなく末梢の感覚運動機構も関連しており、感覚入力が高まることで、運動ニューロンの興奮性がより促進される。バランストレーニングは神経筋システムに対する感覚入力増加をより効果的に高めることが考えられ、筋力トレーニングとバランストレーニングの双方を実施することで、感覚運動機構の効率はさらに高まることは容易に推察される。それでは、これらのトレーニングを行う際、どのような順序で行えば良いのだろうか？

Bruhnら（3）は、健康成人を対象とし、高負荷筋力増強トレーニング（high-intensity strength training, HST）とバランストレーニング（感覚運動トレーニング：sensorimotor training, SMT）の組み合わせの効果について調べている。最初に4週間のHSTを行い、次に4週間のSMTを行った群（HST-SMT群）と、最初にSMT、次にHSTを行った群（SMT-HST群）の、最大脚筋力とRFDについて比較した。その結果、最初4週のトレーニング後には両群ともに筋力、RFDが増加した。しかし次の4週

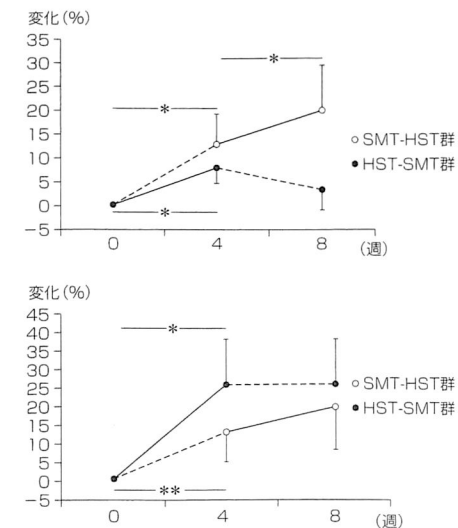


図 上は脚伸筋力、下はRFDの推移 (Bruhn S et al. Combinatory effects of high-strength training and sensorimotor training on muscle strength. Int J Sports Med. 27: 401-406, 2006.より改変引用)

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$

トレーニング後には、SMT-HST群では筋力、RFDともに増加したものの、HST-SMT群では筋力は低下し、RFDは変化がなかった。結局、合計8週間のトレーニング後には、RFDは両群で同程度であったが、筋力はHST-SMT群よりもSMT-HST群の方が大きい向上を示した（図）。

筋力トレーニングとバランストレーニングを組み合わせるトレーニングを行う場合、バランストレーニングを先に実施することが推奨される。バランストレーニングは筋力トレーニングのためのコンディショニングを整える効果を有していると推察される。特に低いレベルのパフォーマンスから開始する場合、バランストレーニングは筋力トレーニングのための準備として利用できるかもしれない。成長期やスポーツ外傷の急性期におけるリハビリテーションでは、高負荷がかけられないケースが多い。このような場合、低負荷で行えるバランストレーニングの有効性は大きいだろう。

筋力をつけたい—そんな時はそう焦らず、まずは自分のバランス感覚に目を向けてみよう。

【福元 喜啓】

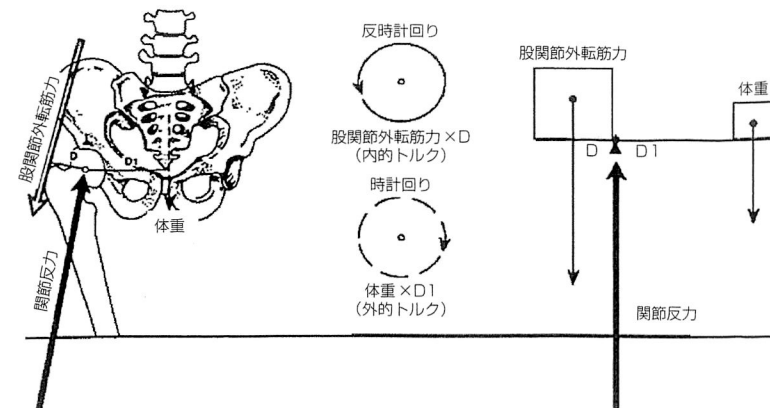
引用文献

- (1) 市橋則明, 池添冬芽. 筋力増強のメカニズム. 理学療法, 21: 468-475, 2004.
- (2) Gruber M, Gollhofer A. Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. Eur J Appl Physiol. 92: 98-105, 2004.
- (3) Bruhn S et al. Combinatory effects of high-strength training and sensorimotor training on muscle strength. Int J Sports Med. 27: 401-406, 2006.

関節を思いやろう～関節にかかる負荷～

ゆっくりと歩いてショッピングを楽しむ、会議に遅刻しそうなので必死に走る、山寺に参拝するために坂道や石段を息を弾ませて昇るなど、私たちは日常生活の中で様々な運動を行っている。このような身体運動は股関節や足関節といった身体の各部位に存在する関節の運動の結果として現れている。関節の表面は関節軟骨で覆われ、その隙間は滑液によって満たされている。そのため、骨同士の摩擦係数は約0.01と非常に低く、この低摩擦のおかげで私たちは滑らかに動くことができるのである。ところが、関節への大きな外力や度重なる負荷などによってこのような関節構造が傷害されると、関節には炎症や変性が生じてしまう。関節が変形する疾患である変形性関節症の多くは股関節や膝関節といった下肢の関節に発生するが、これは下肢の関節が常に大きなストレスにさらされていることが原因の1つとされている。

それでは、日常的な動作で関節にかかる負荷はどのくらいだろうか。歩行時の股関節を例として考えてみよう。歩行は左右の片脚立ちの連続動作として捉えることができるので、単純化するために体重60kgの人が片脚立ちしているときに股関節にかかる負荷を計算してみる。頭部と体幹と上肢を合わせた重量を体重の60%、片方の下肢を20%とした場合、一見すると立脚側の股関節には $60\text{kg} \times 0.8 = 48\text{kg}$ の負荷がかかると考えてしまいがちである。しかし、物事はそう単純ではない。片脚立ちをしているときの股関節には、体重のほかに身体の平衡を保つための筋力（股関節外転筋；脚を開く筋）が作用しているため、より大きな負荷がかかる。図は右脚での片脚立ちを正面からみた簡単なモデルである。このモデルから計算すると、股関節には144kgと体重の2倍以上もの負荷がかかっていることが分かる。片脚立ちは静止した状態だが、実際の歩行では大腿骨頭に対して骨盤の加速度が作用するため関節反力はさらに大きくなる。また、手荷物を左右どちらに上げるかによっても関節反力は大きく変わってくる。5kgの荷物を右手立脚側に掲げた場合、図のモデルで荷物と関節中心との距離を10cmとすると、荷物の重さは反時計回りのトルクを生じて股関節外転筋力を補助するように作用するので、右股関節への関節反力は計算上手ぶらよりも低い136.5kgとなる。逆に左手遊脚側に掲げた場合には、関節中心と荷物との距離を35cmとすると、今度は時計回りのトルクを生じて股関節外転筋に更なる筋力発揮を要求するので、関節反力は193kgもの大きな値となる。このように、身体の外部から作用する力によっても関節内の負担は大きく増減するのである。股関節への負荷を計算によって求める方法(1)以外に、生体内で直接測定する方法(2)も行われている。strain gauge（歪み計）を組み込んだ人工股関節を用いた研究から、歩行時の関節反力は体重の2.5～3倍、ジョギングやジャンプでは6～7倍に達するとされている。さらに、椅子からの立ち上がりや階段では体重の10倍以上の力が発生する。これは



図：右片脚立ち時における正面の力の釣合い (Neumann DA. Biomechanical analysis of selected principles of hip joint protection. Arthritis Care Res. 2: 146-155, 1989.を改変引用)

反時計回りのトルク(実線)は股関節外転筋の力とモーメントアーム(D)の積である。時計回りのトルク(破線)は体重とモーメントアーム(D1)の積である。股関節を支点として両者は釣合っているので〔股関節外転筋力×D=体重×D1〕となる。また、関節反力は股関節外転筋の力と体重との合力なので、〔関節反力=股関節外転筋力+体重〕と表せる。右図のシーソーモデルは片脚立ち時の力学的事象を簡素化したものである。簡潔にするため全ての力ベクトルは垂直方向と仮定した。上記の2式から股関節への関節反力が算出される。

例：D=4cm, D1=8cm, 総体重(BW)=60kgの場合。

$$\text{股関節外転筋力} \times D = (0.8 \text{ 体重}) \times D1$$

$$\text{股関節外転筋力} = 48\text{kg} \times 8\text{cm} / 4\text{cm} = 96\text{kg}$$

$$\text{関節反力} = \text{股関節外転筋力} + \text{体重} = 96\text{kg} + 48\text{kg} = 144\text{kg}$$

*右下肢の重さ(体重の20%)を除外

体重60kgの人であれば、瞬間的にはあるものの600kgもの負荷がかかることであり、如何に関節への負担が大きいか分かるだろう。そのため、関節にとっては1kg、2kgの減量が大きな助けとなるのである。

ある程度の年齢になると、多くの人が関節の痛みを経験する。歩行時に下肢の関節にかかる力は体重の数倍、長年使い込んで弱った関節にとっては大変な負担である。巷では関節痛に利く高価なサプリメントが流行しているようだが、まずは脂肪という重い荷物を降ろして関節にやさしい体を目指してみたいだろうか。

【塚越 累】

■参考図書

Neumann DA 著, 嶋田智明, 平田総一郎監訳. 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版, 2005.

■引用文献

- (1) Neumann DA. Biomechanical analysis of selected principles of hip joint protection. Arthritis Care Res. 2: 146-155, 1989.
- (2) Hodge WA et al. Contact pressures from an instrumented hip endprosthesis. J Bone Joint Surg Am. 71: 1378-1386, 1989.

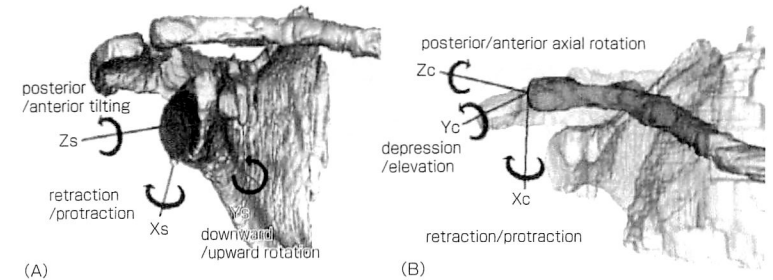
肩甲帯の知られざる重要性～上肢運動を可能にする土台としての役割～

肩甲帯？初めて聞く方もおられるのではないだろうか。肩甲帯とは肩甲骨および鎖骨の両者を合わせた構造であり、上肢運動の際には必ずこの肩甲帯の運動と支持性が必要とされているものの、普段、肩甲帯が意識されることは少ない。この理由と肩甲帯の動きについて説明したい。

まず、肩甲帯を骨標本で眺めてみよう。まるで背中の上を浮島のように漂っている平たい骨が肩甲骨である。肩甲骨は、唯一鎖骨を通じて、体幹の一部をなす胸骨とつながっているだけの不安定な状態にあり、この肩甲骨に上腕骨が結合することで、体幹—肩甲帯—上肢という構造を形作っている。肩甲骨を付着しているのは僧帽筋、三角筋、広背筋、大円筋、前鋸筋、肩甲挙筋、小菱形筋、大菱形筋、肩甲舌骨筋、小胸筋、棘上筋、棘下筋、小円筋、肩甲下筋、上腕二頭筋、烏口腕筋、上腕三頭筋（長頭）の17種にも及ぶ筋肉であり、また、鎖骨にも僧帽筋、三角筋、大胸筋、鎖骨下筋、胸鎖乳突筋、胸骨舌骨筋と6種類の筋肉が付着している。これらの筋肉が運動し、鎖骨、そして胸郭上で浮遊した存在の肩甲骨を支持・安定させ、なおかつ、動かすという、「静」と「動」とを司っているにもかかわらず、肩甲骨は人間の意識に上ることが少ない。これには次のような理由がある。肩甲骨と胸郭とが成している関節を肩甲胸郭関節と呼ぶが、ここには通常の関節に存在している関節包や靭帯がなく筋肉しか存在していないため、靭帯や関節包に多く分布している位置覚（自己の四肢や体幹の各部位の相対的位置関係を知る感覚）を感知する神経が、他の関節に比べると乏しい。つまり、人間にとっては肩甲骨がどの位置にあるのか、どのように動いているのかを感知することはそもそも困難なことなのである。

では一体、肩甲帯はどのような動きをしているのであろうか？これまで、さまざまな手法を用いて、研究者はこの動きを探ってきた。しかしながら、結論から述べると、上肢を動かしている際に肩甲帯がどのような動きをしているのかについて、その実態はまだ掴みきれていないというのが本当のところだ。上肢挙上時の動作解析研究は、古く1944年、Inmanらにより上肢挙上時には上腕骨の動き（肩甲上腕関節）と肩甲骨の動き（肩甲胸郭関節）が2対1の割合で動くというScapulo-humeral rhythm（肩甲上腕リズム）について報告されてから始まる（1）。つまり、180°上肢を挙上した際には、肩甲上腕関節が120°、肩甲胸郭関節が60°動くというものである。以降、レントゲン、写真、映像、果ては肩甲骨自体に麻酔下でピンを差し込み動作解析するという手法もとられ、肩甲上腕リズムの解析は進んできたが、肩甲骨は丸みを帯びた胸郭上を滑るように動くため、二次元的な解析では限界があった。

そのようななか、近年open MRI（上肢を挙上するスペースがあるMRI）により、肩甲帯の動きを三次元的に解析した研究がなされた（図）。肩を外転させていく際の、



図：(A) 肩甲骨の運動軸 (B) 鎖骨の運動軸 (Sahara W et al. Three-Dimensional Clavicular and Acromioclavicular Rotations during Arm Abduction Using Vertically Open MRI J Orthop Res. 25: 1243-1249. 2007.)

胸鎖関節（体幹に対する鎖骨の動き）と肩鎖関節（鎖骨に対する肩甲骨の動き）を調べたものである。この研究によれば、上肢を180°外転させると、肩甲骨は15.6° protraction・21.5° upward rotation（上方回旋）・22.2° posterior tilting（後傾）し、鎖骨は30.6° retraction・7.3° elevation（挙上）・33.2° posterior axial rotation（後方軸回旋）するという（2）。この研究により、ヴェールに包まれていた肩甲帯の詳細な動きがようやく顕になったのである。

この研究では外転動作だけを解析しているが、その他の上肢運動でも肩甲帯の動きが同様に欠かせない。逆にいえば、肩甲帯の動きが制限されると、上肢の可動範囲も制限されてしまう。リハビリテーションの臨床では、例えば、投球障害肩で来院した中学生や高校生を評価してみると、肩甲帯の動きが著しく低下していることに驚くことがある。しかし、本人はそれに気付いておらず指摘されて初めて認識することが多い。臨床では左右差がどの程度あるのかを評価することが多いが、研究としては、正常に比べてどの程度動きが制限されているのか客観的データで示していくことが求められる。しかしながら、肩甲骨・鎖骨は皮下で三次元的に動いてしまい、その動きを正確に身体表面から捉えることは至難の業であることから、肩甲骨・鎖骨の重要性は指摘されつつも、投球動作といったスポーツ動作におけるその詳細な動作解析までは至っていないのである。こうした肩の動きを解明していくことは研究者および臨床家の双肩にかかっている。人体にはまだまだこんなことすらわかっていないのかというところが多く残されているが、それだけ、人体とは不可思議な魅力を持つ、そして尽きることのない研究対象なのである。 [宮坂 淳介]

■参考図書

田中直史。天使の翼がゴルフを決める。文芸社。2001。

■引用文献

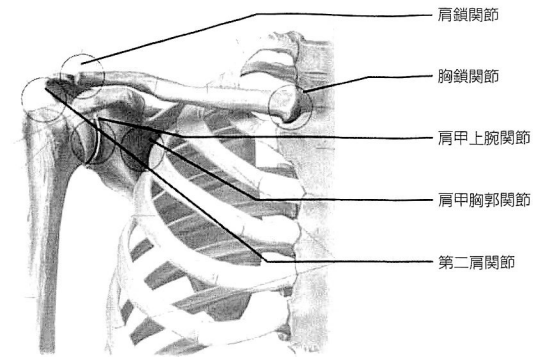
- (1) Inman VT et al. Observations of the function of the shoulder joint. J Bone Joint Surg Am. 26: 1-30. 1944.
- (2) Sahara W et al. Three-Dimensional Clavicular and Acromioclavicular Rotations during Arm Abduction Using Vertically Open MRI J Orthop Res. 25: 1243-1249. 2007.

人体最大の可動域をもつ肩関節とその安定化機構

肩で風を切る。肩を落とす。人の肩を持ったり、肩を貸したり。いずれは人に肩を並べたいと、肩を怒らせて頑張ると、肩で息をすることになる。そんな自分に肩をすくめる自分がある…と、人生にまつわる言葉で、「肩」を使っている言葉は多い。これらの言葉から浮かびあがるのは、肩がいろいろな表情を生み出しているということである。つまり、肩がいろいろな方向に動いていることにお気づきいただいだけよう。本稿では、人体のなかで最大の可動域をもつ肩関節の構造とその安定化機構について説明したい。

二足歩行を獲得した人類の上肢は、自身の重力から解放されることで、運動の自由を得、これにより、道具の使用が可能となるまでの進化を遂げた。上肢動作の鍵となる関節は、あらゆる上肢運動の中心となる肩関節であり、現在、われわれが何気なく動かすその肩の動きは、実は5つの関節により成し遂げられている。正確に記述すれば、肩関節は3つの解剖学的関節と2つの機能的関節から成り立っている。前者は、胸鎖関節・肩鎖関節・肩甲上腕関節（狭義の肩関節）であり、後者は肩峰—烏口肩峰韧带—肩甲上腕関節でなす構成体を大きく関節窩とみなした第二肩関節と肩甲胸郭関節である（図）。これらの関節が協調して動くことにより、人間は腕を前方からでも、側方からでも180°まで挙上することができ、さらには後方にも動かすことができるのである。

このように肩関節は人体最大の可動域を有するが、その一方で、構造的には宿命的な弱さを背負った。狭義の肩関節である肩甲上腕関節では、同じ球関節（正確には球関節の一種である臼関節）である股関節とは異なり、関節窩（カップ）は浅く上腕骨頭（ボール）よりも小さいために、上腕骨頭は関節からはみ出している状態にある。この肩関節を安定化させるためには、3つの静的安定化機構と2つの動的安定化機構が関与している。まず、静的安定化機構には、関節液による吸着作用がある。これは水にぬらした2枚のスライドガラスを重ね合わせた状態に例えられ、互いにずらすことはできるが、引き離すことは困難な仕組みのことをいう。第2には、関節窩と関節唇による吸盤作用である。関節窩とそれを覆う柔らかい関節唇により関節窩側は吸盤のように働き、上腕骨頭に吸いつく作用が働く。第3には陰圧となっている関節内圧が関与する。関節腔内では関節液の産生よりも吸収作用の方が活発であり、内腔は常に陰圧（-4mmHg）となっているため、骨頭を関節窩から引き離す力が加わると陰圧が増大し、元の位置へ戻ろうとする力が発生する。次に動的安定化機構としては、第1に腱板と呼ばれる4つの小さな筋肉（棘上筋・棘下筋・小円筋・肩甲下筋）による骨頭の関節窩への引きつけ作用がある。これらはいわゆる肩のインナーマッスルと呼ばれるものであり、これら腱板の働きにより、肩関節周囲筋によって生み出された力のベクトルを関節窩の中心に向け、骨頭に安定した支点を与える。第2に、靭帯による支持性が関係する。関節の最終可動域では、靭帯には伸張ストレスがかかること



図：肩関節にかかわる5つの関節（Schunke Mほか著、坂井建雄、松村謙児監訳。プロメテウス解剖学アトラス 解剖学総論/運動器系、医学書院、2007より）

で、関節の破綻を防ぐ（1）。

しかしながら、繰り返されるスポーツ動作により、上記安定化機構のいずれかに微細な損傷が積み重なり、ある時点で閾値を越えると、いわゆる肩を壊した状態となる。投球動作を例にとってみよう。投球動作時に肩に加わる力を調べた研究によれば、プロ野球選手ではボールリリース直後に肩関節へは何と1000N（約100kg）を超える圧迫力が加わる。小中学生レベルでも500N（約50kg）に近い力が加わってしまう（2）。また、投球時の最大外旋角度は約175°程度（著者注 胸椎・肩甲帯の動きも含めた値）にまで達し（2）、そこから上肢を加速させ、ボールリリースに向けて急激に肩を内旋させていく。そして、ボールリリースからは急激に上肢を減速させ、止めるという、非常にダイナミックな動きを伴う。120km/hの球速でボールを投げるとすれば、上肢を0km/hから120km/hまで加速させ、ボールリリース後再び0km/hに減速させるという動きを何球も繰り返すこととなる。こうした投球動作により、肩関節には大きなストレスが加えられることとなり、上記の安定化機構が破綻すると、例えば、肩関節前方不安定症、関節内インピンジメント、肩峰下インピンジメント、腱板損傷、SLAP病変（上方関節唇損傷）、Bennett病変（関節窩後縁の骨性増殖）などの障害が生じてくるのである（3）。

こうした肩にかかるストレスを知っていただければ、まさに肩は消耗品であり、アメリカのメジャーリーグにおける球数制限に対する考え方にも、ご納得いただいだけよう。

【宮坂 淳介】

引用文献

- (1) 皆川洋至、井植榮二。肩関節。J Clin Rehabil, 14: 668-673, 2005.
- (2) Fleisig GS et al. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. J Biomech. 32: 1371-1375, 1999.
- (3) Park SS et al. The Shoulder in Baseball Pitching Biomechanics and Related Injuries—Part1, 2. Bull Hosp Jt Dis. 61: 68-79, 80-88, 2002-2003.

脊柱の動きにおける機能的リンケージ

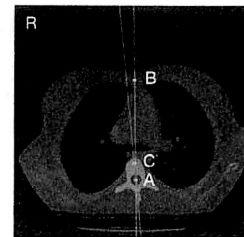
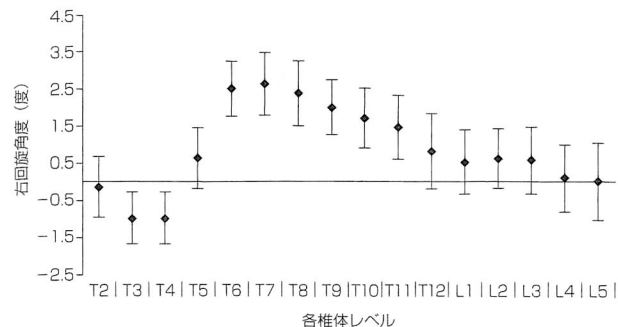
ヒトの身体には、200を超える骨がある。

そしてそれらは、物理的に連結しているだけでなく、機能的にも密接な関わりを持っている。その機能的なリンケージを知ると、ヒトの身体の妙に改めて感心する。ここでは、四肢の運動の土台となる脊柱の運動に着目して、その運動に影響を与える要因について考えてみたい。

まず、脊柱の運動に影響を与える要因の1つとして、自然な立位姿勢における骨盤と胸郭との位置関係が挙げられる。一般にヒトは、骨盤と胸郭とが水平面上で全く平行に位置していることは少なく、多少なりとも捻じれた位置関係にあることが多い。この安静状態における自然な立位姿勢そのものが、脊柱の動きに影響を与えていることがある。たとえば、立位で骨盤に対して胸郭が右側にわずかに回旋しているとする。その場合に脊柱の回旋運動を行うと、多くは左回旋よりも右回旋が大きくなる。これは、臨床での知見から得られたものであるが、そもそも上記のようなアライメントでは、自然な立位姿勢から脊柱は右側に回旋した状態になっているため、相対的に右回旋方向へ柔軟性が高まっている可能性が高い。

次に、脊柱のすぐ下に位置する骨盤に目を向けてみたい。骨盤を形成する左右の腸骨についてその位置関係を分析すると、左右腸骨の高低差、および左右腸骨の前傾・後傾の相対的な位置関係が、脊柱の側屈や回旋可動域と関わっていることが分かっている(1)。例えば、左の腸骨よりも右の腸骨が高位にある場合には、腰椎の動きとして右側屈が左側屈よりも増大するとともに、左回旋が右回旋よりも増大する。また、左の腸骨に対して右の腸骨が後傾位にある場合には、左回旋よりも右回旋が増大する傾向にある。これら骨盤アライメントと脊柱運動との関連性については、明確には分かっていない。しかし、腸骨に高低差がある場合、姿勢の代償として腰椎は腸骨の高位側へと側屈することが考えられるため、側屈可動域に左右差が生じる可能性がある。また、脊柱の回旋については、正常な運動学として腸骨の前後傾が連動して生じることが知られており、回旋側の腸骨は後傾方向へわずかに動く。したがって、相対的に後傾している側へ脊柱の回旋可動性が増大するのではないだろうか。このように、骨盤の構造的な特徴と脊柱の運動とは密接にリンクしている。

最後に、筋骨格系から少し離れて、体の中に目を向けてみたい。脊柱の回旋アライメントに対して内臓の形態が関連しているという報告がある。側弯症などを有しない健康人を対象として、各椎体の水平面におけるアライメントを分析したところ、ある一定のパターンが存在した(2)。T5レベルから胸腰椎移行部あたりにかけて、椎体は右に回旋する傾向を示している(図)。つまり、ヒトは脊柱の変形を有していなくても、潜在的に椎体の回旋変位を有しているということであるが、興味深いことにそ



図：ヒトが有する潜在的な椎体の回旋。

T5レベルから胸腰椎移行部あたりにかけて椎体は右に回旋している。脊柱管の中心(A)と椎体前半分の中心(C)を結ぶラインとAと胸郭の中心(B)を結ぶラインのなす角度により椎体の回旋を算出している。

(Kouwenhoven JW et al. Analysis of preexistent vertebral rotation in the normal spine. Spine, 31: 1467-1472, 2006より改変引用)

の回旋は、胸部大動脈に由来している可能性が高いというのである。胸部大動脈はちょうどT5レベルから胸腰椎移行部にかけて椎体のすぐ左側を下降する。その胸部大動脈の拍動によって椎体が右へ回旋していると推察されている。加えて、胸部には、心臓や肺など左右非対称な形態の臓器が存在するためそれらの影響も考えられる。この研究の著者らは、それら内臓の形態と椎体のアライメントの関係を実証するために、内臓の配置が正常とは左右逆転している全内臓逆位症の症例を対象として同様の解析を行った。その結果、やはり椎体の回旋パターンも健康人の場合とは逆のパターンを示した(3)。内臓の形態さえも、骨のアライメントに影響を与えている可能性がある。この報告では脊柱の動きにまでは言及していないが、潜在的に椎体のアライメントが変位しているのだとすれば、脊柱の運動も潜在的な左右差を有していても不思議ではない。

このように、脊柱の運動1つをとっていても、様々な身体的特性と関連していることが理解して頂けるであろう。我々の想像をはるかに超えたところで、ヒトの身体は機能的に影響しあっている。このような機能的リンケージをひとつ一つ知ることによって、体を使う者も体を診る者も、新たな視点で身体の可能性を引き出すことができるのではないだろうか。

[建内 宏重]

■引用文献

- (1) Al-Eisa E et al. Effect of pelvic skeletal asymmetry on trunk movement. Spine, 31: E71-79, 2006.
- (2) Kouwenhoven JW et al. Analysis of preexistent vertebral rotation in the normal spine. Spine, 31: 1467-1472, 2006.
- (3) Kouwenhoven JW et al. The relation between organ anatomy and pre-existent vertebral rotation in the normal spine. Spine, 32: 1123-1128, 2007.

