

10 慢性疼痛症候群における筋緊張の特性と治療

嵩下敏文，脇元幸一

慢性疼痛症候群は画像や理学所見で問題点を見出すことが難しく，その治療に難渋することが少なくない．近年の集学的取り組みにより，慢性疼痛症候群は身体的要因のみならず中枢を含む神経系の感作や可塑的变化に起因し，身体的・心理的・社会的要因が複雑に絡み合って形成されることがわかってきた．本項では，理学療法士が評価・治療すべき慢性疼痛症候群の身体的要因に着目し，慢性疼痛症候群に共通する問題点から解説する．

慢性疼痛症候群は安静時筋緊張が亢進している！

生体内には，目に見える振動と目に見えない振動が存在している．人間の活動において最初に発生する生体情報は電気的振動であり，電気的振動により生じた横紋筋（心筋は除く）の活動で得られるのが機械的振動である．これは覚醒時にも睡眠時にも生じる身体の目に見えない振動であり，振戦と呼ばれる．

健常者と慢性疼痛患者との振戦の比較では，健常者よりも慢性疼痛患者の振戦が顕著に出現しており，これは**慢性疼痛症候群の安静時筋緊張が亢進している**ことを意味している（図1）¹⁾．

✕モ 電気的振動と機械的振動

- 電気的振動
脳波，筋電図，心電図など．
- 機械的振動
生理的振戦，震え，マイクロバイブレーション，筋音など．

安静時筋緊張亢進

痛みの発生は，不快な感覚で生じる情動反応，自律神経系や運動器系の変調などさまざまな生体反応を伴い，全身機能に大きな影響を及ぼす．これは痛みに対する正常な生体反応であるが，痛みの持続は防御性の筋緊張を亢進し，交感神経活動による体性-自律神経反射により安静時の筋緊張亢進（筋スパズム）を引き起こす．また，痛みの持続は不快な

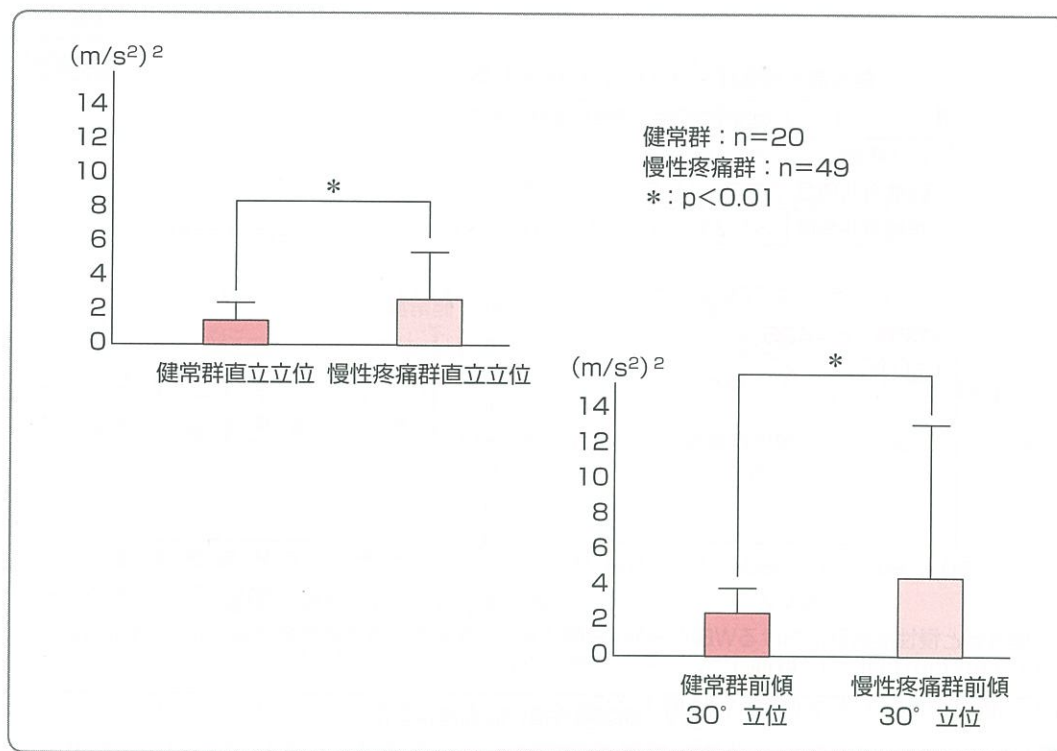


図1 振戦による筋緊張評価

振戦の評価として第3胸椎の高さの右胸背部付近に三次元加速度センサを貼付し、安静立位時における体表の振動を計測した。得られた加速度データ (m/s^2) からフーリエ変換によりパワースペクトル密度 (m/s^2)² の合計を算出 (トータルパワー) した。図の縦軸はトータルパワーを示し、この値が大きいほど振戦が顕著であることを意味している。