猫背の落とし穴～脊柱回旋に対する 体幹アライメントの影響～

机に座ったまま後ろにあるものに手を伸ばす、歩行中に後ろから呼びかけられて振り返る、さらにはボールを投げ、そして打ち返す…このように身体(脊柱)を「ひねる」動作、つまり身体の「回旋」動作は、日常生活や野球などのスポーツで頻回に繰り返される動作である。ここでは、その脊柱の回旋動作に焦点を当ててみよう。

脊柱の回旋動作に影響を与えるものは何だろうか？それは、椎間関節や脊柱に付着する靭帯、または筋肉や、全身に網の目のように張り巡らされた筋膜であるかもしれない。しかし、思いもよらないことで、回旋動作は大きな影響を受けているのをご存じだろうか？それは回旋動作を開始する際の姿勢である。つまり、背中を伸ばして「ひねる」か、背中を曲げて(猫背で)「ひねる」(図)かだ。

脊柱は、頸椎・胸椎・腰椎・仙尾椎から構成されている。これらのうち、ここでは姿勢への関与の大きい胸椎・腰椎について考えてみることにしよう。胸椎レベルでは、背中を伸ばした姿勢・普段の姿勢・猫背の姿勢での回旋動作を比較すると、猫背での回旋動作で可動域が低下する(1)(表)。腰椎レベルにおいては、普段の姿勢と比較すると、背中を伸ばした姿勢・猫背の姿勢とも回旋可動域が低下する(2)。すなわち、胸椎・腰椎に限って言えば、普段の姿勢での回旋が最も可動域が大きく、猫背での回旋が最も可動域が小さいということになる。

このような、猫背での回旋動作が、どのようにスポーツに影響するのだろうか？スポーツでは、多くの種目で大きな回旋可動域が必要とされる。例えば、野球の投球動作を考えてみよう。投球動作では、下肢および体幹で生み出した力を効率よくボールへ伝えることが重要となる。この時、猫背での投球では、脊柱の回旋可動域が小さくなるため、体幹で力を生み出すことも、下肢からの力を伝えることも不十分となる。また、猫背での投球動作の繰り返しは、椎間関節や靭帯に過度な負担をかけてしまい腰痛の原因となるだけでなく、さらにはエネルギーの伝達障害により肩や股関節など

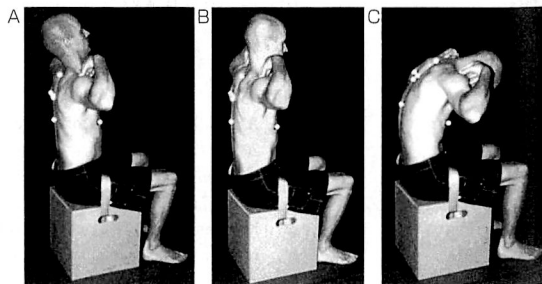
図：回旋動作開始肢位

A：胸椎伸展位

B：胸椎中間位

C：胸椎屈曲位

(Edmondston SJ et al. Influence of posture on the range of axial rotation and coupled lateral flexion of the thoracic spine. J Manipulative Physiol Ther 30: 193-199, 2007. より引用)



表：各肢位における胸椎平均回旋角度および付随する平均側屈角度(標準偏差, 範囲)

	左		右	
	回旋	付随する側屈	回旋	付随する側屈
伸展位	39.6(8.1, 24.9~56.0)	4.0(2.9, -6.5~11.8)	41.8(7.0, 21.8~53.3)	3.3(2.4, -8.8~4.2)
中間位	40.0(7.9, 21.5~55.6)	5.7(4.7, -4.2~17.6)	41.6(7.4, 28.4~59.4)	5.9(4.3, -17.9~1.5)
屈曲位	31.8(11.1, 24.6~51.9)	8.1(6.6, -23.5~9.5)	33.5(7.5, 17.1~52.3)	7.1(5.9, -7.4~22.3)

(-:左 +:右を示す)

胸椎屈曲位では回旋可動域が低下する。また回旋動作時、胸椎屈曲位では同側への側屈、中間位・伸展位では反対側への側屈を伴う傾向がある。(Edmondston SJ et al. Influence of posture on the range of axial rotation and coupled lateral flexion of the thoracic spine. J Manipulative Physiol Ther, 30: 193-199, 2007. より改変引用)

の隣接関節の故障につながる可能性もある。

しかし、猫背での回旋動作による可動域の変化は、スポーツパフォーマンスにさらなる悪影響を与える。スポーツでは、体幹回旋側の下肢への荷重が原則とされる。前述したように、猫背の回旋動作では可動域自体が小さくなるために、しっかりと体幹回旋側の下肢に荷重出来なくなってしまふ。そのため、スポーツに必要な重心移動が不十分なものになり、パフォーマンスの低下につながってしまう。また、脊柱の運動はその構造上、ある一平面での運動に他の平面での自動的な運動が伴う。猫背では回旋可動域だけでなく、回旋動作に付随する、側方に曲がる動き(側屈)も変化する。胸椎では、猫背では同側への側屈、普段の姿勢では反対側への側屈が伴う(1)。腰椎では、報告により様々であるが、全般的に回旋と反対側に側屈が起こり、猫背では回旋に伴う側屈角度が大きくなることが示唆されている(3, 4)。つまり、猫背での回旋動作では、その可動域だけでなく、側屈してしまう角度や方向までもが変化してしまうことになる。

まとめると、猫背で回旋動作を行うと、回旋の可動範囲が低下し重心移動が不十分となるため、スポーツパフォーマンスの低下や身体各部位の故障につながる。ここまで、猫背での回旋の欠点を述べてきたが、読者の中には「猫背の野球選手も多くいるのではないか」と思っている方もいらっしゃるだろう。たしかに、野手の場合、その構え上、猫背となっていることも多い。しかし、松坂やダルビッシュなど一流投手を見て欲しい。彼らは、十分に脊柱を伸展し体幹を回旋させることで、体幹回旋側の下肢にしっかりと重心を移動し、下肢や体幹で生じた力をボールに伝えている。

「ボールに力が伝わらない」「投球時に腰が痛い」「しっかりと重心移動が出来ない」など、これらの背景には、実は猫背が絡んでいるかもしれない。「スポーツに猫背は関係ない」と思っているアナタ、すでに猫背の落とし穴にはまっていますよ。

[和田 治]

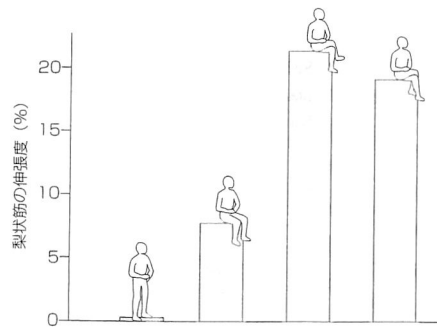
■引用文献

- (1) Edmondston SJ et al. Influence of posture on the range of axial rotation and coupled lateral flexion of the thoracic spine. J Manipulative Physiol Ther, 30: 193-199, 2007.
- (2) Burnett A et al. Lower lumbar spine axial rotation is reduced in end-range sagittal postures when compared to a neutral spine posture. Man Ther, 13: 300-306, 2008.
- (3) Legaspi O, Edmond SL. Does the evidence support the existence of lumbar spine coupled motion? A critical review of the literature. J Orthop Sports Phys Ther, 37: 169-178, 2007.
- (4) Panjabi M et al. How does posture affect coupling in the lumbar spine? Spine, 14: 1002-1011, 1989.

良い姿勢をとり続けることは良いこと？

今この瞬間、大半の読者の皆さんは座位でこの本を手にとっておられるだろう（あるいは、満員電車で揺られて立ったまま読んで頂いている熱心な方もいるかもしれないが）。読書に限らず、日常生活で座っている時間はかなり多くの割合を占め、その姿勢が身体の機能に与える影響は見逃ごせない。骨盤が後傾し脊柱全体が屈曲した姿勢では脊柱の軟部組織へのストレスが増大するとともに椎間板内圧が高まることはよく知られている。逆に、脊柱の伸展を強めた座位は一見良い姿勢のように見えるが、胸部や腰部の脊柱起立筋の強い活動が必要であり、脊柱に対する圧縮力が強まるとともに筋の疲労をきたし、到底長時間にわたって維持できるような姿勢ではない。したがって、骨盤をある程度前傾させて腰椎の前弯を保ちながら胸椎部の筋はリラックスしている座位姿勢を、機能的な良い姿勢として推奨している研究者もいる(1)。

しかし、我々は本当にそのような姿勢を常に保持して日常生活を営んでいるだろうか。今、座ってこの本を読み進めている方は、ぜひ一度自分の姿勢に目を向けて頂きたい。おそらくほとんどの方が、前述したようないわゆる「良い姿勢」とってはいないであろう。ある人は背中を丸めて、またある人は机に肘をつけて、もしかすると、足を組んで座っている人もいるかもしれない。しかし、そのような姿勢は、「良い姿勢」



図：股位の違いと梨状筋の長さとの関係
立位姿勢を基準とした各股位での梨状筋の伸張度を示している。
立位よりも座位で、通常の座位よりも足を組んだ座位において、梨状筋は伸張される。
(Snijders CJ et al. Functional aspects of cross-legged sitting with special attention to piriformis muscles and sacroiliac joints. Clin Biomech. 21: 116-121. 2006.より改変引用)

に対して「悪い姿勢」と捉えなくてはいけないのであろうか。

ここで、足を組んだ座位姿勢に関する興味深い報告を紹介したい。その名も“Why leg crossing?”である。Snijdersらは、通常の座位姿勢と足を組んだ座位姿勢とで、腹直筋および内・外腹斜筋の筋活動を測定し、その結果、足を組んだ座位姿勢では、腹直筋の筋活動には変化がみられないものの、内・外腹斜筋の活動は有意に減少したことを報告している(2)。一般に、腹斜筋群は、仙腸関節の安定化作用があるといわれている。それでは、足を組んだ姿勢では仙腸関節の安定化が得られていないのであろうか。実は、その時には、主役である腹斜筋群に代わって脇役の安定化作用が働いていることがわかっている。足を組む、すなわち股関節を屈曲・内転することによって、仙腸関節をまたいで付着している軟部組織である大殿筋や梨状筋、あるいは後仙腸靭帯が伸張位になる。Snijdersらは後の研究で、立位、座位、足を組んだ座位姿勢で梨状筋がどの程度伸張されるかを実際に確認している(図)。立位に比べて、普通の座位では7.8%、足を組んだ座位では21.4%、梨状筋が伸張される。また、その張力によって仙腸関節への圧迫力も高まることを確認している(3)。すなわち足を組んだ座位では、仙腸関節をまたぐ筋の伸張による張力が、腹筋群の収縮に代わって仙腸関節の安定化作用を担っている。

このようにヒトは、骨盤・腰椎の安定性を得るための全く異なる方法を巧みにスイッチしながら、筋の疲労や関節周囲組織への過剰なストレスを避けて座り続けるという戦略をとっているようである。たとえ「良い姿勢」であっても、ある1つの姿勢を取り続ければ、いずれどこかの組織に無理がかかって破綻してしまう。長時間にわたって同一の姿勢が続くと、椎間板を構成する髄核や線維輪から水分が絞り出されてしまうという危険性もある(クリーブ現象)。そういった意味では、他の座位姿勢のパターンは「悪い姿勢」なのではなく、その人が使うことができる手持ちの札であると考えた方が良くもしいない。手持ちの札が少ないことこそが、快適な座位での生活を妨げる。実際に、腰痛症の患者では、良い姿勢の座位から姿勢を崩した座位へ変換する際も骨盤や脊柱の動きの幅が小さく、姿勢を変化させる能力も低くなっていることが知られている(4)。

皆さんは自分の座位姿勢をいくつお持ちだろうか。時には、自分自身の体に目を向けて、姿勢の多様性について思いを巡らせて頂きたい。

さて、それではここで一旦姿勢を変え気分も一新して、次のページへどうぞ。

【建内 宏重】

■引用文献

- (1) O'Sullivan PB et al. Effect of different upright sitting postures on spinal-pelvic curvature and trunk muscles activation in a pain-free population. Spine, 31: E707-712, 2006.
- (2) Snijders CJ et al. Why leg crossing? The influence of common postures on abdominal muscle activity. Spine, 20: 1989-1993, 1995.
- (3) Snijders CJ et al. Functional aspects of cross-legged sitting with special attention to piriformis muscles and sacroiliac joints. Clin Biomech (Bristol, Avon), 21: 116-121, 2006.
- (4) Dankaerts W et al. Differences in sitting postures are associated with nonspecific chronic low back pain disorders when patients are subclassified. Spine, 31: 698-704, 2006.

姿勢は口ほどにものをいう ～腰痛になりやすい姿勢とは？～

周囲を見渡してみると、様々な姿勢の人がいることに気付く。普段、何気なくとっているその姿勢は、実は多くのことを物語っている。

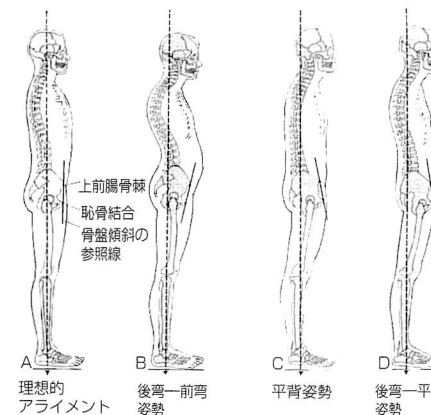
すぐ近くの人を見てみよう。例えば、その人が猫背なら胸椎後弯増大、内股なら大腿骨前捻角の増大が予測される。しかし、その人の姿勢から分かるのは、こういった骨形態だけではない。各関節にかかる負担や、筋肉の状態も推測出来るのだ。さらに、これらが分かることで、その人と疾患の関係まで推察可能である。

例えば、世界中で多くの人が悩まされている疾患に腰痛がある。腰痛は、人類が四足歩行から直立二足歩行に進化したために起きた宿命的な疾患である。しかし、全ての人が腰痛になるわけではない。では、どのような姿勢の人が腰痛になりやすいのか？

ここでは、その人の姿勢の特徴が最も表れる立位姿勢について考えてみる。Kendallら(1)は、ヒトの矢状面における立位姿勢は、大きく4つのパターンに分類できるとしている(図)。またSmithら(2)は766人を対象とし、その姿勢をこの4パターンに分類して、腰痛発生の有無について調べている。この報告によれば、4つの中で最も腰痛になる可能性が低いのは理想的アライメントの姿勢であり、これは体幹の筋活動(モーターコントロール)や、椎骨の位置、および脊柱にかかるストレス配分が最適な状態になるためであるとされている。一方、腰痛になりやすい姿勢は、平背姿勢と後弯—平坦姿勢である。これはなぜなのだろうか？

まずは、これらの姿勢と体幹の筋活動の関係に焦点を当てて考えてみたい。後弯—平坦姿勢では、内腹斜筋/腹横筋・多裂筋の活動が低下し、腹直筋の活動が上昇する(3)。また、平背姿勢で認められる骨盤後傾位では、内腹斜筋の筋活動が低下する(4)。内腹斜筋や腹横筋および多裂筋はlocal muscleと呼ばれ、腰椎—骨盤の分節的な安定に寄与している。一方、腹直筋はglobal muscleと呼ばれ、体幹の動きを作るのに寄与している。平背姿勢で認められるlocal muscleの筋活動低下、および後弯—平坦姿勢で認められるlocal muscleに対するglobal muscleの優位性は、腰痛の原因とされる。よって、これらの姿勢では腰痛が生じやすいといえる。

視点を下肢の筋活動に移してみる。腰椎—骨盤の安定化に寄与している下肢の代表的な筋に、腸腰筋と大殿筋がある。腸腰筋(特に大腰筋)は、適度な腰椎前弯の維持に貢献し、また多裂筋と協働して腰椎安定化に寄与する。大殿筋は、仙腸関節に垂直に走向し、胸腰筋膜に付着することで腰椎—骨盤帯の安定性に寄与することが知られている。これら2つの姿勢では、股関節屈筋である腸腰筋が弱化したまたは延長する。さらにこれらの姿勢、特に後弯—平坦姿勢では、重心線は股関節後方に大きく変位するため、股関節伸筋群をあまり使用せず、大殿筋の発達が認められない。つまり、これら2つの姿勢では、腰椎—骨盤の安定化に寄与する下肢筋までもが動きにくい状態



表：ヒトの立位姿勢の分類 (Kendall HO著、栢森良二監訳、筋：機能とテスト、西村書店、pp.70-118, 2006より引用)
胸椎—腰椎—骨盤のアライメントに着目すると、ヒトの姿勢は4種類に分類できる。

となっているのである。

ここでは、姿勢と筋活動の関係を取り上げた。現在、腰痛を有している読者、また有していない読者も、自分は4つの中のどの姿勢が一番近いか確認してみてもどうだろうか？自分の姿勢を知り、その姿勢に特有な筋活動を知ることで、腰痛を未然に防ぎ、さらには腰痛を改善することもできるかもしれない。 [和田 治]

■引用文献

- (1) Kendall HO 著、栢森良二監訳、筋：機能とテスト、西村書店、pp.70-118, 2006.
- (2) Smith A et al. Classification of sagittal thoraco-lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain. Spine, 33: 2101-2107, 2008.
- (3) O'Sullivan PB et al. The effect of different standing and sitting postures on trunk muscle activity in a pain-free population. Spine, 27: 1238-1244, 2002.
- (4) Snijders CJ et al. EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: validation of a biomechanical model on sacroiliac joint stability. J Electromyogr Kinesiol, 8: 205-214, 1998.

ヒトの姿勢の老化について ～変わるものと変わらないもの～

実家に帰るたびに、少しずつ丸くなっていく母親の背中を見て、年をとったなと感じる。

姿勢から受ける印象は、ヒトの見た目の年齢に大きな影響を与える。

実際にヒトは老化に伴って、胸椎後弯の増大、腰椎前弯の減少、骨盤の後傾化、膝関節屈曲など、様々な姿勢の変化が起こる。姿勢の変化としてまず目につくのは、このような関節の角度や身体部位の変位・位置関係（アライメント）など見た目の姿かたち、すなわち運動学的なパラメータであろう。しかし、ここで姿勢に関連したもう1つの重要なパラメータを思い出してほしい。それは身体重心である。高齢者の重心位置に対する皆さんの印象はいかがであろうか。これについては、姿かたちほど明確な印象がないかもしれないが、一般的に、高齢者では重心の位置が若年者に比べて後方化しているといわれることが多いようである。しかし、それは本当であろうか。

実際に、21歳から40歳、41歳から60歳、60歳以上と年齢で対象者をグループ分けして、各々のグループにおける姿勢と重心の前後位置の違いを調べた報告がある(1)。図1はその結果であり、矢状面における踵と仙骨、大腿骨頭の位置と、重心線の位置関係を示している。21歳から40歳のグループに比べて60歳以上のグループでは、踵から大腿骨頭までの距離、および踵から第1仙椎までの距離は、有意に減少している。しかし一方、踵から重心線までの距離については、各グループで有意な差が認められていない。日本人を対象とした報告においても、若年者と高齢者で重心の位置は有意に変化しないという結果が得られている(2)。すなわち、姿かたちは老化に伴って大きく変わっていくものの、それらを収束させた身体重心の位置は変わらないということになる(もちろん、これらの結果は平均値の比較であるため、個人によっては重心が前方あるいは後方へ変位している者もあるが)。

ここで改めて、老化に伴う姿勢変化のダイナミクスをみてみよう(加齢に伴う脊柱の変形については16項を参照)。一般的には、老化に伴って上半身の重心が前方化し、そのままでは姿勢の保持が苦痛になる。そのため、骨盤を後傾化させたり膝関節を屈曲させたりして、全身の重心を再び中央に引き戻すための代償的な戦略がとられる。前述した報告においても、加齢によって、胸椎の後弯の増大に伴う第7頸椎の前方変位が生じ、上半身の重心位置が前方化することが示されているが(図2)、その上半身重心の前方化を、図1に示すような骨盤(下半身)の後方変位によって補正し、全身の重心位置は大きく変化させないということになる。つまり、老化によって必然的に変わっていくアライメントを巧みに他の身体部位を使って再配列させ、立位保持にとって必須の条件である“支持基底面内に重心の投影点を取めること”を達成しているのである。

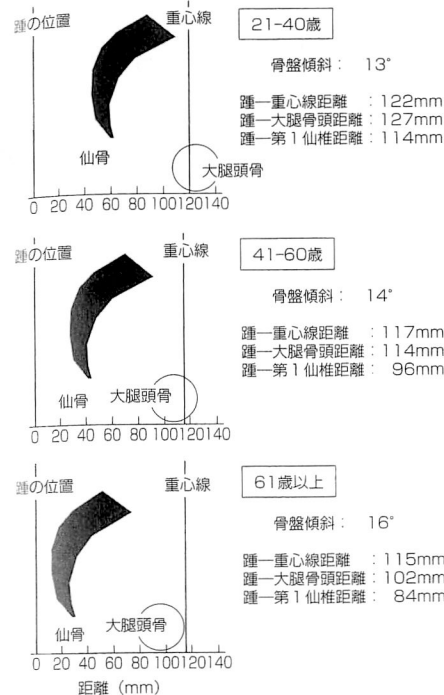


図1 各年代における踵、仙骨、大腿骨頭、重心線の位置関係
踵から重心線までの距離は各年代で有意な差がない。
(Schwab F et al. Gravity line analysis in adult volunteers. Age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. Spine, 31: E959-967, 2006より改変引用)

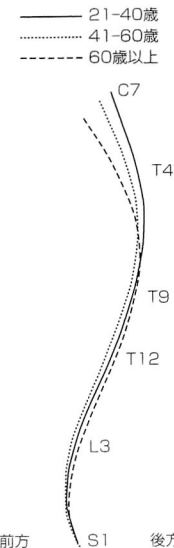


図2 各年代における矢状面の脊柱アライメント変化
加齢に伴い胸椎後弯の増大に伴う第7頸椎の前方変位が生じる。
図は第1仙椎の位置を合わせて表示している。
(Schwab F et al. Gravity line analysis in adult volunteers. Age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. Spine, 31: E959-967, 2006より改変引用)

このように、加齢による見た目の姿かたちの変化は、重心の位置を適切な場所に収めるための巧みな姿勢調節の結果であると捉えた方がよさそうである。したがって、たとえ見た目に姿勢アライメントの大きな崩れがないとしても、足元から体が前後や左右に傾いているような姿勢をとり重心位置が大きく変位している状態は、立位保持の危機であるとも考えられる。

我々はいついつい変わりゆくものに目を奪われがちだが、変化し続ける流れの中で変わらないもの、変えられないものにこそ物事の本質が潜んでいるのかもしれない。

【建内 宏重】

■引用文献

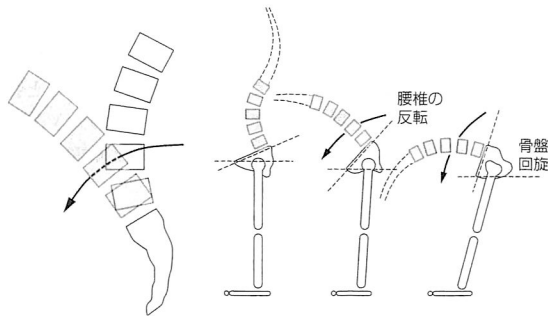
- (1) Schwab F et al. Gravity line analysis in adult volunteers. Age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. Spine 31: E959-967, 2006.
- (2) 原田 孝ほか. 高齢者の姿勢—脊柱変形と重心線の位置—. 総合リハ, 22: 133-136, 1994.

曲がると困るのは腰？それとも背中？

夏休み、両親に連れられて田舎に帰ると、おじいちゃんとおばあちゃんがあなたを笑顔で迎えてくれる。あなたの想像するおじいちゃんとおばあちゃんは、少し腰が曲がっているだろう。しかし、ここで1つの疑問が湧いてくる。曲がっているのは、本当に“腰”なのか？、背中なのか？

腰椎は、生理学的には前弯とあって、側方からみると前方に凸変形している。腰が曲がるとは、これが直線または後方に凸（後弯）変形することをいう。腰椎の生理学的な前弯は、骨盤の傾斜角度と非常に強い関連性がある（1）といわれており、スムーズに立ったり歩いたりするためお互いの位置関係は非常に重要である。この位置関係は、腰椎骨盤リズム（図）といわれており、体幹の屈伸時には、腰椎の屈伸が先行し、骨盤・股関節の動きが腰椎の動きに伴って出現するといわれている（2）。では、腰椎が後弯変形を呈することで、どのような不利益が生じるのであろうか。

まず、立位において、腰椎が後弯することで前方に偏位した重心を、骨盤を後傾させ、股関節を伸展させることで後方に戻そうとする動きが出現する。しかし、股関節を、腰椎後弯の代償として伸展位に固定するということは、股関節での姿勢制御が困難になることを意味している。加齢によりバランスを取る際のストラテジーは、足関節から股関節へと移行するため、腰椎後弯変形により、股関節のストラテジーが十分に発揮できないと立位バランスの低下に繋がることになる。さらに、腰椎が後弯することで、常に軽度体幹前屈位と同じような筋肉の使い方になり、脊柱起立筋が疲労しやすくなるといわれている。そのため、長時間の立位では、脊柱起立筋の機能不全が



図：腰椎骨盤リズム、腰椎が屈曲するにしたがって骨盤は後傾する。
 (Cailliet R. Low Back Pain Syndrome. 3rd ed, F.A. Davis Co. Philadelphia. 1981.
 大井淑雄, 須永 明. 腰椎の運動学と機能解剖学. 医学のあゆみ, 147: 1009-1012, 1988.より引用)

引き起こされ、さらに腰椎後弯を増悪させるという悪循環まで生じる可能性がある。

また、歩行に及ぼす影響として、歩幅の減少とそれに伴う歩行速度の低下が挙げられる。一般的に、ヒトが足を前に出す際には、軸足の股関節伸展だけでなく腰椎の伸展が生じる。そのため、腰椎の変形により伸展角度が減少し歩幅が狭小化、すり足などのつまづき易い歩き方を作り出している可能性がある。粕川ら（3）は、腰椎前弯群で91%の高齢者が自力で歩行可能であったのに対して、後弯群では74%しか自力歩行可能な高齢者がいなかったと報告している。つまり、腰が曲がることで、歩幅の減少⇒転倒の危険性の増大⇒歩く意欲の低下⇒歩く機会の減少⇒下肢の筋力低下⇒歩行が自力で困難になる⇒寝たきり…といった悪循環がここでも生まれてしまう可能性がある。

一方、背中（胸椎）が曲がるとどうなるのか。胸椎は生理学的には後弯であり、一般的に、加齢に伴いさらに後弯する。胸椎は、肩関節の運動と密接に関わっているとされている（4）。例えば、手を挙げる際、肩甲上腕関節（上腕骨と肩甲骨の間の関節）のみの運動では十分ではなく、肩甲骨を後傾させ、さらに上方回旋させる必要がある。肩甲骨は肋骨の上に乗っており、肋骨の動きは胸椎の動きである程度決まってくる。つまり、手を挙げる動作ひとつにしても、円背では、胸椎の伸展が困難であり、高いところに手が届かないのである。無理に挙げようとすれば、重心が後方に移動しすぎて転倒に繋がってしまう可能性がある。また、胸椎は、骨の形状から回旋に優れているという特徴を持っているが、変形により回旋の可動域が減少すると、振り向く際、大きな骨盤の回旋運動が必要となることは容易に想像できる。そのため、胸椎の回旋を代償することで骨盤・股関節ストラテジーは低下し、バランスの悪い姿勢を取り易いと考えられる。

このように、背中が曲がっているように見えても、実際にどこが曲がっているかによって周囲のひと（あなた）が注意してあげなくてはいけない場面が異なるのである。腰が曲がっている場合は、歩行能力の低下などが起因する寝たきり、背中が曲がっている場合は、転倒予防のためにも、物を置く高さなどに注意が必要である。今夜、家に帰ったら、ぜひ、おじいちゃん、おばあちゃんの背中のどこが曲がっているのか確認してほしい。気をつけるべき場面を知ることで、転倒・骨折といった不幸から家族を守ることが出来るかもしれない。

[竹岡 亨]

■参考図書

武藤芳照. 転倒予防百科事典. 日本医事新報社, 2007.
 嶋田智明, 平田総一郎. 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版, 2007.

■引用文献

- Lord M J et al. Lumbar Lordosis. Spine, 22: 2571-2574, 1997.
- 大井淑雄, 須永 明. 腰椎の運動学と機能解剖学. 医学のあゆみ, 147: 1009-1012, 1988.
- 粕川雄司ほか. 骨粗鬆症患者における脊椎可動性, 重心動揺および筋力の差異が転倒に及ぼす影響. Geriatric Medicine, 44: 211-214, 2006.
- 上田泰之ほか. 若年者と高齢者における上肢挙上時の体幹アライメントの違い. 体力科学, 58: 485-490, 2008.

止まっているエスカレーターで 転ぶのはなぜか？

大事な会合に間に合うように、あわてて駅の階段を登ろうとしている場面を想像してほしい。この駅には階段と並んで、エスカレーターが設置されている。あなたはエスカレーターで上ることを選択し、エスカレーターに近づいたとしよう。ところが、あろうことかそのエスカレーターは止まってしまっていて動かない。しかし、そうと知ってもあなたは方向転換する時間も惜しい。仕方なくエスカレーターを駆け上がろうとしたところ、足を滑らせて…

あなたはこのような経験をしたことがないだろうか？たとえ、転んでしまうことは無くても、足が地面に吸い込まれるような感じがしたという経験を持つ人は、案外多いのではないだろうか。この現象の大事なことは、エスカレーターが止まっているのを知らなかったわけではなく、十分認識していたという事実である。「知っているのに転んでしまう。」この現象は、我々に移動制御の大事なポイントを伝えている。

この「故障エスカレーター現象」をヒントに、Reynoldsら(1)は、この現象と同様な状況を設定し、そのときに生じる運動の解析を行った(図)。まず、健康者に止まっているベルトコンベアーの上を歩いてもらう課題を行わせた。このときの歩行は、平地での普通の歩行となんら変わるところはない。次に、ベルトコンベアーを前向きに動かした状態で歩かせた。このとき前向きに進むベルトコンベアーの動きに合わせて、ベルトコンベアーに1歩踏み込む前に身体が少し前傾していた。我々の歩行は、意識することなく環境に合わせて、次に生じるであろう運動の乱れを予測して調整される。環境による運動の乱れが起こってから適応するのでは遅いからである。ベルトコンベアーに乗る直前に身体が前傾するのは、ベルトコンベアーによって生じる歩行の乱れを予測して、身体の動きを調整する機構が働くからに他ならない。

しかし、この研究の重要な点はその後である。Reynoldsらは、ベルトコンベアー上での歩行を反復させた後、被験者に再び止まったベルトコンベアーの上を歩かせている。この歩行では、ベルトコンベアーが止まっていることを十分に認識させて行っているにもかかわらず、身体はベルトコンベアーが動いているときと同じように前傾してしまった。被験者もこのような運動が生じることに驚いたようである。つまり、ベルトコンベアーが止まっていることを知っており、正確に状況(ベルトコンベアーが止まっているので普通に歩けばよい状況)を認識しているにもかかわらず、身体は勝手に状況を判断し(この場合、動いているベルトコンベアー上を安定して歩くために身体を前傾させる必要があること)、動いているベルトコンベアーでの歩行と同じような歩行の仕方を選択したのである。このような結果は、歩行などの運動に対して、認識によるコントロールが効きにくく、認知にかかわる機構と運動にかかわる機構がある程度、独立している可能性を示唆している。彼らは、この理由として、移動運動

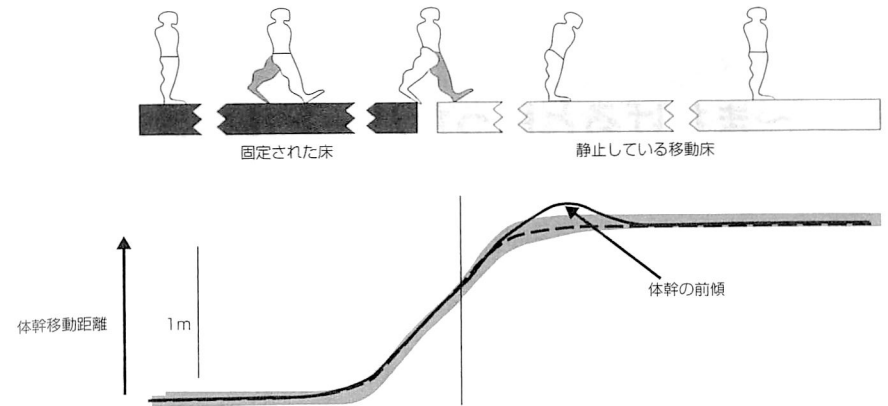


図 歩行における認識と運動の齟齬。固定された床から移動床へ歩いていく課題で、移動床が動いている状態で10回歩行を行った後、移動床を静止させて同様に歩行させた。静止していることを被験者も認識しているにもかかわらず、体幹は前傾する。破線は通常の体幹変位、実線は10回歩行した直後の体幹変位で、10回歩行した直後では移動床に乗った時点で過剰な移動(体幹の前傾)が生じている。

(Reynolds RF, Bronstein AM. The broken escalator phenomenon. Aftereffect of walking onto a moving platform. Exp Brain Res. 151: 301-308. 2003.より改変引用)

が脊髄を含めた系統発生的に古い脳のシステムにより行われているからであるという理由をあげている。認識と運動の齟齬については、これ以外にもいくつかの報告がある。しかし、通常、このような齟齬は、認識が間違っている、運動が正しく行われることをさす場合が多い(例えば、視覚的に錯覚を起こさせた場合でも、運動は正確に行われることなど)。Reynoldsらの研究はこの反対も起こりうることを示したものである。そのように考えると知覚系が認識している世界と運動系が認識している世界が、実は異なる世界であるということが出来るかもしれない。 [大畑 光司]

■参考図書

Stafford T, Webb M 著, 夏目 大訳. MIND HACKS. オライリー・ジャパン, 2005.

■引用文献

- (1) Reynolds RF, Bronstein AM. The broken escalator phenomenon. Aftereffect of walking onto a moving platform. Exp Brain Res. 151: 301-308. 2003.

できると思っていたのにできない! ～またげると思ったハードルがまたげない～

雨上がりの街中を散歩していると、前方に水溜りが現われた。水溜りはそれほど大きくはない。あなたはそのまま真っ直ぐ進んで、水溜りをまたぐだろうか。それとも進路を少し変更して水溜りを避けるだろうか。我々は普段何気なく送っている日常生活の中で、周囲の環境に応じて様々な判断を無意識に行いながら、行動を巧みに変化させている。それらの判断は何を基準にして行われているのだろうか。また、その判断を間違えることはないのだろうか。

我々は水溜りをまたぐ、狭い隙間を通り抜ける、コップを持つ、などの様々な動作で、無意識に状況を判断して行動を起こしている。これは環境の特性と、自分の行為遂行能力を無意識に知覚し、次の運動のための準備をあらかじめ行うことで成り立っている。日常生活における環境の中には、知覚する者にとって価値のある情報が多く実在するのである。しかし、この情報は同じ環境下で、すべての人に同様に与えられるわけではない。例えば、重そうな荷物を見て、力持ちの男性であれば「持ち上げられる」という情報が提示されるが、小柄な女性が見れば「持ち上げるのは難しい」という情報が提示されるかもしれない。つまり環境から与えられる情報の意味は、環境と行為者との関係によって決まるのである。

ここで興味深い研究を紹介する。健康若年男性から参加者を募り、ある部屋に来てもらう。部屋には入り口から7m前方にハードルのようなバーが設置してある。入り口で被験者は尋ねられる。「あなたが向こうに進む際、バーをくぐりますか、それともまたぎますか?」と。バーが膝の高さであればまたぐ動作を選ぶであろうし、胸の高さであればほぼ全員がくぐると答えるだろう。逆にいえば、バーの高さにはまたぐ、もしくはくぐると判断を変える転換点が存在すると考えられる。実験の結果、またぐ、もしくはくぐる行為をバーを見て判断した時の転換点（以下、見ただけの転換点）は、身長の高低にかかわらず脚（股下）の長さの1.07倍の高さであった（図1）。実際にバーまで進んでもらうと、予想した回答と同様の動作を遂行することができた。つまり、人間はこの微妙な高さの違いを知覚し、行為の決断を行っているのである。

一方、高齢者に同様の実験を行うと、少し結果が異なってくる。60代以上の高齢者では、見ただけの転換点は1.02～1.07倍付近となる。しかし、実際にバーまで歩いていくと、またげる高さが見ただけの転換点より低下する人が出現する（図2）。そこには、「できる」と思っていたのに「できない」という現象が発生している。つまり、自分の身体能力の認識を踏まえた、環境からの情報を適切に知覚することが出来ていないのである。こういった高齢者では身体能力と身体認識に乖離が生じ、さらに環境から得られる情報と身体認識とのズレが発生することで、日常生活場面で転倒などのアクシデントが生じてしまう可能性が考えられる。

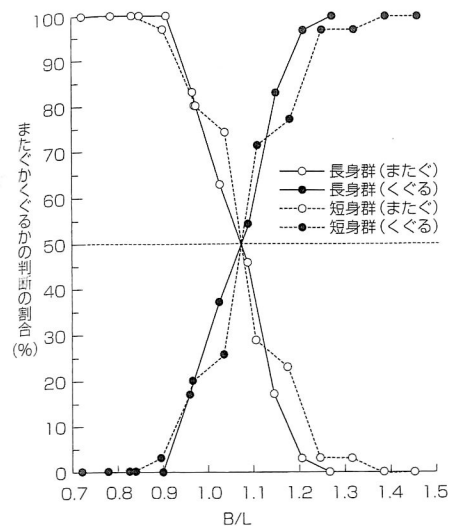


図1：若年者におけるバーをまたぐか、くぐるかを判断する割合と、脚の長さに対するバーの高さ(B/L)の関係。長身群、短身群ともに、1.07を境として、またぐかくぐるかの判断が分かれている。(三嶋博之。「またぎ」と「くぐり」のアフォーダンス知覚。心理学研究, 6: 469-475, 1994. より改変引用)

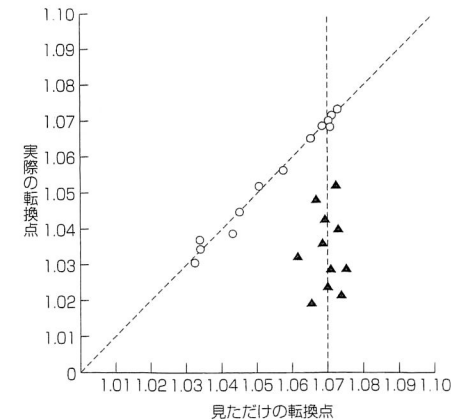


図2：60代被験者個人々の「見ただけの転換点」と「実際の転換点」の関係。○は見ただけの転換点と実際の転換点一致している被験者、▲は見ただけの転換点よりも実際の転換点が低かった被験者。▲の人は、判断と実際の行為にズレが生じている。(正高信男。老いはこうしてつくられる。こころとからだの加齢変化。中央公論新社, 2000.より改変引用)

高齢者でなくとも、運動不足の読者には久しぶりにスポーツをした時など、「あれ? できると思っていたのにできない!?’といった経験があるのではないだろうか。現代人は体を動かす機会が減っていることから、環境からの情報を適切に知覚する能力が減っているのかもしれない。今一度、自分の体と向き合ってみてはいかが?

【永井 宏達】

■参考図書

- (1) 佐々木正人。アフォーダンス—新しい認知の理論—。岩波書店, 1995.
- (2) 正高信男。老いはこうしてつくられる。こころとからだの加齢変化。中央公論新社, 2000.

■引用文献

- (1) 三嶋博之。「またぎ」と「くぐり」のアフォーダンス知覚。心理学研究, 6: 469-475, 1994.

ブランコはなぜこげるのか？ ～理屈は知らなくても体は動く～

生まれてはじめてブランコに乗ったとき、うまくこげなかったことを覚えている人はどれくらいいるだろう。最初、ほとんどの人は親に押ししてもらい、だんだん自分で地面をけてこぎ始めたはずである。成長するにつれて立ちこぎを覚え、かなりの高さまでブランコを揺らし、親をハラハラさせるようになったのではないだろうか。しかし、そのときはあまり考えなかったとしても、高校生ぐらいになり、物理の授業で「単振り子」を習い始めると、ふと違和感を覚えるかもしれない。振り子は抵抗が無ければ、同じ高さまでしか運動しないはずなのに、ブランコはどんどん高くすることができる。立ちこぎでブランコをこぐ力は、外部から押ししたり引いたりすることによって得られるわけではない。実際に揺れていないブランコの上で足を前に動かしても、身体が後ろに行くだけで、ブランコの大きな振れは得られない。ブランコの揺れを大きくする力はいったいどこから来るのだろうか…。

ここで重要になるのは、立ちこぎをするときに、ブランコにただ単に立っているだけで、ブランコの揺れが大きくなるわけではないことである。ブランコのゆれを大きくしようとした場合（理由がわからなくとも）、ブランコの台の上で立ったりしゃがんだりしているはずである。我々は経験的に、このように動くことでブランコの揺れが大きくなることを知っている。実はこの立ったり座ったりする運動のタイミングがブランコの振動を強めているのである。

まず、ブランコを振り子であると仮定すると、その質点（おもり）は、我々の身体の重心である。身体の重心は、姿勢によってその位置を変える。具体的には、立っているときに重心は高い位置にあり、しゃがむと重心位置は低下することになる。この状態を、振り子で考えるとおもりにつないだ糸の長さが短くなったり、長くなったりする場合と同じと考えることができる。ところで、ブランコの振れの角度が同じであるとすると、糸が長いほうが位置エネルギーは大きい（つまり、振り子のおもりが最

図1：支点と質点の距離とエネルギーの関係
ブランコが最大に振れた角度が同じ角度 θ だとすると、糸が長いほうが、最も低い位置にあるときと高い位置にあるときの差（ $\Delta h_1 < \Delta h_2$ ）は大きい。つまり、 $mg\Delta h$ であらわされる位置エネルギーが大きいことになる。これは同時に最も低い位置に来たときの速度が大きいことを意味する。

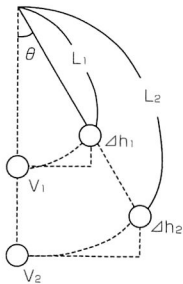
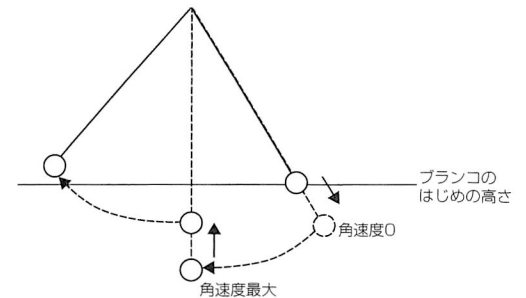


図2：ブランコがこげる理由

ブランコが最も高い位置に来たときに座ることによって重心を下げ、ブランコが最も低い位置に来たときに重心を押し上げる。これにより、重力による加速は大きくなるが重力による減速は小さくすることができる。



も高い位置にあるときと低い位置にあるときの差が大きい（図1）。大きな位置エネルギーを持つ糸の長い振り子が最下点に来たときの運動エネルギーは、同じ角度から出発した糸の短い振り子より大きいことになる。したがって、糸の長い振り子で運動エネルギーを生じさせ、得られた運動エネルギーを糸の短い振り子により位置エネルギーに変換すれば、最も高い位置に来たときの振り子の角度ははじめの角度より大きくなることになる。

ここでブランコに乗る動作を思い出そう。重力によって加速される時期（ブランコが一番大きく振れているとき）には糸を長くし、大きな加速を得るようにする。次に、減速され始める時期（ブランコが支点の真下に来た時）に糸を短くすることができれば、それまで得られた加速より、これから同じ角度に到達するまでに生じる減速が小さくなることになり、相殺されない余りのエネルギーが生じることになる。この余りのエネルギーはブランコの振れ幅を拡大するために使うことができる（図2）。したがって、ブランコが1往復する間に、重心の上下動を2往復させることができればブランコの振れの角度は徐々に拡大することになる。このブランコの立ちこぎのような現象は、パラメータ励振（Parametric excitation）と呼ばれ、近年、このようなパラメータ励振を利用した二足歩行ロボットなどが考えられている（1）。

しかし、これでブランコの謎がすべて解けたわけではない。よく考えると、ブランコの立ちこぎには、もうひとつの大きな謎がある。なぜ、ブランコの振れが大きくなることを子どもたちは知っているだろうか？我々は子どものころ、当然、このような力学を知らずにブランコで遊んでいたはずであり、大部分の人は誰に教わるでもなく、立ちこぎの技術を正確に身につけただろう。そう考えると、この直感的にわかりにくい現象を、子どもたちはどのようにして理解できたのだろうか？この謎に対して、多くの人は「理屈ではなく身体で理解したのだろう」と考えるかもしれない。もしそうならば、我々の頭で認知していることは、身体が理解していることのほんの一部に過ぎないことになるのではないだろうか。

[大畑 光司]

引用文献

- (1) Asano F et al. Parametric excitation mechanisms for dynamic bipedal walking. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation Barcelona, pp.609-615, 2005.

実は安定していない 歩行周期

“1/fゆらぎ”, 一度は目または耳にしたことがないだろうか? 扇風機やエアコン, それに医療機関にある電気治療器にも“1/fゆらぎ”が示されている場合があるため, 何となく『心地良さそう』, 『気持良さそう』な感じがする. “1/fゆらぎ”を難しくいうと, 『パワー(スペクトル密度)が周波数 f に反比例する“ゆらぎ”のこと』となるが, 平たくいえば, 『生体のリズムに最も近く, ランダムでも一定でもない特別な性質を持ったゆらぎ』であり, 非常に心地よいと考えられている. 心拍のリズム(R-R間隔)やろうそくの炎の揺れ方, 電車の揺れ, 小川のせせらぎ, アルファ波, それに木目なども, このような“1/fゆらぎ”の性質を持つことが知られている. つまり, 『気持のよいもの』なのである. では, 歩行ではどうなっているのでしょうか?

一般的に歩行は, 踵接地時の状態や, つま先離地時の状態など, 歩行周期の一部を取り出して解析されることが多い. しかしながら, 歩行は心拍と同様に連続したものであり, “リズム”という側面も重要な指標であると考えられる. これまでの調査によって, 『健常者であっても歩行リズムが一定になることはなく, ある程度の“ゆらぎ”の性質を持っている(機械のように各歩行周期が完全に一致しているのではなく, ある程度バラツキのある歩行となっている)(1)』, このように健常者の歩行で“ゆらぎ”の性質を持っている理由として, 不意な外力へ対応することなどが挙げられ, 緊急事態への備えであると考えられている.

しかし, このように必要な“ゆらぎ”であっても増大しすぎると病的な状態である

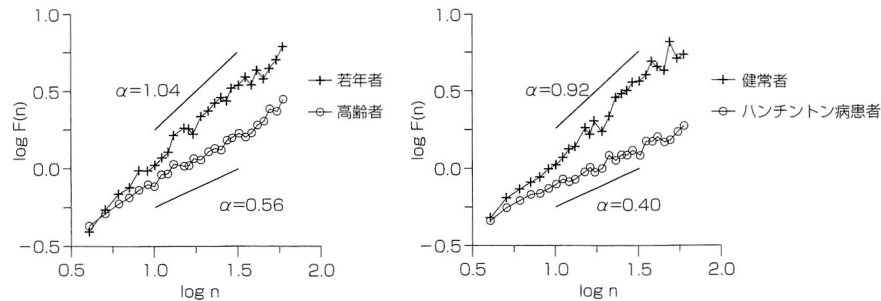


図: α の値(近似直線の傾き)が1に近づくほど安定した歩行周期を示し, 値(近似直線の傾き)が低くなるほど不規則(不安定)な歩行を示す.

高齢者やハンチントン病患者では, 健常者よりも不規則(不安定)になっていることが分かる.

(Hausdorff JM et al. Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. J Appl Physiol, 82: 262-269, 1997より改変引用)

と考えられており, 『何らかの病的状態になることで歩行リズムが“不規則(ゆらぎが増大)”になる(2)』ということが明らかになっている(図). このような研究成果は, 様々な現象を明らかにしただけでなく, その後の研究の可能性を大きく広げるものとなった.

近年では, 『歩行リズムが不規則=不安定な歩行』と考えられるようになり, このことが高齢者の転倒の一要因であるとも考えられるようになった. Kressingら(3)は, 歩行中に何か別の課題を行っているときに(dual-task), 歩行リズムがランダムになる高齢者では, 転倒の危険性が高くなることを報告した. またKangら(4)は, 歩行リズムが不規則になる要因に, 筋力低下や柔軟性低下などが挙げられることを報告している. このように歩行リズムの“ゆらぎ”をみることで, 非常に重要な現象が潜んでいることが明らかとなっている.

このように歩行周期は一定ではなく, ある程度の“ゆらぎ”を有している. ただし, “ゆらぎ”の範囲を超えて“不規則”になってしまうと, 黄色信号ですよ. あえて一定にしていないところが生き物の素晴らしい所かもしれませんね. [山田 実]

■引用文献

- (1) Hausdorff JM et al. Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. J Appl Physiol, 78: 349-358, 1995.
- (2) Hausdorff JM et al. Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. J Appl Physiol, 82: 262-269, 1997.
- (3) Kressing RW et al. Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients? Aging Clin Exp Res, 20: 123-130, 2008.
- (4) Kang HG, Dingwell JB. Separating the effects of age and walking speed on gait variability. Gait Posture, 27: 572-577, 2008.

デコボコ道でも頭の位置は安定している！

歩行中、身体の中で最も大きく揺れている部位はどこでしょうか？このように問われると、多くの方が思うはずである。「きっと、足底から最も離れている頭部が最も不安定なはず」と。しかし、頭部には、視覚、聴覚、平衡感覚など、移動に必要な感覚受容器が豊富に存在しており、しかも内部にはその中枢である脳が配置してある。正常であれば、このような重要な器官を、出来るだけ保護するように動いているはず。では実際、どのようなになっているのだろうか？

Menzら (1) は、これらの疑問を解決すべく、腰部と頭部に加速度センサを取り付け (図1)、平地歩行における両部位の動揺を計測した (図2)。すると最も遠位に位置している頭部の動揺は、腰部よりも少なく、比較的安定していることが示された。しかし、「これは平らな歩行路であるという最適の条件下の計測であり、砂利道のような不整地では、同様にはならないだろう」という批判は当然あるだろう。そのような批判にも応じられるように、Menzは不整地でも同様の測定を行っている。すると、不整地歩行では、平地歩行に比べて不安定な歩行になるものの、実際に不安定になっているのは腰部であって、頭部動揺は腰部ほど大きくないということを明らかにした。つまり、頭部の安定性を第一優先に歩行を行っているのである。

次にMenzら (2) は、転倒リスクの高い高齢者では、歩行中の頭部安定性がどの

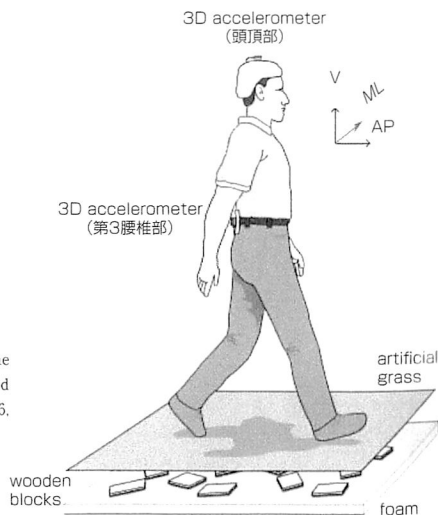


図1：加速度センサの貼り付け
(Menz HB et al. Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. Gait Posture, 18: 35-46, 2003.より改変引用)

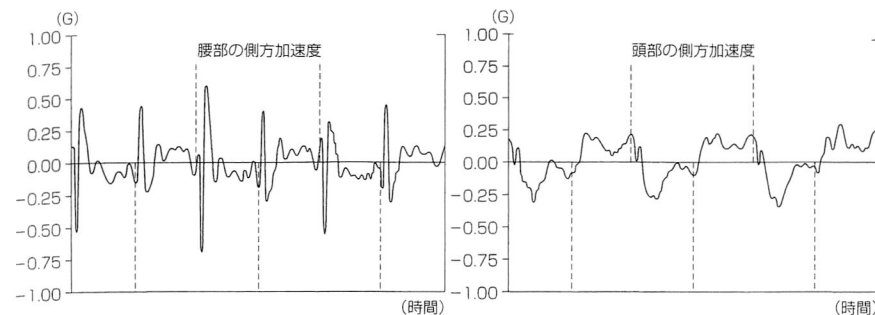


図2 腰部の加速度(動揺)と頭部の加速度(動揺)。腰部の加速度に比べて頭部加速度は小さく、滑らかになっている。(Menz HB et al. Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. Gait Posture, 18: 35-46, 2003.より改変引用)

ようになっているのかを調査した。すると、不整地でも安定していた頭部安定性は崩壊し、腰部の動揺に伴い頭部の動揺も増大していることを明らかにした。さらに近年、Menzら (3) は、このような頭部安定性の低下は、歩幅の低下や感覚運動機能の低下と強く関係していることを示した。

ここまでくれば、答えは明確でしょう。「頭部が最も不安定なはず」と答えてしまった方も答えを修正したと思うが、頭部は比較的安定しているのが正常なのである。おそらく、頭部の安定はバランスを安定させるためには欠かすことのできない機構なのである。

この重要な機構が、歩幅の低下 (= 下肢機能の低下) や感覚運動機能の低下によって欠落すると、転倒の危険性が増大してしまう。逆にいえば、頭部動揺が増大してくると“転倒”への黄色信号なのかも知れない。もし身近に頭部動揺が増大している方を見かけたら教えてあげてください、「転倒にはくれぐれも注意を」、そして「頭をしつかりと安定させて下さいね」と。
[山田 実]

■引用文献

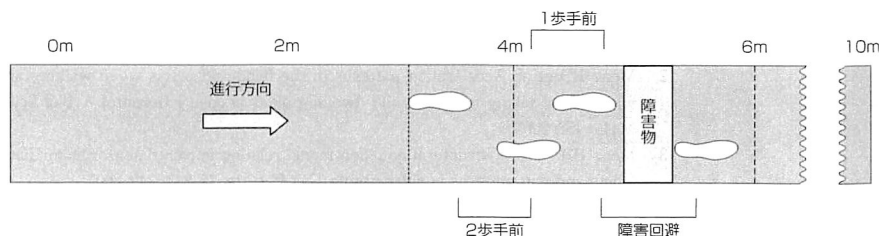
- (1) Menz HB et al. Acceleration patterns of the head and pelvis when walking on level and irregular surfaces. Gait Posture, 18: 35-46, 2003.
- (2) Menz HB et al. Acceleration patterns of the head and pelvis when walking are associated with risk of falling in community-dwelling older people. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 58: M446-452, 2003.
- (3) Menz HB et al. A structural equation model relating impaired sensorimotor function, fear of falling and gait patterns in older people. Gait Posture, 25: 243-249, 2007.

障害物 見るのは2歩前まで

幼い頃、不整地を歩いていると、よく父親にいわれた、「ちゃんと下見て歩かないと、転んでしまうよ!」。これって本当なのだろうか? 段差や障害物を視覚的に捉え、認識しなければ、それらを回避することは難しく、^{つまず}躓き転倒する危険性が増大してしまう。では、どのように障害物を見ていけば良いのだろうか?

そこでPatlaら(1)は、このような疑問を解決するために、障害物を回避する際の視線行動を調査した。視線解析装置と呼ばれる機器を用いて、障害物を回避する際に『いつ、どこを』見ているのかを測定したのである。すると障害物を回避する2歩手前までは障害物に視線が向けられているものの、1歩前ではすでに障害物より前方に視線が向けられていることが明らかになった(図)。つまり、障害物を跨ぐときには、すでに障害物に視線は向けられていないのである。さらに興味深いこととして、Patlaら(2)は、障害物の1歩手前で視覚を遮断しても障害物を回避することが可能なのかを検証した。前述の調査によって、1歩手前では既に障害物より前方に視線が向けられているため、視覚を遮断しても障害物を回避することは可能だろうと考えたためである。すると、Patlaらの予想通り、1歩手前で視覚を遮断しても障害物を回避することは可能であった。換言すれば、障害物を回避するための運動プログラムは、1歩前までには既に完了しているのである。

Lowreyら(3)は、健常高齢者と若年者の障害物回避の違いについて調査した。すると高齢者では、注意深く障害物を跨ぐために、わざと速度を遅らせるような戦略を用いていた。この研究では、Patlaらの実験のように視線解析装置を用いていないため、どのような視線行動になっているのかは不明確であるものの、高齢者では若年



図：10mの歩行路の中央(5m地点)に障害物を設置し、障害物を跨ぐように指示する。2歩手前までは障害物に視線が向けられているが、1歩手前ではすでに障害物より前方に視線が向けられている。(Patla AE, Vickers JN. Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? Neuroreport, 8: 3661-3665, 1997より改変引用)

者よりも、注意深く障害物を跨いでいたということは、障害物を注視する時間が長くなっている可能性がある。

では、転倒リスクの高い高齢者ではどのようにになっているのだろうか? PatlaらやLowreyらの報告のように障害物を跨ぐという行動ではないものの、Chapmanら(4)は、ターゲットへの視線行動が転倒の危険性と何らかの関係があるのではないかと予想した。9mの歩行路の中央に1.84m間隔で配置された2つのターゲット(横幅19cm×縦41.5cm)がある。実験参加者には、その2つのターゲットを踏んで通過することが求められ、その際の視線行動を調査した。すると、転倒の危険性が高いと判断された高齢者の視線行動は、転倒危険性が低い高齢者や若年者と比べて、1つめのターゲットから視線が外れるのが有意に早く、1つめのターゲットに到達する前に既に2つめのターゲットへ視線が向けられていたのである。一見、Patlaらが報告した『障害物を見るのは2歩前まで』という内容と矛盾が生じるようであるが、障害物を跨ぐという動作とターゲットを踏むという動作では戦略が異なる。限られた領域内に足底を接地させるためには、詳細に注意を向ける必要がある。そのような注意要求課題時における、早期の視線外れは、正確な運動制御を妨害すると考えられる。これが日常であれば、動作の失敗や転倒に結びつく重要な現象である。

歩行を始めたばかりの息子(現在1歳5カ月)は、敷居やカーペットを見ずによく^{つまず}躓いて転んでいる。もう少し息子が大きくなったら私もいうと思う。「ちゃんと下見て歩かないと、転んでしまうよ!」と。
[山田 実]

引用文献

- (1) Patla AE, Vickers JN. Where and when do we look as we approach and step over an obstacle in the travel path? Neuroreport, 8: 3661-3665, 1997.
- (2) Patla AE, Greig M. Any way you look at it, successful obstacle negotiation needs visually guided on-line foot placement regulation during the approach phase. Neurosci Lett, 397: 110-114, 2006.
- (3) Lowrey CR et al. Age-related changes in avoidance strategies when negotiating single and multiple obstacles. Exp Brain Res, 182: 289-299, 2007.
- (4) Chapman GJ, Hollands MA. Evidence for a link between changes to gaze behaviour and risk of falling in older adults during adaptive locomotion. Gait Posture, 24: 288-294, 2006.

『歩行+ α 』は転倒のリスクを反映する

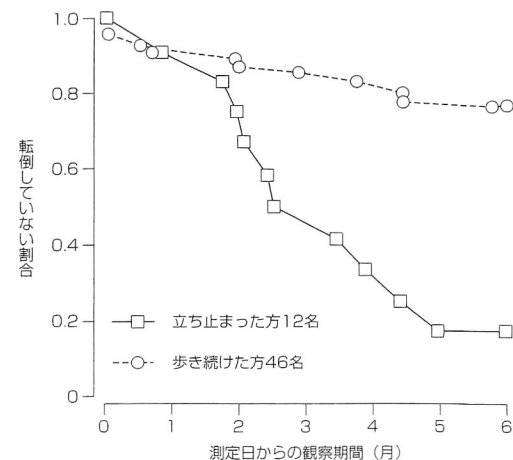
あなたは何の目的で移動しますか？きつと多くの方が、あまり考えたことが無いかも知れない。しかし移動には必ず、目的が備わっているはずである。例えば、『飲み物を取りに行くために冷蔵庫へ向かう移動』、『手を洗うために洗面所まで向かう移動』など、必ず何らかの目的が備わっている。もし仮に、目的なくウロウロとしている場合であっても、何か考え事をしていたり、何か不安に思うことがあったりと、ただ単に“移動”だけを行うことはあまり無いはずである。このように何気なく行っている行動であっても、高齢者にとってみれば“複雑な移動”であり、“難易度の高い移動”なのである。そして、高齢者にとって脅威となる転倒も、このような“複雑な移動”と関連しているのではないかと考えられるようになった。

近年、転倒のリスク評価として、二重課題 (dual-task) 条件下での測定が注目されている。Dual-taskとは、2つの異なる課題 (例えば、歩行+計算など) を同時に行うというものである。心理学の分野では古くから用いられてきた dual-task が、転倒の分野でも注目されるようになったきっかけは、1997年にLundin-Olssonら (1) が報告した『歩いている最中に年齢を尋ねられ、立ち止まってしまふ高齢者は、転倒の危険性が高くなる』という内容の論文にある (図)。この報告には賛否があったものの、この報告以後、転倒と dual-task に関する報告が飛躍的に増大した。

“歩行+ α ”の dual-task に用いる課題には、水の入ったコップを把持する、計算を行う、語想起を行うなど様々なものが報告されているが、中でもBeauchetら (2, 3) が報告しているカウンティング課題は簡便である。カウンティング課題とは、提示された数字 (例えば80) から1ずつ引いていく (80, 79, 78, 77, 76…) というものである。Beauchetら (2) は、虚弱高齢者に対して、歩行だけの条件 (single-task) と、カウンティング課題を行いながらの歩行条件 (dual-task) の2条件で歩行時間と歩数を計測したところ、dual-task 条件で歩行時間と歩数はともに増大することを報告した。次にBeauchetら (3) は、カウンティング課題の達成度に注目した。377名の高齢者を対象に、座位でのカウンティング数 (single-task) と歩行中のカウンティング数 (dual-task) の割合を算出し、測定日から12カ月間の転倒発生調査を行った。すると、驚くべきことに、dual-task 条件でのカウンティング数が、single-task 条件でのカウンティング数を上回っていた高齢者では実に78%が転倒した。反対に、dual-task 条件でのカウンティング数が、single-task 条件でのカウンティング数を下回っていた高齢者の転倒発生は6%に留まった。この結果は、Lundin-Olssonらの報告と同様であり、歩行中に他の課題に注意を向けすぎた場合に転倒の危険性が増大することを示している。この結果を日常生活に置換すると、“何を飲もうかな？”ということなどに注意を向けすぎた場合、敷居やカーペットなどの障害物に注意が向け

歩行中に「おいっつですか？」と質問

立ち止まって答えた方: □
歩きながら答えた方: ○



図：立ち止まって答えた方では、6カ月以内に転倒する割合が高くなっていった。

(Lundin-Olsson L et al. "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. Lancet. 349: 617, 1997.より改変引用)

られずに接触し転倒に至るといったことなどが予想される。

“いろいろな事を同時に行うことができる”ということは、大脳皮質が発達したヒトが得意とすることである。しかしながら、時としてこのような機能があるが故に転倒という事故を導いてしまうのかも知れない。高齢の方が、お茶を持って歩いていたら、そっと忠告してあげて下さい、「飲んでから歩いた方がいいですよ」と。

[山田 実]

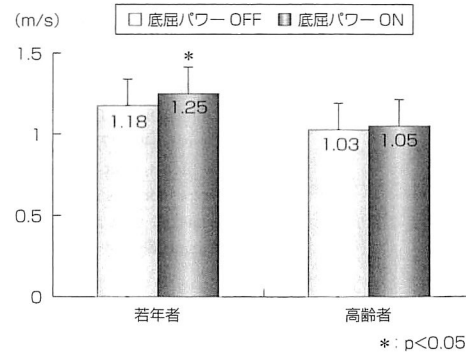
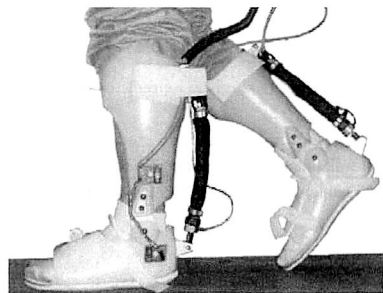
■引用文献

- (1) Lundin-Olsson L et al. "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. Lancet, 349: 617, 1997.
- (2) Beauchet O et al. Relationship between dual-task related gait changes and intrinsic risk factors for falls among transitional frail older adults. Aging Clin Exp Res, 17: 270-275, 2005.
- (3) Beauchet O et al. 'Faster counting while walking' as a predictor of falls in older adults. Age Ageing, 36: 418-423, 2007.

足首のパワーをつけても速く歩けない高齢者

近年の少々過熱気味である健康ブームの中、手軽にできるウォーキングは年代を問わず人気であり、「歩き方」についてのウォーキング教室も盛況であるという。「踵から着地し、しっかりとつま先で地面を蹴って、さっそうと歩きましょう！」ウォーキング指導でインストラクターがよく口にするセリフのひとつである。しかし、つま先で蹴り出す、すなわち足関節底屈パワーを高めると本当にさっそうと速く歩けるのだろうか？

足関節底屈の最大パワー値は高齢者では若年者と比較すると20～40%低下するといわれており、また実際に歩行解析装置を用いて歩行の蹴り出し期における足関節底屈パワー値を算出すると、高齢者では17%低下していることが報告されている(1)。さらに、多くの横断的研究によって高齢者における足関節底屈筋パワーと歩行速度とは関連がみられることが示されている。このようなことから、足関節底屈パワーの低下が加齢による歩行速度低下の主要な原因と考えられている。一方、歩行速度というのは、高齢者の総合的な移動能力を評価する指標として広く用いられており、また将来の要介護化に対する機能予測の決定因子であるともいわれており、非常に重要な意味をもつ。しかし、足関節底屈筋パワーが特異的に歩行速度と関連がみられるかど



図：歩行蹴り出し強化装具による歩行速度の変化

歩行の蹴り出し期に足底屈パワー力を付加する装具（左図）を装着して歩行したときの歩行速度の変化を示す（右図）。装具により蹴り出し期に足底屈パワーを増強させると、若年者では歩行速度が上がるが、高齢者では歩行速度は変化しない。

(Norris JA et al. Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults. Gait Posture. 25: 620-627. 2007.より引用)

うかは不明であり、足関節底屈パワーを強くすると、本当に速く歩けるようになるのかどうかについては、実はまだ疑問点が多く残されているのである。

そんな疑問に対して非常に興味深い実験をしている研究がある。歩行の蹴り出し期に外部装置から供給された力によって足関節底屈パワーを増強させる装具（図）を装着して歩行したときの歩行速度の変化を調べた研究である。蹴り出し期に足関節底屈パワーを付加する装具の機能をONにしたときは、装具の機能がOFFのときと比べて、若年者では歩行速度の向上がみられた。しかし、高齢者においては、装具の機能をONにしたときに若年者と同程度の足関節底屈パワーが十分付加されていたにもかかわらず、歩行速度は変化しないことが明らかとなった(2)。この研究の意味するところは、若年者では足関節底屈パワー増強にすぐ対応して全身の姿勢を調節する機能が備わっており、足関節底屈パワー増強に伴って前方への推進力を得ることができた。しかし、高齢者では足関節底屈パワー増強にすぐ適応するだけの姿勢調節機能が備わっていないことから、歩行速度は向上しなかったと考えられ、高齢者では足関節の単関節だけに働きかけても歩行時の推進力を向上させるだけの効果は得られないことを示唆している。

このように、高齢者では足関節底屈パワーすなわち足関節での蹴り出し力を高めたからといって、それだけでは速く歩けるようになるとは限らない。よくあるウォーキング指導でのセリフでの「しっかりとつま先で地面を蹴り出すと、さっそうと速く歩ける」、高齢者にとってはそんな単純なことではなさそうである。 [池添 冬芽]

引用文献

- (1) Judge JO et al. Step length reductions in advanced age: the role of ankle and hip kinetics. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 51: M303-312. 1996.
- (2) Norris JA et al. Effect of augmented plantarflexion power on preferred walking speed and economy in young and older adults. Gait Posture. 25: 620-627. 2007.

自然な歩行～お手本はマサイ族!?!～

あなたは、自分の靴底を注意深く観察したことがあるだろうか。もしなければ、今すぐ履いている靴をチェックしてみよう。できれば履き慣れた靴の底を見るといい。さらに、家族や友人・恋人の靴底もこっそり覗いてみると面白い。あなたは、そこで興味深い共通点を見つけることになるだろう。臭い…ではなく、“踵の外側”が削れている…。これは、私たちが日々の生活の中で、無意識のうちに“踵の外側”から地面に足を着いて歩いているという証拠である。

ヒトの歩行に関する研究は、100年以上前から世界中で行われており、各関節の角度変化や重心の動き、筋肉の活動など、様々な観点から“正常な歩行”が定義されている。その中で、「踵の外側から地面に足を着く」という歩き方は、“正常な歩行”とされており、「足の裏全体から着く」「つま先から着く」といった歩き方は“異常な歩行”として位置付けられている。あなたが発見した共通点は、靴の持ち主が“正常な姿勢で歩いている”という証の1つであるといっても過言ではない。しかし、“正常な歩行”とは、果たしてヒト本来の“自然な歩行”といえるのだろうか。

ヒトが二足歩行を獲得してから数百万年、生活環境はゆっくりと変わり、それに合わせてヒトの体もゆっくりと変化してきた。しかし、この100年あまりの間に、ヒトが歩く環境は、柔らかい土の上から硬いアスファルトへと劇的に変化した。この地面の劇的な変化に対して、ヒトの進化が追いつかないことは容易に想像できる。この変化に適応し、より快適に歩くためにヒトは靴を作り、現在も日々研究が行われている。その中で、“自然な歩き方”に注目し作られたのが、アスファルトの上でも素足で土の上を歩く感覚を再現できるといわれている“Masai Barefoot Technology (以下MBT)”である。MBT靴は、その名の通りアフリカのマサイ族の歩き方を参考に作られた靴である。マサイ族は、非常に美しい姿勢で歩く民族といわれており、腰や膝の痛みを訴えることがほとんどないことでも知られている。アフリカの大自然の中で生活しているマサイ族の歩き方は、まさに“自然な歩行”といえるだろう。では、この靴を履くと、いったいどのような歩き方になるのだろうか。

MBT靴には、素足で土の上を歩く感覚を再現するために靴底を舟底形にし、特殊なクッションが踵に挿入されている。また、MBT靴を履いて歩く際は、第5中足骨莖状突起（足部の外側中央付近）から接地するため、正常歩行でいうところの踵接地はない。これらのことから、通常の靴と比較して、MBT靴を履くことで足を接地する瞬間に何らかの変化が生じると考えられる。Jacqueline (1) らは、MBT靴を履くことで下腿の筋活動がどのように変化するかを調査した研究の中で、足を接地する瞬間の腓腹筋の活動が、通常の靴と比較して明らかに増加し、前脛骨筋の活動が減少することを報告している。これは、通常、足関節の後面を通り、ブレーキに作用するは

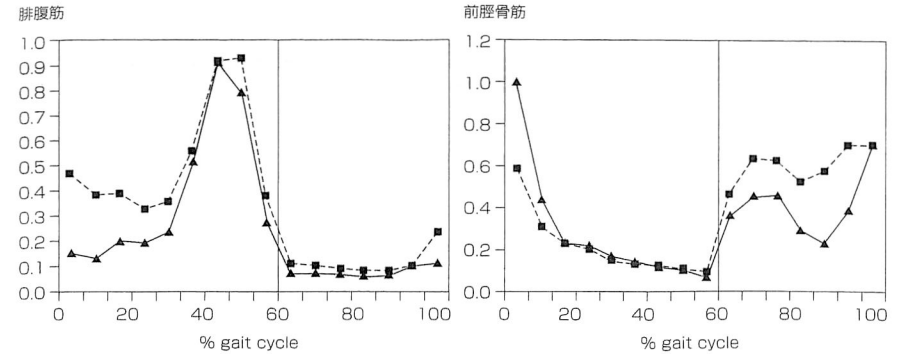


図1: MBT靴を履いたときの筋電図波形。実線が通常靴、破線がMBT靴。0%が踵接地、0～60%が立脚相、60～100%が遊脚相(Romkes J et al. Changes in gait and EMG when walking with the masai barefoot technique. Clin Biomech (Bristol, Avon), 21: 75-81, 2006より一部改変)

ずの床反力ベクトルが、足関節の前面を通ることを示している。つまり、MBT靴を履くことで、できるかぎりブレーキをかけず、効率よく歩くことができる可能性を示唆している。

さらに、Nigg (2, 3) らは、変形性膝関節症患者がMBT靴を履くことで、膝関節の歩行時痛が軽減したと報告している。これは、床反力ベクトルを考えることで説明できる。足の第5中足骨莖状突起から足を着くことで、この床反力のベクトルはより膝関節の関節中心に近い位置を通ることが推測される。その結果、膝関節が床反力ベクトルから受ける外的モーメントが減少し、膝関節にかかる負担が軽減したのではないかと考えられている。

さて、ここまで私の話にお付き合いいただいたお礼に、あなたに“自然”な歩行を体感していただきたい。方法は至ってシンプル。ただ布団の上を歩くだけ。これが、不思議なことに無意識に踵からではなく、第5中足骨莖状突起から足を着く感覚が味わえる方法なのである。

[竹岡 亨]

■参考図書

嶋田智明, 平田総一郎. 筋骨格系のキネシオロジー. 医歯薬出版. 2007.

■引用文献

- (1) Romkes J et al. Changes in gait and EMG when walking with the Masai Barefoot Technique. Clin Biomech (Bristol, Avon), 21: 75-81, 2006.
- (2) Nigg BM et al. Unstable shoe construction and reduction of pain in osteoarthritis patients. Med Sci Sports Exerc, 38: 1701-1708, 2006.
- (3) Nigg B et al. Effect of an unstable shoe construction on lower extremity gait characteristics. Clin Biomech (Bristol, Avon), 21: 82-88, 2006.

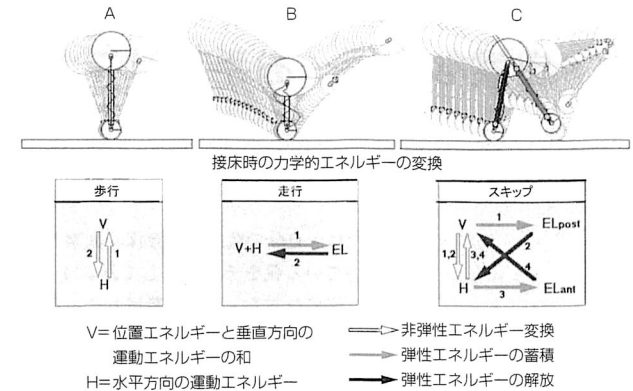
「歩く」と「走る」はどこで切り替わる？

例えば、目的地まで移動する用事がある場合、まず、あなたはどの移動手段を用いるだろう。たとえば、特に急いでいない場合には電車とバスを選ぶし、急いで行きたい場合には、タクシーを用いることになるかもしれない。このときの移動手段の選択基準は、「速さ」と「経済性」ではないだろうか。しかし、基本的な移動手段である「歩行」と「走行」について、我々はどのようにこれらの移動方法を選択しているのだろうか？

Saibeneらは各種の移動のエネルギーコストについてまとめている(1)。歩行は、力学的に、身体の重心点と足の接床点を結んだ振り子「倒立振り子 (inverted pendulum)」とみなすことができる(図A)。このモデルで考えると、足が着地した瞬間は、倒立振り子が最も傾斜した状態であり、重心点の進行方向への移動速度が速いが、重心点は最も低い位置にある。いい換えると、運動エネルギーは高いが、位置エネルギーは低い状態である。次に、振り子は最も直立した状態にあるときには、進行方向への移動速度は遅いが、重心点は高い。いい換えると、運動エネルギーが小さく、位置エネルギーが大きい状態となる。歩行は、まさに振り子のように、着地した時の運動エネルギーをいったん位置エネルギーに変換し、その後、位置エネルギーを運動エネルギーに変換するというエネルギー変換によって効率的に行われている。しかし、位置エネルギーから運動エネルギーへの変換は重力によるため、どのような速度で歩いたとしても、位置エネルギーからは一定の加速度しか得られない。したがって、歩行は、遅すぎても速すぎても、そのエネルギー効率が低下することになる。最小のエネルギーコストとなる歩行速度は、だいたい時速4km/時であるとされる。この速度だと、体重1kgにつき、1m進むのに約2Jのエネルギー消費ですむことになる。

一方、走行のモデルは「はずむボール (bounding ball)」として知られている(図B)。歩行と異なり、走行では両足とも地面から離れる「両脚遊脚期」が存在する。この時期には位置エネルギー、運動エネルギーともに高くなり、足が地面についているときにはともに低くなる。したがって、歩行とは異なり、この2つのエネルギーの間でエネルギー変換が行われているわけではない。走行モデルで決定的な役割を果たしているのは身体にある「ばね」(筋や腱の弾性)である。「両脚遊脚期」における高い位置、運動エネルギーを、着地に伴ってばねに蓄積し、これらのエネルギーを次の「両脚遊脚期」に利用することにより、走行のエネルギーを発生させているのである。このモデルから考えると、歩行とは異なり、速度が大きくなってもエネルギーの損失の程度はあまり変化しない。走行に必要なエネルギーコストはだいたい体重1kgにつき、1m進むのに約4Jとされる。

以上のような歩行と走行の違いから考えると、移動速度が徐々に速くなっていくと、



図：3つの移動様式（A.歩行、B.走行、C.スキップ）における力学的パラダイム。上段はそれぞれの移動様式の模式図、下段は力学的エネルギーの変換を示している。歩行はV（位置エネルギーと垂直方向の運動エネルギーの和）とH（水平方向の運動エネルギー）の変換、走行はVとHの和が、弾性エネルギー（EL）に変換されている。スキップは両者の組み合わせとなっている（ELantは前にある足の弾性エネルギー、ELpostは後ろにある足の弾性エネルギーを示す）。

(Saibene F, Minetti AE. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. Eur J Appl Physiol. 88: 297-316, 2003.より改変引用)

ある時点で歩行と走行のエネルギーコストは逆転する。実際、時速6-8km/時程度の移動速度で、我々は歩行から走行にシフトする。つまり、歩行と走行の切り替わりは、エネルギーコストに応じてなされるのである。

さて、「歩行」と「走行」以外の移動方法としてスキップがある(図C)。日常的な移動手段にスキップを行う人はあまり見かけない。この理由は、歩行、走行の切り替わりと同様に、エネルギーコストで考えることができる。つまり、人間の通常行う移動速度では、スキップのエネルギーコストが高すぎるためである。まあ、エネルギーコストを払ってもよいと思うぐらいに、うれしいことがあった時はこの限りではない。

[大畑 光司]

参考文献

- (1) Saibene F, Minetti AE. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. Eur J Appl Physiol. 88: 297-316, 2003.

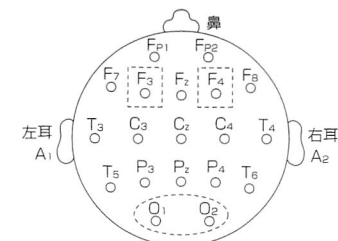
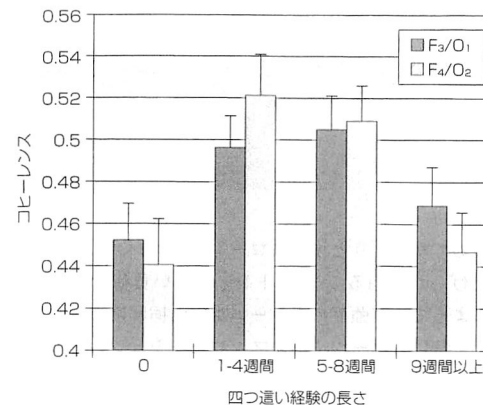
ハイハイで世界観が変わる赤ちゃん

1歳までの赤ちゃんをもつ親にとって、運動の発達に伴って、ひとつひとつできることが増えていくことは、なによりの喜びであろう。ほんの数カ月前まで首も座らなかったわが子が、自分の意思でハイハイをして、好きな場所へ向かって進むことができるようになる。「這えば立て、立てば歩めの親心」というように、親にとって運動の発達は、感動的な子供の成長の証であるといえる。

ハイハイ（特に手と膝を床について行う四つ這い）ができるようになることは、単に移動ができるということを示すだけではない。四つ這い移動を始める前の赤ちゃんの行動範囲は手の届く範囲内であり、興味の対象もその範囲に限られる。しかし、四つ這い移動を始めることにより、部屋の中のあらゆるところが行動範囲に含まれることになる。したがって、それまで手が届かないので興味の対象から外れていたところにも興味を抱くようになる。それは結果的に、認識の範囲を広げることにつながる。

しかし、四つ這い獲得による、もっとも重要な変化は空間の認識の仕方の変化である。一般的に、8カ月前の赤ちゃんの多くは「自己中心的」な空間の認識を行っていると言われる。ここでいう「自己中心的」という意味は、自分を中心とした位置関係で空間を認識するということである。このため、例えば乳児期前半の赤ちゃんでは、自分の向きを変えられると周りのものの位置関係を誤ってしまうというようなことが多く生じる。このような誤りは、赤ちゃんを中心とした座標のみによって認識し、その位置関係が相対的なものであることに気づいていないことを意味している。これに対して、四つ這い移動を行っている赤ちゃんでは、このような誤解は少なくなる。四つ這いで移動すると自分に対する物の位置関係が変化するため、「自己中心的」な視点ではすぐに目標を見失うことになってしまう。したがって、遠くにある玩具に向かって間違いなく進むには「自己中心的」ではなく、外部の基準に基づいた空間認識や記憶が必要となる。このように四つ這い移動の獲得は、空間に対する認識や記憶の発達に決定的な影響を与えていると考えられる。しかし、移動方法としては必ずしも四つ這いでないといけないわけではない。空間の認識の発達は、四つ這い移動ができない赤ちゃんでも歩行器歩行を行うことによって得られる。つまり重要なのは「自分で移動する経験」であり、この経験が赤ちゃんの見ている世界を変えていくのである。

四つ這いによって空間認識の変化が生じるときに、赤ちゃんの脳にはどのような変化が生じているのだろうか。そんな研究が脳波コヒーレンス解析という方法を用いて調べられている（図）。脳波コヒーレンス解析とは、頭に電極をつけていくつかの箇所を計測し、それぞれの箇所同士のコヒーレンスを調べることで、脳の部位間での関連性を調べる方法である。コヒーレンスが高いということは2つの箇所の



左図：四つ這い経験の長さや脳波コヒーレンスの関係を示している。前頭部（F₃、F₄；右図の破線の四角）と後頭部（O₁、O₂；右図の破線の丸）の間のコヒーレンスを示している。四つ這い開始前（“0”の時期）に比べて、1-4週間、5-8週間の時期のコヒーレンスは増加しているが、9週間以上では低下している。

右図：脳波の電極添付位置

(Bell MA, Fox NA. Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: evidence from EEG coherence. *Dev Psychobiol*. 29: 551-561, 1996. より改変引用)

関連性が高いということであり、皮質間結合の強さを表すと考えられる。Bellら（1）は、四つ這い獲得の前後で、安静時の脳波コヒーレンスがどのように変化するかを調査した。その結果、運動プログラムの形成にかかわる運動前野の位置に相当する前頭部と視覚システムにかかわる後頭部の関連性が、四つ這いを開始して間もない頃の赤ちゃんで高くなっていることが示された。このことは四つ這いが開始される時期に、運動の計画に関連する部分と視覚にかかわる部分の結びつきが強まることを意味していると考えられる。さらに、このような変化は四つ這いを始めてから長い期間が経過しているような場合では見られなくなっていた。おそらく、四つ這い運動に慣れることにより、移動と空間認知の関係も自動的に処理されるようになってきているのではないかと考えられる。

赤ちゃんが、周囲の状況に関心を持つことは知識のはじめだといえるだろう。興味深いことは、周囲の状況を理解してから動くのではなく、経験することが周囲の状況に対する理解を変えていくということである。

[大畑 光司]

■参考図書

無藤 隆. 赤ん坊から見た世界 言語以前の光景. 講談社現代新書, 1994.

■引用文献

- (1) Bell MA, Fox NA. Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: evidence from EEG coherence. *Dev Psychobiol*. 29: 551-561, 1996.

低強度でトレーニングするなら超ゆっくり！

運動速度をきわめてゆっくりとするスロートレーニング「スロトレ」が最近多くのメディアで取り上げられている。「スロトレ」は軽い負荷であっても、運動反復速度を遅くすることによって、高強度のトレーニングと同程度のトレーニング効果が得られるということで、特にスポーツやヘルスプロモーションの分野において注目されている。

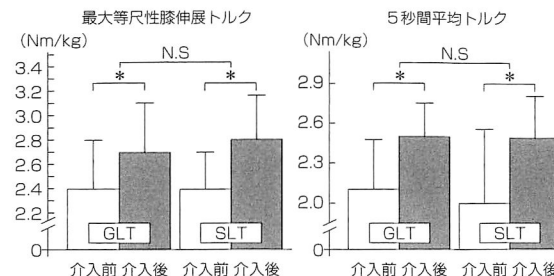
Tanimotoら (1) は健康若年男性を対象にした週3回12週間の膝伸展筋力トレーニングの効果について、低強度 (50% 1RM以下) で反復運動速度を遅くし、かつ筋を弛緩させずに筋収縮を持続した状態のまま行うスロートレーニングと、高強度 (80% 1RM以下) の通常速度で行うトレーニング、低強度の通常速度で行うトレーニングの3種類で比較している。トレーニングの結果、低強度スロートレーニングおよび高強度通常速度トレーニングでは筋肥大および筋力増加が認められたが、低強度通常速度トレーニングでは変化がみられなかったとしている。

それでは、なぜスロートレーニングでは負荷が軽くても筋肥大および筋力増強が可能なのでしょうか？それは、ゆっくりと運動を反復し、筋の収縮を長く持続することで筋内の血流が制限されて酸素飽和度が下がり、乳酸が生成されることによって、成長ホルモンの分泌が上昇するためとされている。これはちょうどバンドなどで筋を締めつけて筋の虚血状態をつくってトレーニングする「加圧トレーニング」と同じメカニズムである。

このような低負荷でのスロートレーニングは血圧や脈拍の上昇も少なく、筋骨格系の傷害の起こるリスクも少ないことから、高齢者や低体力者に対しても比較的安全に実施できるものと思われる。

高齢者を対象としたスロートレーニングの効果についても報告がされている (2)。健康高齢者に週2回6カ月間の低強度・低速度反復のスロートレーニングおよび高強度・通常速度反復の通常トレーニングを実施した結果、最大等尺性筋力および筋持久力はスロートレーニング群、通常トレーニング群ともに有意に向上し、両群に有意な違いはみられなかったことが示されている (図)。すなわち、高齢者に対して筋力トレーニングを実施する場合、低負荷であってもゆっくり運動を反復することによって、高強度と同程度の筋力・筋持久力向上効果が得られることが明らかとなった。

低負荷でも筋肥大・筋力増強が可能なスロートレーニングは高齢者にとっては利点も多い。確かに、高齢者に対するスロートレーニングは低負荷で心血管系・筋骨格系に対するリスクも少なく、筋肥大・筋力増強を目的として、ある時期に行うのであれば有用であろう。しかし、スロートレーニングは最大等尺性筋力が増強することは証明されているが、高速度でのパワー向上に対する効果は不十分とされている (1, 2)。



図：スロートレーニングにおける最大筋力および筋持久力の変化
GLT (general low-velocity training)：通常トレーニング
SLT (super low-velocity training)：スロートレーニング
最大筋力 (等尺性膝伸展トルク：左図) および筋持久力 (5秒間平均トルク：右図) はスロートレーニング群、通常トレーニング群ともに有意に向上し、両群に有意な違いはみられなかった。
(Mukaimoto T et al. Effects of low-intensity and low-velocity resistance training on lower limb muscular strength and body composition in elderly adults. Jpn J Phys Fitness Sports Med. 55 (Suppl): 209-212, 2006. より引用)

すなわち、高齢者が苦手とする素早い動きを獲得したければ、スロートレーニングだけではなくスピードトレーニングが必要であると考えられる。また、力を持続的に入れて脱力する時間がないスロートレーニングでは、余分な筋収縮をさせずにいかに協調性のあるスムーズな動きを行うかということを考えると不都合が出てくる可能性もある。トレーニングに限らないことであるが、流行に流されず、目的やメリット・デメリットをよく考えて、何が今の時期に必要なのかを見極めることが大切である。

[池添 冬芽]

■参考文献

- (1) Tanimoto M, Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. J Appl Physiol. 100: 1150-1157, 2006.
- (2) Mukaimoto T et al. Effects of low-intensity and low-velocity resistance training on lower limb muscular strength and body composition in elderly adults. Jpn J Phys Fitness Sports Med. 55 (Suppl): 209-212, 2006.

筋肉の質に対するアンチエイジング

「アンチエイジング(老化防止)」という言葉が最近よく耳にするようになってきた。女性のお肌に対するアンチエイジングについては、化粧品や健康食品・サプリメントなど次から次へと新しい商品が開発されている。一方、筋肉に対するアンチエイジングについては、筋力トレーニングがその対策として最も一般的であるように、老化により筋肉が萎縮する、筋力が弱くなることはよく知られているが、筋肉の質も衰えるということあまり知られていないのではないだろうか？

筋の質が低下する例として、たとえばタイプII線維の選択的萎縮が挙げられる。高齢によって、タイプI線維(遅筋線維)よりも、収縮速度が速く速やかに大きな力発揮ができるタイプII線維(速筋線維)が特に萎縮するため、高齢者では素早く筋を収縮することが困難となる。また、図1に示すように膝屈伸方向に最大随意収縮をしたときの筋電図をみると、高齢者では若年者に比して主動作筋の活動減少がみられるだけでなく(図1右図)、拮抗筋の共収縮(co-activation)の増加(図1左図)がみられることが報告されている(1)。この拮抗筋の共収縮の増加は協調的な関節運動を阻害し、筋力を発揮する能力に影響を及ぼす。

さらに、高齢者の骨格筋は若年者と比較して収縮組織が少なく、非収縮組織(脂肪

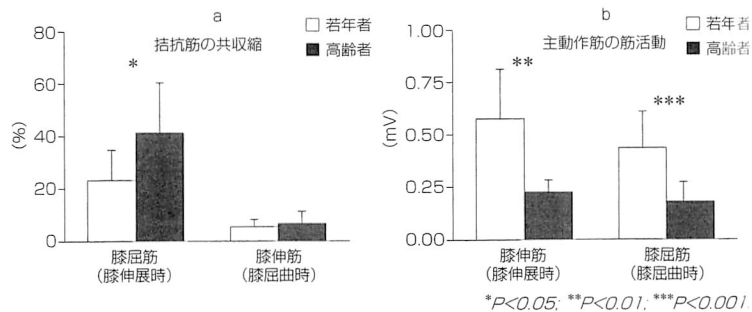
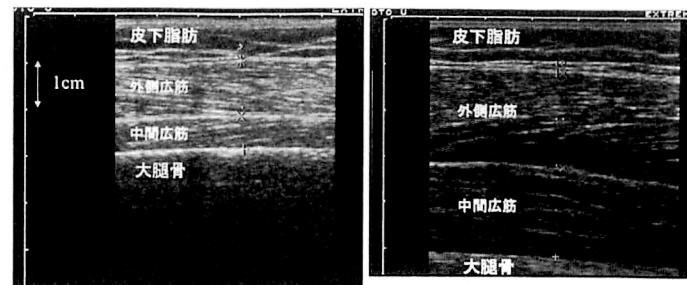


図1: 若年者および高齢者の膝屈伸収縮時における主動作筋および拮抗筋の筋活動
(a) 膝屈伸の最大随意収縮時の拮抗筋の共収縮; 膝伸展収縮時の膝屈伸筋(大腿二頭筋)の共収縮、および膝屈伸時時の膝伸筋(外側広筋)の共収縮を調べると、高齢者では若年者と比較して膝伸展時に拮抗筋である膝屈伸筋の共収縮が強いことがわかる。
(b) 膝屈伸の最大随意収縮時の主動作筋の筋活動; 高齢者では若年者と比較して、膝屈伸時の主動作筋の筋活動が低いことがわかる。
(Macaluso A et al. Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. Muscle Nerve, 25: 858-863, 2002.より引用)



高齢者の大腿四頭筋

若年者の大腿四頭筋

図2: 高齢者と若年者の大腿四頭筋の超音波画像
超音波診断装置による大腿四頭筋(外側広筋および中間広筋)の縦断面の画像を示している。高齢者(左図)は若年者(右図)に比較して、大腿四頭筋が高輝度にうつる。(池添冬芽ほか、加齢による大腿四頭筋の形態的特徴および筋力の変化について 高齢女性と若年女性との比較。理学療法学, 34: 232-238, 2007.より引用)

や結合組織)が多いことが報告されており、近年、筋内脂肪の増加、あるいは筋密度の低下の現象に着目して多くの研究がされている。超音波診断装置で骨格筋をみると、高齢者では若年者と比較して筋厚の減少すなわち筋量の減少がみられるだけでなく、筋が白っぽく高輝度にうつる(図2)。これは高齢者の骨格筋では筋組織が少なく、脂肪や結合組織の比率が増加していることを示し、筋断面積(筋厚)の減少として現れている以上に、筋実質組織の減少が生じていることを意味する。筋内脂肪や筋密度は下肢の等速性筋力や筋パワーと関連するといわれており、高齢者における筋内脂肪の増大や筋密度の低下が立ち上がりや歩行・階段昇降能力などの動作能力低下と関連性がみられることも明らかにされている(3)。したがって、筋肉の老化防止対策については、筋量を維持・向上するだけでなく、筋肉の質を維持することも重要なのである。幸いにも筋肉の質に対する老化予防対策に関する介入研究も既にされており、高齢者の身体活動・運動は加齢による筋力低下を予防するだけでなく、筋への脂肪浸潤増加をも予防できる、すなわち筋肉の質を維持する効果があることが証明されている(4)。

筋内脂肪が適度にある、いわゆる「霜降り肉」は、牛肉であれば歓迎されるのだが、残念ながらヒトの筋肉ではあまり喜ばしいことではなく、アンチエイジング対策が必要なのである。 [池添 冬芽]

引用文献

- (1) Macaluso A et al. Contractile muscle volume and agonist-antagonist coactivation account for differences in torque between young and older women. Muscle Nerve, 25: 858-863, 2002.
- (2) 池添冬芽ほか、加齢による大腿四頭筋の形態的特徴および筋力の変化について 高齢女性と若年女性との比較。理学療法学, 34: 232-238, 2007.
- (3) Visser M et al. Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 60: 324-333, 2005.
- (4) Goodpaster BH et al. Effects of physical activity on strength and skeletal muscle fat infiltration in older adults: a randomized controlled trial. J Appl Physiol, 105: 1498-1503, 2008.

振動刺激でカラダが鍛えられる？

通信販売で最近よくお目見えする全身振動刺激トレーニングマシン。「何もしないで楽にマシンの上に立っているだけで、簡単にカラダが鍛えられます」という、うたい文句が消費者の購買心をくすぐる。その一方で、「本当にただ楽に立っているだけで筋力が向上するのか？」という疑いの念を抱く消費者も中にはいるであろう。

海外の研究論文をみても、全身振動刺激によるトレーニング効果に注目した研究がされている。Delecluseら(1)の健常若年女性に対して週3回12週間、全身振動刺激マシンの上で片脚スクワットやしゃがみこみ動作などを行うトレーニングの効果を見た研究によると、振動刺激を加えながらトレーニングをした群では膝伸展筋力が向上し、ジャンプ力も高まったが、振動刺激を加えずに同様のトレーニングを行ったコントロール群では変化がみられなかったことが報告されている。

さらには、高齢者に対しても全身振動刺激トレーニングが試みられている。Reesら(2)は健常高齢者を対象に週3回8週間、全身振動刺激マシン上で両脚スクワットや踵挙げなどのトレーニングを行った結果、振動刺激を加えた群でも加えなかった群でも膝伸展筋力、膝屈曲筋力、足底屈筋力の向上がみられ、足底屈筋力については振動刺激を加えた群の方がより改善率は高かったとしている(図1)。なぜ足底屈筋力にのみ振動刺激による効果の差がみられたのかについては、振動板に近接している筋の方がより効果があらわれやすいため、膝関節周囲筋よりも足関節周囲筋に及ぼす影響が大きかったのではないかと説明している。

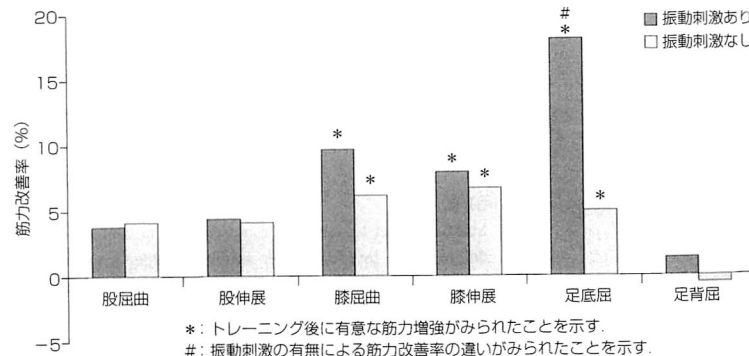


図1: 振動刺激トレーニングによる下肢筋力の改善率

(Rees SS et al. Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial. Phys Ther. 88: 462-470, 2008.より引用)

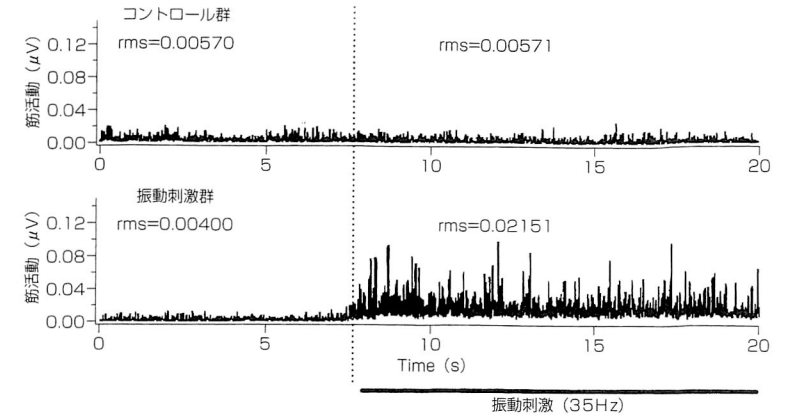


図2: 振動刺激の有無による下腿三頭筋の筋活動の違い

スクワット時に振動刺激を加えた方が(下段図)、振動刺激を加えないよりも(上段図)、下腿三頭筋の筋活動量は増加する。rmsはRoot means squareによる筋活動量を示す。(Delecluse C et al. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. Med Sci Sports Exerc. 35: 1033-1041, 2003.より改変引用)

このように、振動刺激を加えたトレーニングはプラスαの効果をもたらしてくれるようである。そもそも、なぜ振動刺激を加えると筋力トレーニング効果が高まるかという、振動刺激により感覚受容器、特に筋紡錘が刺激され、筋収縮を指令するα運動ニューロンを活性化させるといわれている。筋電図を用いて振動刺激の有無による下腿三頭筋の筋活動量の違いを比較した研究によると、振動刺激マシン上で振動刺激を加えながらスクワットした方が、振動刺激を加えない場合よりも筋活動が増加する現象がみられるとされている(図2)。

ただ、振動刺激により筋収縮が促されるといっても、前述の研究論文で示されているように、若年者では片足でのスクワット、高齢者では両足でのスクワット程度のトレーニングをしないと、すなわち筋に対してある程度の負荷を与えないと振動刺激によるトレーニングのプラスα効果はあらわれにくいと考えられる。「ただ楽に立っただけで筋力が向上する」ことを示した論文はまだみられず、これまでに効果があると報告されている振動刺激トレーニングは、決して「楽」ではなく、非常に「しんどい」運動なのである。すなわち、通信販売でのうたい文句のように、「何もしないで楽にカラダが鍛えられる」というような夢のようなマシンは現状ではやはりまだ存在しないのである。 [池添 冬芽]

引用文献

- (1) Delecluse C et al. Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. Med Sci Sports Exerc, 35: 1033-1041, 2003.
- (2) Rees SS et al. Effects of whole-body vibration exercise on lower-extremity muscle strength and power in an older population: a randomized clinical trial. Phys Ther, 88: 462-470, 2008.

固有感覚は運動で改善するのか？

我々は目を閉じていても、どの位置に足があるのか、どの程度曲がっているのかを認識することができる。これは筋・腱・関節などの固有受容器からの情報によって、関節の位置や運動速度、発揮している筋力などを感知する感覚である、「固有感覚」によるためである。

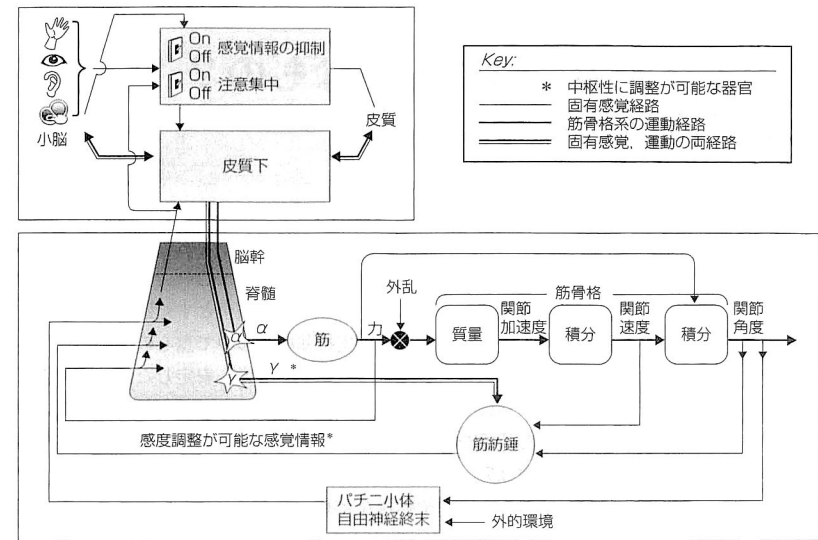
この固有感覚はスポーツのパフォーマンスに重要であり、不安定板やバランスマットなど感覚情報に集中しながら姿勢を制御するトレーニングが行われている。ではこの練習により固有感覚は改善するのであろうか？また運動にどの程度影響するのであろうか？固有感覚改善の可能性として、末梢の受容器の変化とそれを処理する脳の中枢性の変化の2つに分けて考える。

横紋筋の内部にある筋紡錘は、筋の伸張を感知する器官である。筋紡錘は固有受容器の中で感度を調節できる唯一の受容器であり、指で細かなものをつかむ時など感覚情報に注意が向けられると、一時的に感度を高くして感覚情報を増やそうとする。このため、練習によって感度を高めることができる可能性があるが、残念ながら練習前後で感度が変化したという報告はない。筋紡錘の密度についても、高競技レベルの選手と一般人で差はないとされており、末梢の変化に関しては否定的な意見が多い。

末梢で検知された固有感覚は脊髄を上行し、大脳や小脳に伝えられる。固有感覚の識別課題を繰り返すと、大脳皮質の感覚野での支配領域が2.5~3倍に大きくなることが知られている。また、感覚検査の結果が良くなるにつれて、支配領域は大きくなるとされている。固有感覚の改善は大脳皮質の可塑性変化による可能性が高い。

実際に、高齢者を対象としたバランストレーニングの効果を検討した報告では、固有感覚を関節の動き、位置、速度の3つの感覚識別課題の中で、速度を識別する課題のみが改善がみられたとしている。動きの中で姿勢を制御するバランストレーニングでは、関節速度の情報が重要であり、関節の速度を識別する能力が向上すると考えられる。このように固有感覚は練習により改善する。

では、固有感覚は運動にどの程度関与するのであろうか？ジャンプの着地時には床面から受ける反力によって足部が急激に内反する。床反力は床面と足底が接触してから40ミリ秒後にピークを迎えるとされている。一方、入力された固有感覚は脊髄を上行して大脳に至り、運動プログラムに変更されて筋が活動を開始するまでには、少なくとも見積もっても100ミリ秒は必要なため、外乱に対応するには遅すぎる。このため基本的な運動は、脊髄や中脳、脳幹を介した反射によって制御しており、大脳皮質レベルで感覚が改善されてもパフォーマンスの改善にはつながらない。固有感覚練習によって運動パフォーマンスが改善するのは、入力された感覚から適切な情報を選び出し、運動を素早く選択する処理を皮質下で行うようになるからである(図)。例えば、



図：固有感覚に関わる主な感覚、運動経路
上部：中枢神経系での処理を表しており、触覚や視覚などと固有感覚が統合される。運動反復により有用な感覚を選び出し、注意を向ける情報を選択する。感覚入力から運動選択までの時間を短縮することでパフォーマンスを改善させる。
下部：末梢では中枢からの命令に応じて筋活動が起こる。運動の関節角度や速度、加速度が筋紡錘などの受容器により検知され、中枢へと感覚情報を送る。筋紡錘の感度は調節が可能であるが、トレーニング効果は否定的な報告が多い。
(Ashton-Miller JA et al. Can proprioception really be improved by exercises? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 9: 128-136, 2001より改変引用)

片足立ちでは、重心の加速度に注意を集中し、動揺を最小限にしようとする。感覚が良くなるよりも、意識する感覚を絞ることで運動開始までの時間を短縮し、状況に合わせて体を動かすことができるようになる。

感覚に注意を要する運動では、大脳皮質の感覚領域が大きくなることで固有感覚は向上する。しかし、それだけでは運動パフォーマンスに生かされるとは限らない。大脳を使いすぎると、動きが遅くなってしまふ。頭を使いすぎるとも考えものである。

[小栢 進也]

■参考文献
Anne Shumway-Cook 著. 田中 繁, 高橋 明監訳. モーターコントロール 第2版. 医歯薬出版, 2004.

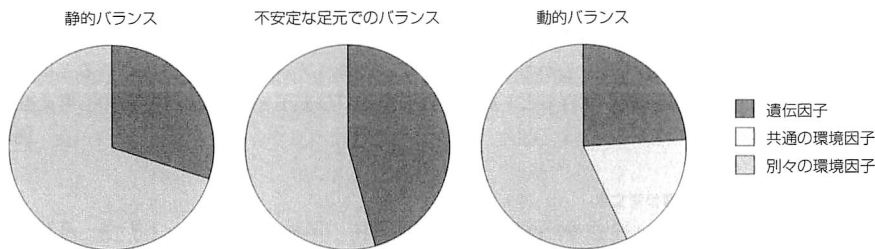
■引用文献
(1) Ashton-Miller JA et al. Can proprioception really be improved by exercises? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 9: 128-136, 2001.
(2) Westlake KP et al. Sensory-specific balance training in older adults: effect on proprioceptive reintegration and cognitive demands. Phys Ther, 87: 1274-1283, 2007.

バランス能力は遺伝的なもの？ 環境因子によるもの？

立つ、歩くなど何気ない動作でも、ヒトが運動するためにはバランスをとる必要がある。赤ちゃんが初めて歩く時のことを考えてほしい。机やイスなど何かにつかまってやっと立ち上がるが、立ち上がっても手を離すとすぐに転んでしまう。何度も立ち上がっては転ぶことを繰り返し、支持基底面の中で重心の移動を減少させるようにバランスのとり方を学習する。さらに、動く中でも安定した姿勢を保つことで、いつの間にか歩けるようになっていく。このように、運動するためには重力や外力に対して身体が安定した状態を保つ必要があり、バランス能力は必要不可欠な要素である。

バランス能力は7～10歳で成人と同程度まで達し、骨や筋の発達と比べて成熟が早い。フィギュアスケートや体操など高度なバランスを要求される競技では、あどけなさが残る選手が活躍しているのはこのためである。バランス能力は20歳をピークに徐々に低下し、病気や不活動によってさらに悪くなる。70歳を超えると視力障害や筋力低下も伴って、足元がふらつく、つまずきやすいなどの症状がみられ、転倒しやすくなり骨折に至ってしまう例もある。実際、80歳の約半数が日常生活で転倒恐怖感を持っており、高齢者にとって加齢によるバランス能力の低下は深刻な問題である。

このようにバランス能力は年齢の影響を受けやすい。しかし、バランス能力は練習によっても向上することも明らかである。床面が動くプラットフォーム上に立ち、突然外乱を加えるとバランスを失うが、何度も繰り返していると次第にバランスを取れるようになる。何とか立つことができる程度の赤ちゃんでさえ、ふらつきが少なくなることがわかっている。では、バランス能力は才能や年齢による低下など遺伝子に組



図：バランス能力の遺伝因子と環境因子の割合

一卵性双生児と二卵性双生児の違いを比較することで、バランス能力の遺伝因子と環境因子の割合を計算している。環境因子は幼い頃などに同じ環境で育った影響を表す共通の環境因子と、成人後など異なる環境下での生活による別々の環境因子に分類している。動的バランスでは環境因子の割合が大きい。

(El Haber N et al. Genetic and environmental influences on variation in balance performance among female twin paris aged 21-82 years. Am J Epidemiol. 164: 246-256, 2006.より改変引用)

み込まれた変えることができない遺伝的な要素か、練習や日常生活の運動習慣のような環境因子か、どちらに影響されやすいのであろうか？

このことを考えるには、双子の能力を比較することが重要な鍵となる。遺伝的要因が完全に一致している一卵性双生児と、遺伝要素の異なる二卵性双生児を比較することで、バランス能力は遺伝的要因が強いのか、環境因子が強いのかを検討することができる。オーストラリアの一卵性双生児と二卵性双生児を対象にしてバランス能力を比較した研究によると、安静立位での重心動揺量のような静的なバランスに関しては30%が遺伝的な因子であり、平衡感覚障害や運動障害など疾患による影響を受けて、70～80歳以降で急に悪化する傾向にある。一方、マットなど不安定な足元でのバランスは遺伝因子が45%と比較的高く、固有感覚受容器の数や特性などの身体的特徴に影響されやすい。さらに、段差昇降など体重の移動を伴いながらの動的なバランスは遺伝因子が24%と最も低く、運動習慣などの影響が強いと報告されている(図)。

スポーツでは片足で踏ん張る、向きを変える、着地するなど動きの中でバランスを保つものがほとんどである。また、高齢者の転倒は動きをともなったバランス能力と関係するとされており、練習により能力を向上させられる可能性が高い。スポーツ場面や高齢者の転倒予防に関しては練習の重要性が高いといえよう。

神から与えられた才能だけではスポーツ選手になるのは難しい。並々ならぬ練習の賜物なのであろう。 [小栢 進也]

■参考文献

Anne Shumway-Cook 著、田中 繁、高橋 明監訳、モーターコントロール 第2版、医歯薬出版、2004。

■引用文献

- (1) El Haber N et al. Genetic and environmental influences on variation in balance performance among female twin paris aged 21-82 years. Am J Epidemiol. 164: 246-256, 2006.
- (2) Pajala S et al. Contribution of genetic and environmental effects to postural balance in older female twins. J Appl Physiol. 96: 308-315, 2004.

いかにバランスを崩せるか！ それがバランスの決め手

バランスが良いとはどのような状態ですか？ この問いに対して、一般には、身体重心が大きく動揺することなく、ある一定の範囲内で落ち着いている状態をイメージすることが多いのではないだろうか。確かに、ある姿勢を保持するためには、身体重心の投影点が支持基底面を外れることなく位置し続けている必要があり、その条件を満たさないと、ヒトは転倒する。バランス能力が低下している高齢者や患者では、重心を一定範囲内で保持しておくことが難しくなる。つまり、重心が四方八方へと動いてしまう状態である。それでは逆に、高齢者や患者では、静止している姿勢から重心を動かすということについては、特に苦勞はないのであろうか。

動き始めにおける重心の制御については、静止立位からの歩き始めなどの課題を通して多く研究されてきた。立位で前方へ歩き始める時、立位時に両足部の中心にあった重心は少し支持脚側へと変位しながら前方へ移動する。この重心の動きについては、我々は容易にイメージすることができる。ではその動きは何によって作り出されるのであろうか。姿勢を保持している状態では、ある一定時間における重心の投影点と足圧中心点の平均位置は一致していると考えてよいが、重心を動かすためには、足圧中心がまずステップ脚側の後方へと変位し、その後ステップ脚の離地とともに急激に支持脚側へと移動する（図1）。足圧中心が重心から引き離されることにより、重心は足圧中心が移動した方向から床反力を受けることができ、動き始めることができるのである（1）。この現象が、重心の動きが生み出される基本の原理である。したがって、重心と足圧中心との位置関係は、バランスの本質に迫る視点であると思われる。それでは、実際に重心と足圧中心との距離に着目して高齢者や患者の姿勢制御の特性を探っている研究を、いくつか見てみよう。

図1：歩き始めにおける身体重心と足圧中心との位置関係
重心は少し支持脚側へと変位しながら前方へ移動するが、足圧中心はまずステップ脚側の後方へと変位し、ステップ脚の離地とともに急激に支持脚側へと移動する。
(市橋則明編. 運動療法学 障害別アプローチの理論と実際. 文光堂, pp.16-18. 2008. より引用)

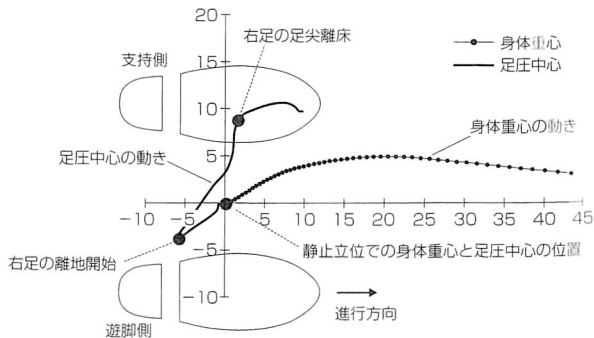
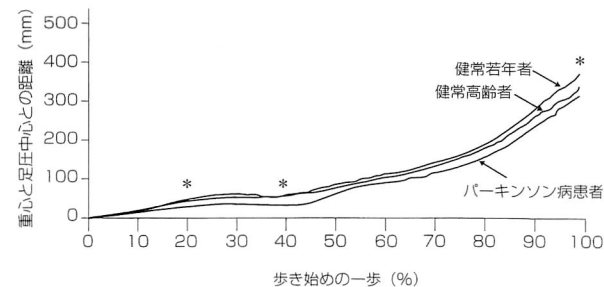


図2 歩き始めにおける重心と足圧中心の距離の比較
歩き始めの一歩について支持脚の離地を100%として表示。
パーキンソン病患者においては、20%では健常高齢者よりも、40%では健常高齢者および健常若年者よりも、100%では健常若年者よりも、重心と足圧中心との距離が短い。

(Martin M et al. Gait initiation in community-dwelling adults with Parkinson disease: Comparison with older and younger adults without the disease. Phys Ther, 82: 566-577, 2002. より改変引用)



健常若年者と健常高齢者およびパーキンソン病患者を対象として、歩き始めの1歩を分析した報告がある（2）。各群において、全体的な重心と足圧中心の軌跡はそれほど大きく変わらない。しかし、各群の1歩を時間で正規化したうえで、時々刻々の重心と足圧中心との距離を算出すると、全体を通じて健常若年者が最もその距離が長く、パーキンソン病患者が最も短くなる傾向を示した（図2）。また、パーキンソン病患者を機能的な重症度で2群に分類し、先の研究と同じように歩き始めにおける重心と足圧中心との距離を分析した研究（3）では、やはり重症度の高い患者群において、特に支持脚側に足圧中心が移行した時点での重心と足圧中心との距離がより短くなっていることが示されている。重心と足圧中心の距離が短くなることは、効率的に重心の加速が得られないことを示しており、パーキンソン病患者では静止している姿勢から重心を動かすことにも問題があることがわかる。このことは、パーキンソン病患者において問題となりやすい歩き始めの障害、いわゆる“すくみ足現象”と大きく関わっている。現に、歩き始めのごく初期に相当する始めの1歩の20%の時点では、すでにパーキンソン病患者が健常高齢者よりもより長い時間を要することが示されている（2）。

このように、バランス能力が低下すると、重心と足圧中心の均衡を保ちながら姿勢を保持することだけでなく、その均衡を崩すことも難しくなる。安全にすばやく動くためには、いかにバランスを崩すことができるか、それが決め手になるのである。

【建内 宏重】

■参考図書

- 山下謙智編著. 多関節運動学入門. ナッブ, 2007.
- 江原義弘, 山本澄子. 歩き始めと歩行の分析. 医歯薬出版, 2002.

■引用文献

- (1) 市橋則明編. 運動療法学 障害別アプローチの理論と実際. 文光堂, pp.16-18. 2008.
- (2) Martin M et al. Gait initiation in community-dwelling adults with Parkinson disease: Comparison with older and younger adults without the disease. Phys Ther, 82: 566-577, 2002.
- (3) Hass CJ et al. Gait initiation and dynamic balance control in Parkinson's disease. Arch Phys Med Rehabil, 86: 2172-2176, 2005.

高齢者が苦手なバランスと得意なバランス

「高齢者はバランス能力が低下している」ということは、研究者ならずとも一般的に認識されていることであろう。しかし、果たして一概にそういえるだろうか？

バランスが崩れたとき、転倒しないように立位姿勢を立て直すバランス反応には大きく分けて3つのパターンがある。足関節を中心とした運動で反応する足関節戦略(ankle strategy)、股関節を中心とした運動で反応する股関節戦略(hip strategy)、そして足を一步踏み出すステップング戦略(steping strategy)の3つである(図1)。若年者と高齢者では、バランスが崩れたときの反応パターンが異なり、高齢者のバランスの取り方の特徴として、足関節戦略より股関節戦略を用いる傾向が認められる。安静立位時に、その立っている床面を突然動かした際の足関節周りの筋および股関節周りの筋の筋活動のパターンを観察すると、若年者では最初に足関節周りの筋が反応し、少し遅れて股関節周りの筋が反応する(1)。しかし、高齢者では若年者より足関節周りの筋の反応開始までの時間が遅い傾向がみられたり、足関節周りの筋に先行して股関節周りの筋の活動が始まるパターンの者がみられる(1)。また、Mackeyら(2)は身体を前方に傾斜させたときに姿勢を元の後方へ修正する能力を若年者と高齢者で比較を行った結果、高齢者では後方へ姿勢を修正する足関節周りの筋(ヒラメ筋)の活動の開始が若年者と比較して遅いことや、姿勢を修正するときに足関節周りの筋力を大きくかつ素早く発揮する能力も劣っていることを報告している(図2)。

また、バランスが崩れたときに限らず、普段の動作においても、高齢者では足関節戦略より股関節戦略を用いる傾向が認められる(3)。たとえば、側方へのリーチ動作を行うとき、若年者では骨盤をリーチ方向に移動させて足関節を中心に身体全体を傾けて側方移動させるのに対して、高齢者では骨盤を反対方向に移動させ、身体重心の

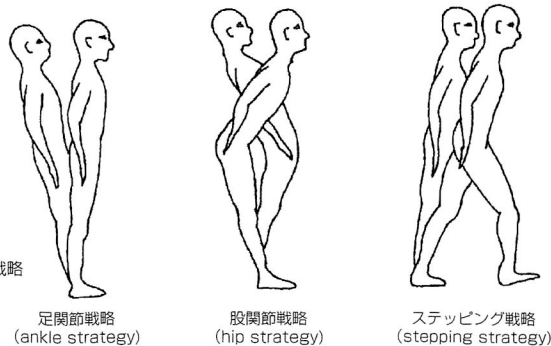


図1：立位時の姿勢バランス戦略

足関節戦略
(ankle strategy)

股関節戦略
(hip strategy)

ステップング戦略
(stepping strategy)

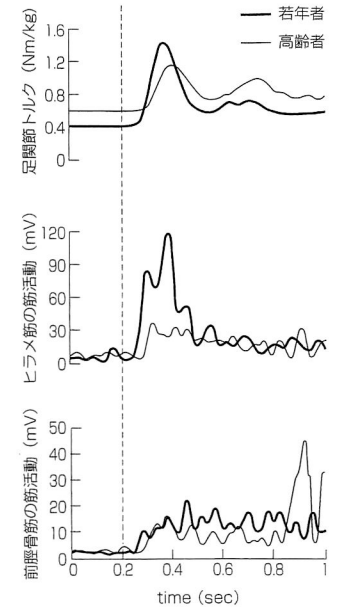


図2：身体が前方へ傾斜した時の足関節周りの筋の反応

身体を前方へ傾斜させるような外乱刺激を加えた時(図の縦点線)若年者と比較して高齢者では足関節トルクの立ち上がりが遅く(上段図)、ヒラメ筋の活動開始も遅れる(中段図)ため、足関節周りの筋力発揮が素早く行えないことがわかる。

(Manchester D et al. Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. J Gerontol. 44: M118-127. 1989.より引用)

側方移動を股関節の上下で反対の回転運動をすることによってバランスをとる股関節戦略を用いることが多い。

それでは、なぜ高齢者では足関節戦略より股関節戦略を多用する傾向があるのだろうか？前述のリーチ動作を例にとってみると、重心の側方移動に対して股関節戦略では股関節を中心として、やじろべえのように身体の重みで釣り合いをとる。それに対して足関節戦略は主として足関節周りの筋力を発揮させて足部を固定することが必要で、股関節戦略よりも運動制御に強い筋力を必要とする高度で複雑な反応である。このように、特に足関節周りの筋が姿勢バランスを保つために有効に機能しなくなる高齢者では、足関節戦略よりもあまり筋力を必要としない股関節の動きを中心とした姿勢バランスのコントロールを行うようになると考えられる。少し考え方を変えてみると、高齢者は苦手なバランスの取り方を避け、得意なバランスの取り方で対処する。より安全で効率的な身のこなし方をしているわけで、ある意味、高齢者なりにうまくバランスをとっているといえよう。

[池添 冬芽]

■引用文献

- (1) Woollacott MH. Age-related changes in posture and movement. J Gerontol. 48: 56-60. 1993.
- (2) Mackey DC, Robinovitch SN. Mechanisms underlying age-related differences in ability to recover balance with the ankle strategy. Gait Posture. 23: 59-68. 2006.
- (3) Manchester D et al. Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. J Gerontol. 44: M118-127. 1989.

転倒を防ぐ「とっさの1歩」

障害物につまずいてバランスを崩した時、そのまま転んでしまうか、転ぶのを免れるかの分かれ目は、とっさの1歩を踏み出せるかどうかにかかっている。高齢者では、このようなバランスを崩して転倒しそうになった時のとっさの1歩、すなわちステップング反応が出なくてよく転ぶといわれている。しかし、これは適切な表現に直すと、ステップが「出ない」というより、「遅れる」のである。若年者と比べて高齢者ではステップを開始するまでの反応時間が遅れることや、ステップを踏み出す方向の選択が遅くなったり、足を踏み換えるときのスピードが低下する傾向がみられるといわれており、これらの結果、「とっさの1歩」が間に合わなくなり転んでしまうのである。

しかし、高齢者が転んでしまう理由は「とっさの1歩」が遅れるためだけではない。ステップング反応について高齢者と若年者とで比較した研究によると、若年者では姿勢が乱れて前方に転びそうになっても、1歩前に足を踏み出して踏ん張ることによって、姿勢を立て直すことができる。しかし、高齢者では1歩のステップングだけでは姿勢を修正できずに、複数回ステップングが続いた後そのまま前方に転倒したり、1歩踏み出したときに側方にバランスを崩して転倒する傾向がみられる(1, 2)(図1)。また左右方向にバランスを崩した場合、若年者では足を交差して1歩ステップを踏んで姿勢を立て直すことができるが、高齢者ではサイドステップが複数回続いた後、そ

図1：若年者と高齢者のステップング反応～前方～

前方向へのバランスが崩れた場合、若年者では1回のステップングで姿勢を立て直すことが可能だが(上図)、高齢者ではステップングを複数回行ったり(下図A)、1回のステップングでは立ち直りきれず側方に踏み出す(下図B)傾向が認められる。

(Maki BE, McIlroy WE. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. Age Ageing, 35 (Suppl 2): ii12-ii18, 2006.より作図)

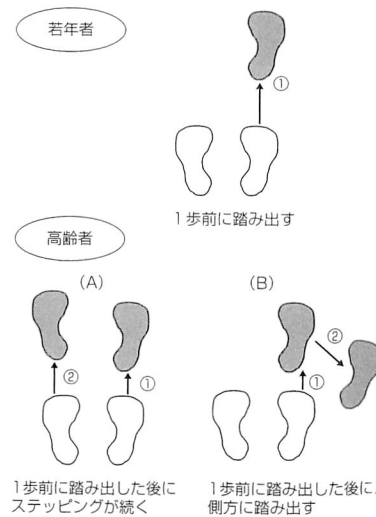
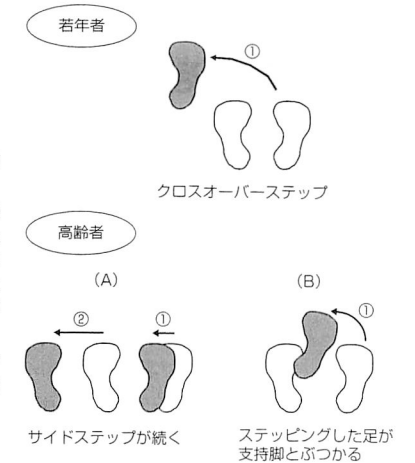


図2：若年者と高齢者のステップング反応～左側方向～

側方へバランスが崩れた場合、若年者では交差ステップで姿勢を立て直すことが可能だが(上図)、高齢者ではサイドステップを多く踏んだり(下図A)、片脚立位でバランスを維持しながらステップする足を正確にコントロールできずに(下図B)、側方へ転倒する。

(Maki BE et al. Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 55: M270-277, 2000.より作図)



のまま側方に転倒したり、うまく足を交差できずに足がもつれて転倒する傾向がみられる(3, 4)(図2)。

このように、なぜ高齢者は1歩のステップングだけでバランスを回復できないかという、ステップを踏んで足を着地したときの身体の横揺れを抑制するための下肢筋力を素早く発揮できないからとされている(1)。側方への転倒は重篤な股関節近位部骨折を起こしやすく、その後の寝たきりや要介護状態を招く深刻な問題である。この側方への転倒を予防するためのステップ練習を行う際には、素早く1歩を適切な方向に踏み出すということ意識するだけでなく、1歩を踏み出して着地した直後の側方安定性を高めることも肝心なのである。すなわち、着地した直後にバランスが崩れないように、特に左右方向にぐらつかないように踏ん張る練習も大切である。転びそうになる、いざというときに備えて、このようなステップの練習により「とっさの1歩力」を鍛えておくのもいいであろう。

[池添 冬芽]

■参考図書

市橋則明編. 運動療法学. 文光堂, 2008.

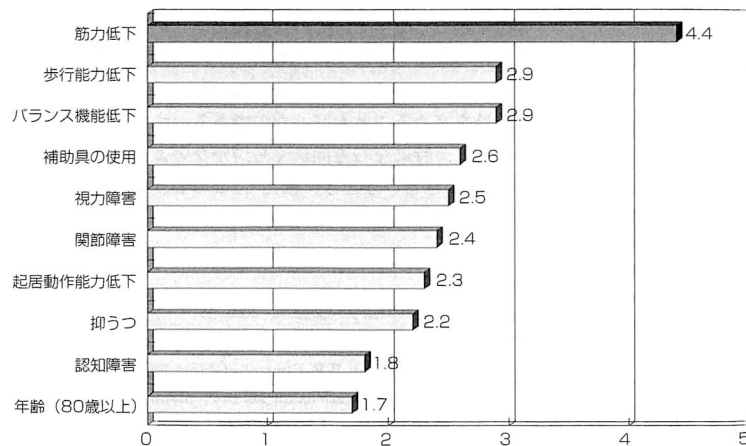
■引用文献

- (1) Maki BE, McIlroy WE. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. Age Ageing, 35 (Suppl 2): ii12-ii18, 2006.
- (2) McIlroy WE, Maki BE. Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 51: M289-296, 1996.
- (3) Maki BE et al. Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 55: M270-277, 2000.
- (4) Rogers MW, Mille ML. Lateral stability and falls in older people. Exerc Sport Sci Rev, 31: 182-187, 2003.

筋力をつけると転びにくくなる？

「転ばぬ先の杖」ということわざの通り、転倒によって骨折や寝たきりという重篤な問題を起ささないためには、未然に転倒を防ぐ予防策が何よりも重要である。高齢者の年間転倒発生率は約20%、つまり高齢者の5人に1人が1年に1回は転んでいるといわれているのだから、高齢者にとって転倒とは非常に遭遇しやすいアクシデントである。

転ばない体づくりを目指した「転倒予防教室」が全国各地で実施されているが、その運動の内容のほとんどは筋力トレーニングである。それは、高齢になって筋力、特に下肢筋力が弱くなると、歩行や階段昇降などの移動動作が不安定になったり、つまり1歩踏み出したときに自分の体重を支えきれなくなるため、転倒する確率が高くなると一般的に認識されているからであろう。米国老年学会のガイドライン(1)においても、転倒の危険因子の中で、最も転倒に対する危険性が高くなる身体的因子は筋力低下とされており、筋力低下が認められる高齢者はそうでない高齢者に比べ、



図：転倒要因の危険率

米国老年学会によって、転倒の危険因子に関する16の先行研究の結果から各因子の転倒に対するオッズ比をまとめたもの。筋力低下があると、転倒の危険性が4.4倍高くなることを示す。

(Guideline for the prevention of falls in older persons. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. J Am Geriatr Soc, 49: 664-672, 2001.より引用)

転倒の危険性が4.4倍高くなるとしている(図)。転倒事故の発生頻度が男性より女性のほうが高い傾向にあるのも、男性に比較して女性では筋力低下が著しいことが理由のひとつとして考えられている。

それでは、筋力トレーニングを実施して筋力が向上すると、転倒発生率は本当に減少するのであるか?これまで、転倒予防対策に関して様々な研究がされているが、筋力トレーニングのみでは転倒減少効果が少ないことが報告されている(2-4)。転倒は筋力低下だけでなく複合した原因によって発生することが多い。そのため、やはり筋力トレーニングだけでなく、バランストレーニングや歩行練習など様々な運動を実施することによって、転倒発生率が減少したとする報告が多い(2-4)。このような運動プログラムは、筋力トレーニングを単発的に実施するよりも、筋力、バランス、歩行等の運動を組み合わせることで、より多くの相乗効果が得られるとされていることから、転倒の複合的な要因に対して対応可能な場合が多いのであろう。転倒要因の危険率において、筋力低下は最重要因子であることから、転倒予防対策として筋力トレーニングは必須ではあるが、それだけでは十分とはいえないのである。しかも、運動処方の専門家が高齢者各個人の身体特性や生活環境に応じて個別の運動プログラムを処方・指導した場合に、高い転倒予防効果が得られるとされている。

著者も「転倒予防教室」に関わっていた立場であるので、あまり大きな声ではいえないのだが、よくある転倒予防教室の風景—集団で画一的な筋力トレーニングをしていても、転倒予防に対する効果は少なく、高齢者に転ばぬ先の「杖」を提供することは難しいであろう。

[池添 冬芽]

■参考文献

- (1) Guideline for the prevention of falls in older persons. American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention. J Am Geriatr Soc, 49: 664-672, 2001.
- (2) Feder G et al. Guidelines for the prevention of falls in people over 65. The Guidelines' Development Group. BMJ, 321: 1007-1011, 2000.
- (3) Gillespie LD et al. Interventions for preventing falls in elderly people. Cochrane Database Syst Rev, 4: CD000340, 2008.
- (4) Chang JT et al. Interventions for the prevention of falls in older adults: systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. BMJ, 328: 680-686, 2004.

加齢とともに運動がイメージしにくくなる

秋の運動会、待ちに待った親子リレー、お父さんの全力疾走は何年ぶりでしょう？こんな時に怪我は多発します。そして、怪我をしてしまったお父さんたちは決まってこういいます「思ったよりも足が前に出なかった」、「足がいうことを聞かなくなった」。これは決して、脳からの指令を無視して足が自分勝手に暴走したわけではない。頭の中で思い描いている動きと、実際の動きは一致していないのである。

Mulderら(1)は19歳から93歳までの333名を対象に、Vividness of Motor Imagery Questionnaire: VMIQという運動イメージの明瞭性調査を行った。VIMQは、24個の動作(例えば、右膝を曲げて左脚だけで立つなど)に対して主観的(1人称的: あたかも自分自身が行っているようなイメージ)、観察的(3人称的: あたかも誰かが行っているようなイメージ)な運動イメージを想起してもらい、その運動イメージ想起の自覚的難易度(難しい~易しい)を5段階的に評価するものである。Mulderらの調査の結果、高齢者では、若年者や中年者と比較して、主観的(1人称的)な運動イメージの明瞭性が乏しくなっていることが示唆された(図1)。逆に、観察的(3人称的)な運動イメージの明瞭性には加齢の影響を受けていなかったことを報告している。

また、山田ら(2)は20歳から86歳までの333名を対象に、メンタルローテーションという手法を用いた運動イメージ想起能力(1人称的な運動イメージ想起能力を反映)の測定を行った。メンタルローテーションを用いた運動イメージ想起法は、回転している手足の写真を見て、自分自身の手足は動かさずに「右側なのか」、それとも「左側なのか」を答えるというものである。この調査でも、Mulderらの報告と同様に、高齢者では若年者や中年者と比較して、運動イメージ想起能力が低下していることが示唆されている(図2)。さらにこの調査では、その後1年間の転倒調査を行っており、転倒した高齢者では転倒しなかった高齢者に比べて、さらに運動イメージの想起能力が低下していたことが示唆されている。

運動イメージの想起能力の低下が、転倒と関係していたということは、「運動会におけるお父さんの怪我」と同様に、転倒してしまった高齢者では、脳内での身体の動きと実際の身体の動きに「ズレ」が生じていた可能性がある。

加えて興味深いことは、上記2つの研究における運動イメージの明瞭性と年齢との関係をみた散布図が、非常に類似している点である。測定方法が異なるこの2つの報告の散布図が非常に類似しているということは、「運動イメージ想起能力は加齢による影響を受ける」ということが真実であることを示唆している。

運動会を控えているお父さん、まずはイメージトレーニングが必要ですね。20代の頃よりは、運動イメージ想起能力が低下しているようですから。 [山田 実]

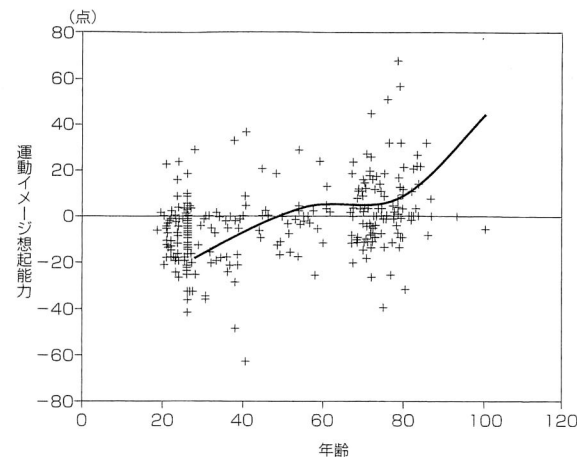


図1: 縦軸の運動イメージ想起能力とは、VMIQによる3人称的な運動イメージ想起能力から、1人称的な運動イメージ想起能力得点を引いたもの。つまり、低い値であれば1人称的運動イメージが得意、高い値であれば1人称的運動イメージが苦手ということになる。高齢者では、1人称的な運動イメージ想起能力が苦手になっていることがうかがえる。(Mulder T et al. Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. Hum Mov Sci, 26: 203-211, 2007より改変引用)

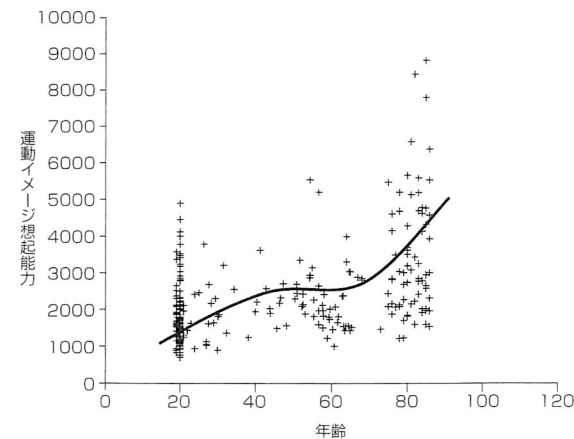


図2: 縦軸の運動イメージ想起能力とは、メンタルローテーションの反応時間(msec)を示す。速いほど、運動イメージ想起能力が高いことを示す。高齢者では、運動イメージ想起能力が苦手になっていることがうかがえる。上図はMulderらの報告、下図は山田らの報告。散布が類似していることがわかる。

引用文献

- Mulder T et al. Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. Hum Mov Sci, 26: 203-211, 2007.
- 山田 実, 上原 捺章. 運動イメージ想起能力の年代別基準値の作成および高齢者における転倒との関係. 理学療法科学, 23: 579-584, 2008.

腕が痛い イメージもしにくい

「いつまでたっても手の痛みがなくなる」、このような話は、手首の骨折（コーレス骨折）後などの患者が、病院の待合室などで話しているのをよく耳にする。通常、コーレス骨折であれば、1カ月程度のギブス固定の後、1～2カ月程のリハビリテーションによって日常生活には支障を来さなくなることが多い。しかしながら、何らかの原因によって、complex regional pain syndrome；CRPS（難治性疼痛≡なかなか痛みがなくなる）になってしまい、疼痛が長引くことがある。

なぜ、このような状態になってしまうのだろうか？ 気鋭の神経科学者と呼ばれる Ramachandran (1) は、この疑問に迫る重大な発見をした。それは、「いつまでたっても痛いのは、身体ではなく脳が悪さをしているから」ということである。Ramachandran は前腕を切断した患者に生じる幻肢痛（身体の一部が切断されたにもかかわらず、そこに痛みを感じる）と呼ばれる症状に着目し、幻肢痛が生じる理由が脳の可塑的变化によると考えた。さらに、Ramachandran の類い稀な能力は、幻肢痛の治療の為に奇妙な道具を作り出す (2)。後に“ミラーボックス”と呼ばれる道具は (図1)、両腕が入る程度の大きさの箱の中央に鏡を設置したものである。この箱の中に両手を入れ健側手を動かすと、あたかも両手が対称に動いているかのような錯覚が起こる。このミラーボックスを用いて、前腕切断後の幻肢に悩まされる患者に応用したところ、見事に幻肢の消失につながった。

Schwoebel ら (3) は、この Ramachandran の考えを基に CRPS で悩む患者にも、脳が何らかの悪さをしているのではないかと考えた。そこで、図2に示すように回転している手の写真を見て、自分自身の手は動かさずに“右手なのか”、それとも“左



図1：ミラーボックス

(Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. Proc Biol Sci, 263: 377-386, 1996より引用)

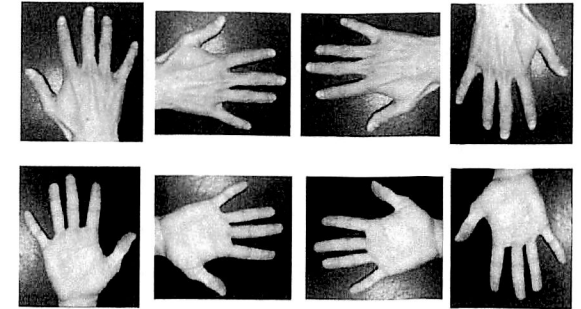


図2：mental rotationで用いられた手の写真

(Schwoebel J et al. Pain and the body schema: Evidence for peripheral effects on mental representations of movement. Brain, 124: 2098-2104, 2001より改変引用)

手なのか”を答えるという課題をCRPS患者に行わせた。すると、CRPS患者では、罹患側（痛い方）の手の写真に対する反応時間が顕著に遅くなっていることが分かった。このように回転表示された写真を、脳内でイメージして回転することで正立状態の写真を想起し、それが何であるのかを同定したり、比較刺激との異同を判断するものをメンタルローテーションと呼ぶ。ここで示した報告のように、回転させる写真に身体部位の写真を用いることで、あたかも自身の手を動かしているような錯覚を経験する。つまり、運動を一人称的にイメージしていることになる。また、このように手のメンタルローテーションを行っている最中の脳活動は、実際に手を動かしている時と同様の活動パターンであることも明らかになっている。このようなことから、Schwoebel はCRPS患者では、皮質レベルでの可塑的变化が生じており、そのことで罹患側の運動イメージの想起が行いにくくなっていると考えた。

Moseley ら (4) は、Schwoebel らの報告をさらに発展させた。メンタルローテーションとミラーボックスを、CRPS患者に対する治療介入の手段として応用し、見事に疼痛を減少させた。つまり、末梢の運動器官の疼痛に対して、末梢ではなく、運動イメージ想起という中枢神経へアプローチすることによって、疼痛を減少させたのである。これらのことは、CRPS患者では運動イメージの想起の困難が、より疼痛を増強させていることを示唆する結果となり、『脳が何らかの悪さをしている』という仮説は成立した。

「いつまでたっても痛みがなくなる」と思ったら、回転した手の写真を見てみてはいかがでしょうか？

【山田 実】

■引用文献

- (1) Ramachandran VS, Hirstein W. The perception of phantom limbs. the D. O. Hebb lecture. Brain, 121: 1603-1630, 1998.
- (2) Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. Proc Biol Sci, 263: 377-386, 1996.
- (3) Schwoebel J et al. Pain and the body schema: Evidence for peripheral effects on mental representations of movement. Brain, 124: 2098-2104, 2001.
- (4) Moseley GL. Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. Pain, 108: 192-198, 2004.

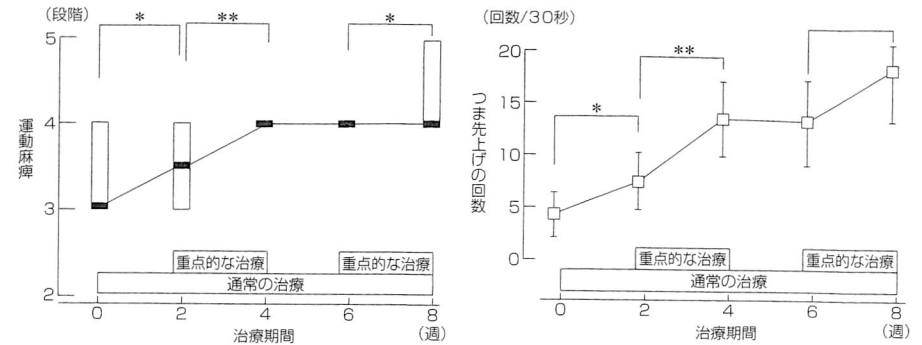
できないことをできるようにする ～繰り返すことの重要性～

“できないことをできるようにする”これはリハビリテーション（以下、リハビリ）を必要とする患者さんと医療従事者にとって最大のテーマだ。脳卒中の影響により、多くの場合、半身麻痺という感覚や運動の障害が生じる。特に運動の障害は運動麻痺とも呼ばれ、その名の通り、思い通りに手や足を動かさせない状態である。より厳密に言えば、手や足を動かすこと自体ができなくなる完全麻痺と、動かすことはできるが意図しない動きを伴ってしまう不全麻痺に分けられる。ここでは、後者の不全麻痺を例に挙げ、“脳卒中後の運動麻痺はどうすれば改善するのか？”について考えてみよう。

不全麻痺を具体的にイメージしてもらうために、椅子に座った状態でつま先を上げて頂きたい。皆さんは股・膝関節の運動を伴うことなく純粋につま先だけを上げられるはずである。しかし、不全麻痺の後遺症を持つ方であれば、つま先を上げるだけでなく、股・膝関節屈曲の運動なども伴ってしまうことが多い。この脳卒中後に生じる意図しない複合的な運動を、病的共同運動と呼ぶ。また、多くの場合、発揮される“力”自体も低下する。この病的共同運動や発揮される力の低下はつま先を上げるという足関節の運動だけでなく、麻痺側の多くの関節運動でみられる。そのため、着替えが困難になったり歩行能力が低下したりすることが日常生活では問題となる。

脳卒中のリハビリでは、この運動麻痺を改善することが重要な課題となる。力が弱っているのであれば、病的共同運動など関係なく単純に筋力トレーニングをすればいいのではないかと、いう声も聞こえてきそうだが、運動麻痺の改善は一筋縄ではいかない。例えば、つま先を上げる筋力の強化を目的に病的共同運動を繰り返していると、病的共同運動の筋力強化はできるであろうが、純粋なつま先上げを獲得するためには不十分な練習かもしれない。では、運動麻痺の改善には何が重要なのであろうか？諸説様々ではあるが、ここでは1)十分な運動量、2)随意的な正しい運動、3)神経・筋の生理学の応用、に焦点を絞って、実際に運動麻痺が改善したという報告をみていこう。

脳卒中患者さんを対象に、8週間のリハビリを行った研究を紹介する(1)。この研究では、重点的な治療と通常の治療の2種類を用意した。重点的な治療とは、セラピストが介助しながら自動的かつ他動的に、目的とする正しい運動（単関節運動ならびに病的な共同運動ではない複合的な運動）を7種類、各100回行った。ここで、神経・筋の生理学の知識が役に立つ。健康者でも認められる生理現象である伸長反射や皮膚筋反射あるいは姿勢反射などを応用する。伸長反射とは筋が素早く伸ばされた結果、不随意的に筋収縮が生じる現象。皮膚筋反射とは筋の表層にある皮膚を擦ったり、軽く叩いたりすることによって不随意的に筋収縮が生じる現象。姿勢反射とは仰向け・うつ伏せあるいは左右方向の顔の向きなどにより特定の筋の収縮が生じ易くなること



図：運動麻痺とつま先上げの回数。運動麻痺の回復には6段階の評価法を用いた。図は中央値と25～75パーセントイル値を示しており、数字が大きいくほど、回復が良好である。つま先上げは30秒間に実施できた回数を示す。重点的な治療を加えた2～4週目、6～8週目で顕著な改善がみられた。

(Kawahira K et al. Addition of intensive repetition of facilitation exercise to multidisciplinary rehabilitation promotes motor functional recovery of the hemiplegic lower limb. J Rehabil Med, 36: 159-164, 2004.を改変引用)

である。目的とする正しい運動を行うために、このような工夫も織り交ぜた。一方、通常の治療では、この7種類の運動を各20回未満、加えて歩行練習や日常生活動作練習などを行った。研究の流れとしては、8週間続けて通常の治療を行い、2～4週目、6～8週目には通常の治療に加えて重点的な治療を行った。その結果、重点的な治療を加えた2～4週目、6～8週目に運動麻痺とつま先上げの回数が顕著に改善した(図)。2週間であれば、1つの運動を合計1000回以上繰り返したことになる。このように、介助しながらであっても、随意的な正しい運動を十分な回数繰り返すこと、さらに神経・筋の生理学を応用することで麻痺はより改善する可能性があるのである。

この研究以外にも、非麻痺側を拘束して麻痺側上肢の運動を強制するような拘束運動療法や(2)、電気刺激によって目的とする筋の収縮を促す治療(3)などもあり、運動麻痺の重症度によって適切なリハビリ手段を選択していく必要がある。

しかし、脳卒中の重症度によっては、完全に運動麻痺が回復しないケースがあることも事実である。ただ、簡単には諦めて欲しくない。もしかしたら、量が不足していたのかもしれないし、工夫が足りなかったのかもしれない。“できないことをできるようにする”には、やる気と根気が必要だ。

[井上 拓也]

引用文献

- (1) Kawahira K et al. Addition of intensive repetition of facilitation exercise to multidisciplinary rehabilitation promotes motor functional recovery of the hemiplegic lower limb. J Rehabil Med, 36: 159-164, 2004.
- (2) Taub E et al. Technique to improve chronic motor deficit after stroke. Arch Phys Med Rehabil, 74: 347-354, 1993.
- (3) Fujiwara T et al. Motor improvement and corticospinal modulation induced by hybrid assistive neuromuscular dynamic stimulation (HANDS) therapy in patients with chronic stroke. Neurorehabil Neural Repair, 23: 125-132, 2009.

寝る子は育つ～睡眠依存性運動学習～

日常、スポーツや楽器演奏の練習をしていてなかなか上手にならないのに、一晩寝たあと同じ練習をしてみると、昨日できなかったことが難くできてしまうことがある。これは、われわれが子どものころからたびたび経験していることである。そこには、睡眠の持つ秘密が隠されている。

従来、運動学習の特徴として、トレーニングの量がパフォーマンスの向上に強く影響することが知られてきた。また最近の知見では、トレーニングだけが運動学習の決定因子ではなく、時間もまた重要な因子であるとされている。つまり、運動学習においては運動をしている間だけでなく、運動を行わなくても時間を経過するだけで付加的な効果があることが明らかとなってきた。しかしながら、これは単に時間因子によるものなのか、または覚醒もしくは睡眠も関係しているのかどうかはよく分かっていなかった。

その疑問を解決するために、睡眠と運動学習について研究が進められている。Walkerら (1) は、あるタスク (パソコンの画面上にランダムに出てくる数字を、非利き手を用いてキーボードで打ち、30秒間のスピードと正確さが得点とされる) を用いた研究で、覚醒と睡眠が運動学習に与える影響を調べた。その結果、タスクを行ったあと睡眠を挟み、12時間後に再び同じタスクを行った場合、有意に得点の向上が認められた (図1)。一方、タスクを行ったあと、覚醒したまま12時間後に同じタスクを行っても、得点の向上は認められなかった。つまり、運動学習のためには単に時間を過ごすだけでなく、睡眠をとることが重要なのである。また睡眠時間とタスク得点の向上は正の相関関係があり、睡眠6時間未満ではタスクの向上が得られなかったとの報告 (2) もなされている (図2)。パフォーマンスの向上には、ぐっすりと6時間以上の睡眠をとることが必要である。fMRI (機能的核磁気共鳴イメージング) を用い睡眠の有無による脳活動の違いを調べた研究では、睡眠後の再タスク実施時には一次運動野や小脳の活動が増加することが示されており、この睡眠依存性の運動学習は脳の再組織化に伴って生じることが明らかとなっている (3)。

さらにWalkerらは同じ研究で、この睡眠依存性運動学習が、レム睡眠 (Rapid Eye Movement, 眠っていても眼球が動く、覚醒に近い浅い眠り) またはノンレム睡眠 (ぐっすりと熟睡した深い眠り) のどちらに依存するのかを調べている。レム睡眠とノンレム睡眠は周期的に交互に現れるが、ノンレム睡眠はさらにその眠りの深さにより、もっとも浅いステージ1からもっとも深いステージ4の4つに分類される。彼らの研究では、タスク得点の向上はステージ2 (軽い睡眠) と関連し、それは特に睡眠の最後1/4の時間帯のステージ2で顕著であった。ステージ2は睡眠のなかで最も割合が多く、また電気生理学的特徴である睡眠紡錘波 (sleep spindle) を発する。こ

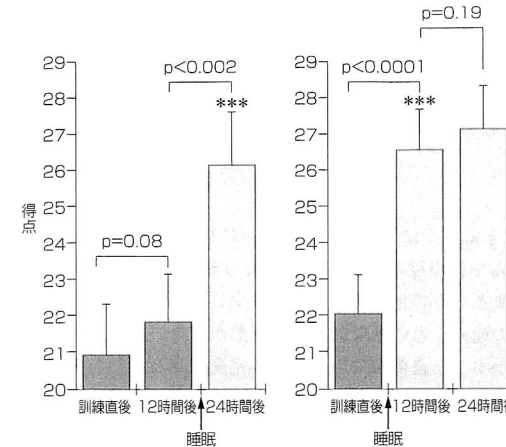


図1：睡眠の有無とタスク得点の関係。睡眠をとらずに12時間後に再タスクを行うと得点の向上はないが、睡眠を挟み12時間経過すると、得点の向上が認められる。(Walker MP et al. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. Neuron, 35: 205-211, 2002.より引用改変)

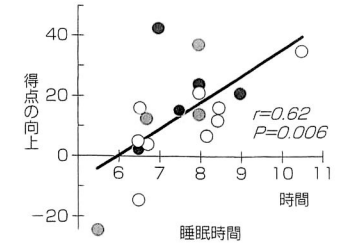


図2：睡眠時間とタスク得点向上の相関。両者には正の相関があり、睡眠時間が長いほど、タスクの得点の向上が大きくなる。(Stickgold R et al. Visual discrimination task improvement: a multi-step process occurring during sleep. J Cogn Neurosci, 12: 246-254, 2000.より引用改変)

の紡錘波は、大脳皮質の錐体細胞への大規模なカルシウム取り込みを引き起こし (4)、運動学習に関与すると考えられる。しかしながら、タスクの内容によってはレム睡眠やノンレム睡眠の他のステージが関与するとの報告 (2, 5) もなされており、一定の結論は得られていない。今後さらなる研究により、ひょっとしたらパフォーマンスの種類や難易度に応じた適切な睡眠時間が明らかとなるかもしれない。

スポーツや楽器演奏、芸術などの技術向上のためには、睡眠をとることが重要である。これは、脳卒中や手術後のリハビリテーションにも適用されるかもしれない。新生児が最も睡眠をとる割合が大きい理由も、ここにあるのであろう。寝る子は育つ—これは先人たちが睡眠依存性運動学習を経験的に知り、作ったことわざかもしれない。もしあなたが何かの練習につまずいたら、爆睡してみよう。次の朝目覚めたとき、あなたは不思議と自分が上達していることに気がつくはず。 [福元 喜啓]

■引用文献

- (1) Walker MP et al. Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. Neuron, 35: 205-211, 2002.
- (2) Stickgold R et al. Visual discrimination task improvement: a multi-step process occurring during sleep. J Cogn Neurosci, 12: 246-254, 2000.
- (3) Walker MP et al. Sleep-dependent motor plasticity in the human brain. Neuroscience, 133: 911-917, 2005.
- (4) Sejnowski TJ, Destexhe A. Why do we sleep? Brain Res, 886: 208-223, 2000.
- (5) Karni A et al. Dependence on REM sleep of overnight improvement of perceptual skill. Science, 265: 679-682, 1994.

年をとれば筋肉痛は遅れて出る？

「あいたたたた…昨日運動したからか？今頃筋肉痛なんてもう年やなあ…」そんな言葉を耳にしたり、経験したことはないだろうか。よく、年をとると若い人より筋肉痛が遅れて出ると耳にする。なんとなくそんな気もするが、果たしてこれは科学的にも証明された事実なのだろうか。

我々が一般的に口にしている、運動後しばらくしてから発現する筋肉痛を遅発性筋肉痛（delayed-onset muscle soreness：DOMS）という。これは、運動中あるいは運動直後には全く痛みがなく、不慣れな運動や久しぶりに行った運動から数時間～24時間程度経過後に発現し、24～72時間後にピークに達し、5日～1週間程度で自然に消失するような筋肉痛と定義されている。

このDOMSに関する研究は沢山なされている。DOMSのある筋肉は硬く感じやすくなっており、柔軟性の減少が見られるとの報告（1）や、DOMSは筋肉を動かしたり圧迫したりする時のみ痛みを発生し、何もしなければ痛みはない（2）等の報告がある。過去の経験を振り返ってもらえれば、なるほどと思うところがあるのではないだろうか。

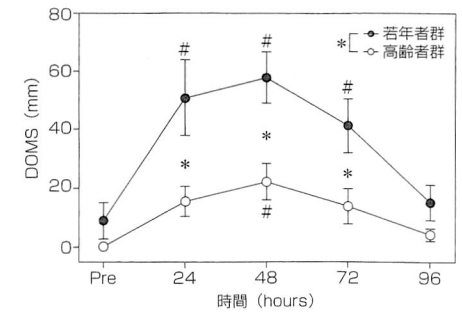
では、本題のDOMSの年齢間格差を取り上げた最近の報告を見てみよう。

20歳代と60歳代の2群の被験者に肘屈曲運動を負荷して、筋肉痛の強さと出現時期を比較した報告がある（3）。結果を見てみると、どちらの被験者群においても、1日後にDOMSが出現し、2日目にさらにひどくなり、3日目以降回復していくといった傾向にあり、両群に差は認められなかった（図）。むしろ、年の差よりも個人間に差が大きかったとも報告されている。また、この痛みの強さに関しては若年群の方が有意に高い値を示したことが観察されている。つまり、年をとっても筋肉痛は遅れない。むしろ痛みの強さは小さくなるという傾向があるようだ。

では、なぜ我々は年をとると筋肉痛が遅れているような気になるのだろうか。

年をとると筋肉痛が遅れて感じる正確なメカニズムは未だ解明されていないが、筋肉にかかる負荷が高ければ高いほど、短い時間で強い筋肉痛が発生することはわかっている。つまり負荷が低い場合、筋肉痛はゆっくりとやってくると捉えることができる。年をとると、仕事などを理由に運動する機会が減り、筋力も体力も落ちてくる。すると若い頃には起こらなかった程度の運動を行っても筋肉痛が出てしまう。その運動は筋肉痛がゆっくりとやってくる負荷の低い軽度の運動なので、筋肉痛はすぐには現れずしばらくしてから出るわけである。すぐに筋肉痛が出現するような高強度の運動を行おうと思っても、筋力・体力の落ちた状態では、高強度になる前にダウンしてしまうから、激しい筋肉痛が出るレベルまで追い込むことができない。このことを踏まえると、日常で運動している人としていない人とは、同じ年齢で同じ負荷であっ

図 運動負荷後の若年者群と高齢者群の遅発性筋肉痛（DOMS）の経過
DOMSは最も痛い値を100mm、全く痛みのない状態を0mmとした時の主観的な痛みの値（*：群間に有意差あり #：初期値との間に有意差あり）
（Chapman DW et al. Comparison between old and young men for responses to fast velocity maximal lengthening of the elbow flexors. Eur J Appl Physiol. 104: 531-539, 2008.を改変引用）



ても筋肉痛の出る時期や筋肉痛の強さ、回復するまでに要する時間に大きな違いが出ると考えられる。つまり筋肉痛の発現が遅くなるのは、年齢よりも普段どれだけ筋肉を使っているかが大きな理由になるということがいえる。したがって、だらだらと不健康な生活をしていると、運動の負荷によっては若年者でも2～3日遅れて筋肉痛が起きることは十分ありえるということである。

さて、ここまでの話を読んでいるうちに、ある疑問にいきつかないだろうか。では、逆に子どもの筋肉痛はどうか！と。子どもの筋肉痛、特にDOMSに関する研究はほとんど行われていないようである。つまり、子ども（特に乳幼児）の筋肉痛については、その実態すらまだ分かっていないことが多い。子どもは沢山の新しい動作を習得していく過程にあるので、上記の発想から単純に考えれば筋肉痛になってもおかしくないはずである。しかし子どもが筋肉痛に悩まされている様子は見たことはないだろう。もし子どもに筋肉痛が出ないのであれば、ある年齢から筋肉痛が出るようになるということであり、これもまた面白い論点ではないだろうか。

筋肉と年齢の関係に関してはまだまだ謎も多い。とりあえずいえることは、数日後に遅れて筋肉痛が出てきた場合に悲観すべきは、年齢ではなく日頃の運動不足ということだ。

[田中 武一]

■参考文献

福永哲夫. 筋の科学事典. 朝倉書店, 2002.

■引用文献

- (1) Miles MP, Clarkson PM. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. J Sports Med Phys Fitness, 34: 203-216, 1994.
- (2) Clarkson MJ et al. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. Med Sci Sports Exerc, 24: 512-520, 1992.
- (3) Chapman DW et al. Comparison between old and young men for responses to fast velocity maximal lengthening of the elbow flexors. Eur J Appl Physiol, 104: 531-539, 2008.

疲労の原因は乳酸？

皆さんは運動時の乳酸と聞いて、何を想像するだろう。多くの方が疲労困憊になった時に貯まるもの、乳酸は疲労の原因である、と想像されるのではないだろうか。

なぜ「乳酸=疲労物質」といわれるようになったのか。これは80年程前に、筋収縮中の筋内乳酸濃度増加と発揮張力低下の間に高い相関関係がみられるといった報告がなされ(1)、それがいつの間にか、「乳酸が肉体を疲労させる」というような形に変わり、「乳酸=疲労物質」といわれるようになったようである。

しかし近年、運動時の乳酸が見直され、悪者扱いされていた乳酸が、実は運動時には必要なエネルギー源であると報告されている(2)。

運動を開始したり、急に運動強度を増加させると、身体はエネルギーが必要と判断し、グリコーゲンを多く分解しエネルギーを作る準備をする。その際、ミトコンドリアの処理能力を上回る量のグリコーゲンが分解され、処理できない分は乳酸になっていくといった流れがある(図1)。つまり、ミトコンドリアが少ない組織では乳酸が作られやすく、逆にミトコンドリアの多い組織では乳酸が作られにくい。このことからミトコンドリアの少ない速筋線維では乳酸が作られやすいということがいえる。

では、溜まってきた乳酸はどうなるのだろうか。乳酸の代謝経路は生成された反応を逆に戻す経路しかない。乳酸は再びピルビン酸に戻り、そしてミトコンドリアに取り込まれ、エネルギーとなる。つまり、乳酸はエネルギー源となっているのである。また、この反応が起こるためには、ピルビン酸を処理する能力が高くなくてはならない。つまり、ミトコンドリアの多い組織である遅筋線維や心筋線維ではこの反応が起こりやすいといえる。まとめると、乳酸は速筋線維で作られることが多く、遅筋線維や心筋線維で使用されることが多いのである(図2)。これが身体内での乳酸のおおまかな動きである。

次に疲労との関係について考えてみよう。我々の身体は恒常性維持機能によって、通常pH 7.4 ± 0.05に維持されている。乳酸が蓄積されると、筋を中心に身体が酸性に傾き、一時的にpHバランスが崩れてしまうため、乳酸は確かに疲労の1要因であるといえるかもしれない。しかし、疲労困憊の運動後、筋のpHは簡単に戻らないが、筋の発揮張力は数分で元に戻ると報告されており(3)、この点から考えると、単に酸性に傾いたことだけで疲労を説明できない。

では、疲労には何が影響しているのだろうか。これについては、はっきりとした結果は未だ出ていないが、最近注目を集めている理論がクレアチンリン酸の低下と、それに伴うリン酸の上昇である(4)。クレアチンリン酸はATPの備蓄や移動の役割を果たすとされている。運動強度が大きくなるにつれ、この備蓄が徐々に減少し、果てには備蓄が枯渇してしまう。ここまでくるとエネルギーが足りなくなって、筋が疲労

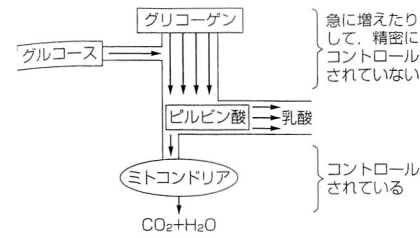


図1: 乳酸生成機序

酸素を使うミトコンドリアの反応量は精密に調整されているが、グリコーゲン分解量はそうではないので、グリコーゲン分解量が急に進めば過剰分が乳酸になる(八田秀雄、エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング、講談社サイエンティフィック、2004。より引用=図2も同じ)

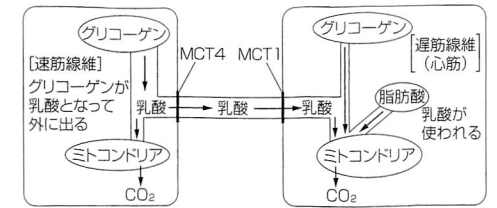


図2: 乳酸利用機序

MCT (Monocarboxylate Transporter: 乳酸トランスポーター)は乳酸の細胞膜通過に関わる
MCT4: 速筋線維に多く、主に乳酸を細胞の外へ出す働きをする
MCT1: 遅筋線維や心筋に多く、主に乳酸を細胞の外から取り込む働きをする

してしまおうと考えられている。また、このクレアチンリン酸が分解される時の産物であるリン酸がカルシウムと結びつき、筋の収縮・弛緩に必要なカルシウムの働きを抑制してしまい、運動にストップをかけるのではないかと考えられている。つまり、運動を継続することでATPの備蓄であるクレアチンリン酸が枯渇し、身体はもう運動に対応できない状態になり、加えてクレアチンリン酸の分解産物であるリン酸が筋収縮を妨げることで、疲労してしまうという流れである。

疲労の原因として、その他にも、カリウムが神経伝達を妨げているという説や、二酸化炭素が呼吸のドライブをかけることが疲労感に繋がっているといった説が考えられているが、結局のところ、本当の原因はまだ解明されていない。しかし、確かにいえることは、短絡的に乳酸を疲労の原因と結びつけてはいけないうことである。乳酸が多く産生される状況と疲労困憊の状況が一致してしまうことはあるが、乳酸はむしろエネルギー源になることもある。身体の反応は1対1で考えられるような単純なものではなく、多くの要因が相互作用しながら起こる反応である。疲労を考える場合も、一側面だけを見るのではなく、様々な観点から見つめることが大事なのである。

[田中 武一]

■参考図書

八田秀雄。エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング。講談社サイエンティフィック、2004。

■引用文献

- (1) Hill AV et al. Anaerobic and aerobic activity in isolated muscle. Proc R Soc Lond B Biol Sci. 105: 313-322, 1929.
- (2) Pedersen TH et al. Intracellular acidosis enhances the excitability of working muscle. Science. 305: 1144-1147, 2004.
- (3) Westerblad H et al. The effect of intracellular pH on contractile function of intact, single fibres of mouse muscle declines with increasing temperature. J Physiol. 500: 193-204, 1997.
- (4) Allen DG et al. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiol Rev. 88: 287-332, 2008.

前十字靭帯損傷～予防への道～

スポーツ観戦で好きなサッカー選手や野球選手が膝を損傷し、その後、試合に出なくなりがっかりした経験があるのではないだろうか。膝の損傷は、「不幸の三徴候 (unhappy Triad)」という言葉がつけられているくらい、時には、重大であり、現場復帰までにかかり時間を要する。その中でも特に前十字靭帯（以下 ACL）損傷は、重篤で選手生命を閉ざされかねない損傷なのである。今回の内容は、その ACL 損傷、とくに予防についての話である。

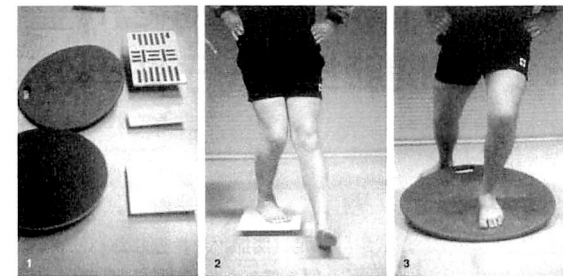
ACL 損傷は米国では年間約 10 万件起り、その治療に要する医療費は数 10 億ドルに及ぶと報告されている。また日本においても数多くのスポーツ選手が受傷し、復帰までに 1 年近くのリハビリテーションを要する。その他、精神的にも影響のある損傷である。

それだけ重大な損傷にもかかわらず、その一般的な膝の受傷機転は、タックルや接触プレーなどの直接外力を生じ損傷するのではなく、ノンコンタクトつまり非接触での損傷が多いことが特徴に挙げられることは驚きの 1 つである。その要因は、筋のアンバランスや骨の形態、性差など様々であるが受傷時の下肢のアライメントが ACL の損傷にとっての重大なポイントなのである。ACL の受傷機転として多くは、方向転換するための急激な減速動作や片脚着地における膝の外反強制、カッティング動作など瞬間的な下肢のコントロールの破綻により発生することが解明されてきた。その時の下肢のアライメントが股関節内転、内旋、膝関節軽度屈曲～伸展、外旋、特に大腿骨に対して脛骨の外反が ACL を顆部で挟み込み損傷させると報告されている。

ACL 損傷は、術後の回復や機能向上のため、有効な治療法やリハビリテーションの確立が注目されてきた。しかし近年では、予防医学の進歩により、ACL 損傷に関しても予防に対する理解や研究が急速に発展している。ここでは、予防に関する 2 つの方略を紹介する。

まず 1 つ目の ACL 損傷の予防の方略として、神経筋トレーニングやプロプリオセプショントレーニングが挙げられる。Caraffa の研究では、サッカー選手 600 人という大規模な前向き介入研究で、図にあるような様々なバランスボードを用いたトレーニング（プロプリオセプショントレーニング）を、20 分間、難易度を 5 段階に分けて行った。その結果、有意に ACL 損傷が減少することが示されており、対象群と比較すると約 8 割の予防が可能であったと報告をしている (1)。Gilchrist らも下肢に対してストレッチ、筋力トレーニング、プライオメトリックス、敏捷性などの神経筋トレーニングを行い、ACL 予防に効果があったことを報告している (2)。

ACL など膝の靭帯には、メカノレセプターやプロプリオセプションが存在し、その張力が筋の活動を引き起こす神経筋コントロールの重要な受容器としての役割があ



図：プロプリオセプショントレーニング
(Caraffa A et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 4: 19-21, 1996.より引用)

る。ACL 帯の緊張は、ハムストリングスを収縮させ、靭帯を保護し、膝の安定性に関与する。そしてそれらの受容器やメカニズムの破綻は、膝に不安定性を招き、本来のパフォーマンスを低下させてしまう影響があるとされている。

また、それらトレーニングに関する具体的なメニューは、筋力やパワー、敏捷性、バランスなど総合的なプログラムであり、ストレッチ法やプライオメトリックなどから構成されている Prevention injury and Enhance Performance (PEP) (2) やサッカー界 (FIFA) では the 11 が予防プログラムとして奨励されている。

もう 1 つの予防の方略として股関節へのトレーニングが注目されている。股関節は、大腿骨の動きを制御する。そして大腿骨を制御することにより膝関節の外反など動きを制御する役割がある。Cale らは、股関節外転筋力の低下が膝関節の外反増大との関連性を示し、股関節外転筋が膝関節のコントロールする可能性を報告している (3)。また Stephen らは、大殿筋の活動と下腿の回旋速度との関係を報告している (4)。その他にも大殿筋の着地におけるプレアクティビティーが確認されていることから衝撃前的大殿筋の活動が着地時の膝への衝撃を減少させ、膝の障害を予防すると考えられている。つまり膝関節の運動制御において股関節筋が重要な役割を果たしていることが考えられる。

この 2 つのトレーニングは、膝関節の損傷への予防や訓練に効果的であると考えられる。しかし、今後さらなる研究が必要な分野であることには違いない。

[曾田 直樹]

■引用文献

- (1) Caraffa A et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 4: 19-21, 1996.
- (2) Gilchrist J et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. Am J Sports Med. 36: 1476-1483, 2008.
- (3) Cale A et al. Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. J Athl Train. 42: 76-83, 2007.
- (4) Preece SJ et al. The influence of gluteus maximus on transverse plane tibial rotation. Gait Posture. 27: 616-621, 2008.

足関節捻挫～予防への道～

「足（関節）を捻挫した」と聞いて、あなたはごどう思いますか。

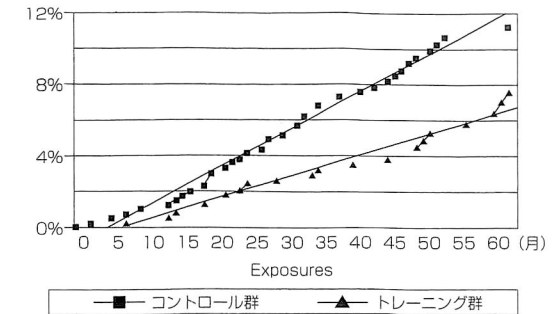
聞き慣れた捻挫という言葉に、重傷を連想する人は少ない。屈強なスポーツ選手も、ちょっと踏み外しただけの主婦も、老若男女を問わず誰もが受傷する危険性のある足関節捻挫は、とても身近な存在である。

統計では、足関節の怪我はスポーツ外傷全体の10～30%を占め、その中の70%以上が捻挫である。足関節捻挫は多くが外側捻挫でATFL（前距腓靭帯）の断裂または損傷である。捻挫は「関節に生理的可動域を越えた運動が強制されて関節包や靭帯が局所的に異常に緊張した状態」と定義され、重症度は「I度：靭帯部分断裂、II度：靭帯部分断裂と関節包損傷、III度：靭帯完全断裂と関節包損傷」に分類される。捻挫というあまりにも聞き慣れた言葉で、そのため医療関係者の間でも軽微な損傷として扱われることが多いが、捻挫とは関節包や腱、靭帯損傷のことを指す。

足関節捻挫を受傷した選手は、リハビリを経て競技に復帰するが、復帰してすぐまた捻挫では意味がない。再発を防止することが重要である。ではどうすれば足関節の捻挫を予防できるのか。1つは装具やテーピングである。硬性支柱の付いた装具は足関節捻挫の再発の危険性が減少することが明らかになっており(1)。これを使用することで捻挫を予防できる。しかし、装具は足を守るというメリットと、一方で足の自由度を奪ってしまい動かしにくくなるというデメリットを併せ持つ。テーピングでは足関節の自由を奪ってしまう上に、試合や練習中に緩んでしまうという問題もある。

そこで、2つめの方法として考えられるのはトレーニングである。トレーニングでは再発を予防できないのか、予防にはどのようなトレーニングが有効なのか。過去には足関節の筋力（特に足関節を外反する筋力）の強化や足関節周囲筋の反応時間の向上により足関節捻挫を予防できるといわれてきたが、現在では意見が分かれていて、明らかではない。しかし、近年バランストレーニングを用いたトレーニングにより足関節捻挫を予防できるのではないかと考えられている。

McGuineらは765名の高校生を対象とした研究を行い、トレーニングによって足関節捻挫の頻度がどのように変化するかを調査した(2)。トレーニングの内容は、まずは目を開けての片脚立ちから目を閉じての片脚立ち、次に片脚立ちの状態でのボールパスなどの動作を加えたもの、さらにはバランスボード上での片脚立ち、そして最終的にはバランスボード上でのボールパスなどの動作を加え、徐々に難易度が増すようプログラムされており、トレーニングの頻度は1回10分間を週5回（4週間行い、5週目からは週3回）とされていた。結果は、シーズンを通じ全体では62名（8.1%）が足関節捻挫を受傷し、1000活動時間当たりの受傷率は1.51回であった。バランストレーニングを行った群では23名（6.1%）が受傷し、受傷率は1.13回であった。そ



図：Kaplan-Meier法によるシーズンを通じた足関節受傷率の比較。
(McGuine TA, et al. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. Am J Sports Med, 34: 1103-1111, 2006. より引用)

れに対し、コントロール群では39名（9.9%）が受傷し、受傷率は1.87回であり、バランストレーニングによって統計学的にも明らかに足関節受傷が減少することが示された。さらには、Kaplan-Meier法により足関節捻挫の受傷率を比較しても、トレーニングを行った群ではコントロール群と比較して、シーズンを通して足関節捻挫が減少することが明らかとなった(図)。また、重回帰分析を利用した統計処理方法により、バランストレーニングを行うと足関節捻挫の受傷率は0.56倍に減少することがわかった。しかしトレーニングをしても、足関節捻挫経験者では、未経験者と比較すると2.14倍再受傷の危険性が高いことも明らかとなっている。

スポーツの現場では、選手や指導者はシーズンによっては少しの無理をしてでも競技復帰したいと考えており、そのことが十分な医療的処置を受けずに競技復帰をしてしまうことにつながっている。足関節捻挫はスポーツにおける怪我の中で最も頻繁に起こるものであり、本来リハビリ室は足関節捻挫からスポーツ復帰を目指す患者であふれているはずだが、現実には非常に少ない。不十分なりハビリテーションでバランス能力が低下したまま、あるいは足関節の機能に問題があるにもかかわらず装具を使用しないで競技復帰してしまい、すぐに足関節捻挫を再受傷するというのは、めずらしいことではない。足関節捻挫をしてしまった選手はバランス能力が低下していると足関節捻挫を再受傷する危険性が高いことはわかったが、それでは、何を基準に競技復帰したら良いのか、はっきりしたことは分かっておらず今後の研究課題というのが現状である。

実は、あまりにも身近なものは、わかっていないことが多い。 [西村 純]

■引用文献

- (1) Handoll HH et al. Interventions for preventing ankle ligament injuries. Cochrane Database Syst Rev, (3): CD000018, 2001.
- (2) McGuine TA et al. The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. Am J Sports Med, 34: 1103-1111, 2006.

ハムストリングスの肉離れ、 なぜ大腿二頭筋に生じやすいのか？

1997年に行われた世界最速決定戦で、当時100mの世界記録保持者であったドノバン・ベイリーと200m、400mの世界記録保持者であったマイケル・ジョンソンが、互いの得意種目の間をとった150m走で直接対決した。1着でゴールしたのはベイリーだった。一方、ジョンソンは90m付近で大腿部を故障したため途中棄権していたのである。詳細は不明であるが、大腿後面にある筋肉の肉離れが原因だったとの説がある。

スポーツ活動中に生じる肉離れは、大腿の前面・後面、あるいはふくらはぎの筋肉で生じやすい。大腿後面の筋肉はハムストリングスと呼ばれ、内側に位置する半腱様筋・半膜様筋と外側に位置する大腿二頭筋という3つの筋の総称である。ハムストリングスの肉離れは走動作中の発生率が高く、その特徴として反復性であること、ハムストリングスの中でも大腿二頭筋が特に障害されやすいことが挙げられる。大腿二頭筋に肉離れが生じやすい理由は明らかにはなっていないが、近年、運動学的な観点から興味深い知見が得られている。

ハムストリングスを構成する3筋は、いずれも股関節と膝関節をまたぐ二関節筋であり、股関節の伸展・膝関節の屈曲という作用を持つ。走動作中のハムストリングスの肉離れは、立脚初期あるいは遊脚後期に生じる可能性が高いといわれている。近年、運動学的な観点から有力とされているのは遊脚後期に発生するメカニズムである。3次元動作解析によると遊脚後期でハムストリングスは最も伸張され、また筋電図解析によると同時期に高い筋活動が生じている。つまり、ハムストリングスは、縮む努力をしながら引き伸ばされているのである。この筋の働きは短縮性収縮（縮む努力をしながら縮む働き方）や等尺性収縮（伸び縮みしない働き方）に比べ、筋に多大なストレスを与えるとされている。運動学的には、このように肉離れの発生メカニズムが説明されている。

しかし、これだけではなぜ大腿二頭筋に肉離れが生じやすいのかは説明できない。そこで、3筋の働きを個別に見てみよう。3次元動作解析と筋骨格モデルのシミュレーションからハムストリングスの運動を個別に調べた研究(1)によると、接地直前の遊脚後期にハムストリングスは最も伸張され、中でも大腿二頭筋は半腱様筋・半膜様筋に比べ伸張される程度が大きいことが明らかとなった(図1)。さらに、これを実証する興味深いデータがある。データ測定中にハムストリングスの肉離れを生じ、その時のハムストリングス3筋の運動を調べた珍しい報告である(2)。これによると、肉離れが発生したと思われる時点で、大腿二頭筋は他の2筋に比べ大きく伸張されていた。つまり、ハムストリングスの中でも大腿二頭筋は、縮みながら最も引き伸ばされやすいため筋にかかるストレスが大きくなり、肉離れを生じやすいのである。

また、シミュレーションモデルを用いて遊脚後期の下部体幹・股・膝・足関節周囲

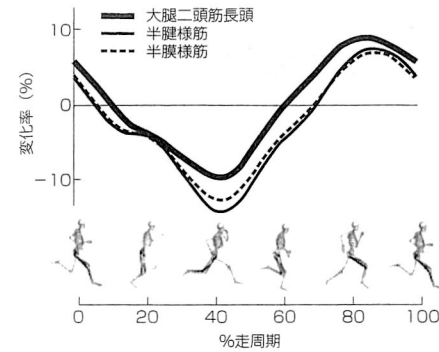


図1：筋・腱の伸張される程度。ハムストリングスの走動作中の筋と腱複合の伸張性を推定した。静止立位時の筋と腱複合の長さを基準とし、どれだけ伸ばされたか、あるいは縮んだかを%表示している。3筋いずれも接地直前の遊脚後期に最も伸張された。伸張される程度は半腱様筋(8.1%)・半膜様筋(7.4%)に比べ大腿二頭筋(9.5%)で有意に大きかった。

(図1, 2の 出典：Thelen DG et al. Neuromusculoskeletal models provide insights into the mechanisms and rehabilitation of hamstring strains. Exerc Sport Sci Rev, 34: 135-141, 2006)

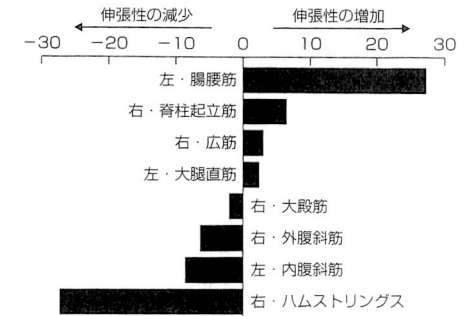


図2：右大腿二頭筋の伸張性に及ぼす影響。右遊脚後期に下部体幹・股・膝・足関節周囲筋の筋出力を変化させ、どの筋が大腿二頭筋の伸張性に強く影響するのかを調べた。最も影響の大きかった8筋を示している。反対側の腸腰筋や同側の脊柱起立筋の出力を高めると大腿二頭筋の伸張性は増加し、同側のハムストリングスや外腹斜筋、反対側の内腹斜筋の出力を高めると大腿二頭筋の伸張性は減少する。

筋の筋出力を変化させ、どの筋が大腿二頭筋の伸張性に強く影響するかを調べた研究がある(3)。この研究では通常の右遊脚後期における筋出力を基準とし、各筋の出力を1つずつ1N(ニュートン)だけ増加させ、その他の筋出力は一定にしてシミュレーションした。その結果、大腿二頭筋の伸張性にはハムストリングスそれら自身の出力を変化させた時と同程度に、腸腰筋が強く影響を及ぼし、その他にも腸腰筋と同じく体幹と骨盤を連結する脊柱起立筋、内・外腹斜筋の影響が強いことが示唆されている(図2)。ハムストリングスは骨盤と下肢をつなぎ、骨盤の前傾・後傾によって伸張性が変化し易いため、下部体幹・骨盤の筋力バランスを適正に保ち骨盤を安定させることは肉離れの予防につながるのかもしれない。

敵を知り、己を知れば百戦危うからず。肉離れのメカニズムを知り、その予防法を知れば肉離れは恐くない。競技者の皆さんが肉離れに苦しめられることなく走り続けられることを切に願う。
[井上 拓也]

引用文献

- Thelen DG et al. Hamstring muscle kinematics during treadmill sprinting. Med Sci Sports Exerc, 37: 108-114, 2005.
- Heiderscheidt BC et al. Identifying the time of occurrence of a hamstring strain injury during treadmill running: a case study. Clin Biomech (Bristol, Avon), 20: 1072-1078, 2005.
- Thelen DG et al. Neuromusculoskeletal models provide insights into the mechanisms and rehabilitation of hamstring strains. Exerc Sport Sci Rev, 34: 135-141, 2006.

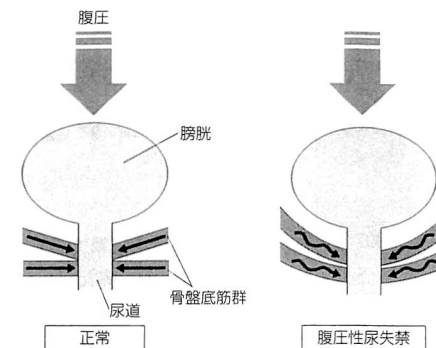
運動により尿漏れの予防と治療は可能か？

最近ではテレビで尿漏れの治療薬やパッドの宣伝を目にすることがあるが、健康な若者にとっては他人事といったところだろう。しかし、尿漏れは家族や専門の医師にさえ相談しにくく、本人にとっては大変深刻な悩みとなっている場合も多い。

尿漏れ、つまり尿失禁にも様々な種類があり、その対処方法も異なる。高齢者で多いのが、機能性尿失禁、切迫性尿失禁、溢流性尿失禁、腹圧性尿失禁の4タイプである。機能性尿失禁は、病気やケガ、あるいは加齢により身体が思うように動かなくなった場合に生じるもので、その対処方法としては脱ぎやすい服を着る、トイレまでの廊下に手すりを取り付けるといったことが挙げられる。切迫性尿失禁は強い尿意を感じた途端に漏れてしまうもの、溢流性尿失禁は尿の出が悪く少しずつ漏れてくるもので、いずれも薬物療法や手術療法が適応となる。

そして腹圧性尿失禁は、くしゃみや咳、荷物を持ち上げるなどの動作などによって不意に腹圧がかかったようなときに、弱くなった骨盤底筋群がその腹圧に耐えられず尿が漏れる病態であり、中高年の女性では最も多いタイプである。図に示しているように、正常では骨盤底筋群がハンモック状に膀胱や子宮を支え、尿の出口である尿道を閉める働きを持っている。しかし、それが弱くなると膀胱が垂れ下がり、尿道を閉める力が落ちて尿が漏れやすくなる。しかも、女性は男性よりも尿道が短いため、尿失禁が起きやすいという解剖学的な不利がある。さらに骨盤底筋群が弱くなる主な原因として、妊娠と経産分娩が挙げられる。妊娠中の胎児や羊水の重みが骨盤底筋群にとって重荷となったり、出産時に骨盤底筋群や膀胱周囲の神経および組織が傷付けられたりするためである。また女性の場合、加齢による筋力低下に加え、閉経後に女性ホルモンの分泌が減ることで、骨盤底筋群の柔軟性が下がり、骨盤内臓器を支える力や尿道を閉める力が落ちてしまうのである。その他、内臓脂肪の重みや腸の中に溜まった便の重みも、骨盤底筋群にとって重荷となる(1)。つまり、特に既往のない一見健康な方においても、尿失禁が起きる危険性を抱えているといえる。

腹圧性尿失禁の予防および治療法としては、運動療法が有効とされている。最初に骨盤底筋群トレーニングを提唱したKegelは、腹圧性尿失禁患者は健常者と比較して骨盤底筋群収縮時の膣内圧が低値を示したこと、また腹圧性尿失禁患者に1回20分の骨盤底筋群トレーニング1日3回毎日施行した結果、膣内圧が上昇し、6~8週間で84%の患者に尿失禁の改善がみられたことを報告している(3, 4)。骨盤底筋群トレーニングは、まず仰向けやあぐらなどの姿勢を取り、余計な力を抜く。次に、骨盤底筋群の収縮感覚を正確に認知しながら、収縮と弛緩を反復するのだが、そうはいつでも大抵はどうしていいのか想像もつかないだろう。通常では、骨盤底筋群は横隔膜および腹筋群と協調して活動している。健常者では、息を吐くときに骨盤底は横隔膜と同



図：腹圧伝達の模式図(福井準之助. 排尿のメカニズム. 薬局, 53 (8): 2-10, 2002を改変)

様に頭側に上がり、腹部は内方に凹む。反対に息を吸うときは、骨盤底および横隔膜は尾側に下がり、腹部は外方に膨らむ。しかし、骨盤底筋群が弱い場合は、息を吐くときに骨盤底が下がり、腹部が外方に膨らむ。そこで、息を吐きながら肛門や膈を胃の方へ吸い上げるようなイメージで持ち上げ、息を吸いながら力を抜くという運動を繰り返し行うとよい(5)。

尿失禁は直接生命を危ぶむことはないので、つい軽視されがちである。しかし、時に本人の自尊心を奪い、それによって生活の質が下がることもある。放置すれば、外出に対する意欲や自信を失い、引きこもりや寝たきりを惹き起こしかねない。いずれ自分の身に起きるかもしれないという意識を持つこと、そしてもし自分や家族に思い当たる症状がみられたときには専門家に相談し、適切な対処を取ることを心がけていただきたい。

[太田 恵]

■引用文献

- (1) 佐野泰弘ほか. 腹圧性尿失禁の危険因子. 産婦人科治療, 91: 392-395, 2005.
- (2) 福井準之助. 排尿のメカニズム. 薬局, 53 (8): 2-10, 2002.
- (3) Kegel AH. Progressive resistance exercise in the functional restoration of the perineal muscles. Am J Obstet Gynecol, 56: 238-248, 1948.
- (4) Arnold H, Kegel AH. Physiologic therapy for urinary stress incontinence. J Am Med Assoc, 146: 915-917, 1951.
- (5) 田舎中真由美. 骨盤底筋群機能障害に対する評価とアプローチ. 理学療法学, 31 (4): 212-215, 2008.