「嵩下敏文，脇元幸一・他：慢性疼痛症候群の行動変容療法，理学療法，28 (6)，790，2011」より許諾を得て一部改変し転載

情動反応を助長し，さらなる交感神経活動異常を生じて痛みの悪循環を形成する²⁾。

つまり，慢性疼痛症候群は常に交感神経優位な身体環境にあり，生体恒常性を維持できない状況にある。安静時の筋緊張亢進は，姿勢の変化や筋力低下など持続的筋収縮による運動器系の反応として可視化できる。

POINT

- 姿勢の変化³⁾ (脊柱弯曲アライメントの異常)：慢性疼痛症候群では，脊柱が有する生理的弯曲アライメントの異常が確認できる (図2上段)。
- 筋力低下³⁾ (筋出力低下)：慢性疼痛症候群では，筋量^{*1}に見合った筋出力^{*2}が得られておらず，健常群に対し有意に低値を示し，その数値は疼痛部位には左右されない (図2下段)。

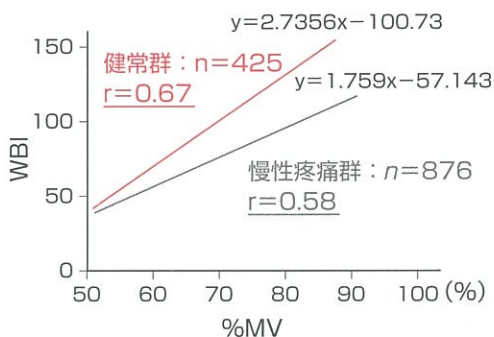
*1：筋量＝身体総蛋白質量/体重によって算出した筋量 (% muscle volume : % MV)

*2：筋出力＝膝関節伸展等尺性随意最大筋力/体重によって算出した体重支持指数 (weight bearing index : WBI)

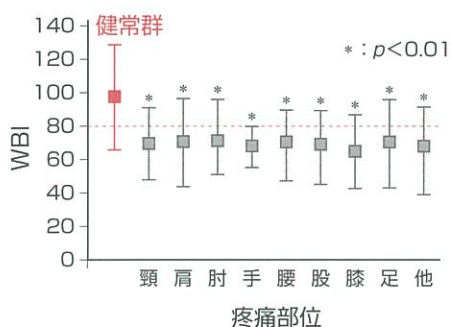
健常群と疼痛群における弯曲角度の比較

	健常群男性	慢性疼痛群男性	有意差
年齢	29.6±5.9	32.5±4.2	ns
胸椎弯曲角度	37.7±10.5	30.4±8.0	*
腰椎弯曲角度	31.3±7.9	31.3±6.1	ns

n=20
mean±SD
*: p<0.05
ns: not significant



健常群と慢性疼痛群におけるWBIと%MV相関比較



健常群と慢性疼痛群疼痛部位別WBI比較

図2 筋緊張亢進と運動器系変化

「嵩下敏文, 脇元幸一: Spine Dynamics療法, 新人・若手理学療法士のための最近知見の臨床応用ガイダンス (嶋田智明 他編), pp100-101, 2013, 文光堂」より許諾を得て一部改変し転載

筋収縮にはブラックボックスが存在する

筋線維(筋細胞)は運動ニューロンからの刺激を受けて活動電位を発生し, これをトリガーとして収縮した筋張力がトルク(筋力)として発揮される。筋収縮が発生しトルクが発揮される過程は複雑であり, 活動電位の発生後, 筋線維組織においてカルシウムイオン(Ca^{2+})の発生, エネルギー物質の分解(ATP)など一連の化学反応が起こり, 筋線維近傍にエネルギーが生み出される。このエネルギーを利用してアクチンフィラメントとミオシンフィラメントに化学結合が発生し, 両フィラメントは互いに方向を違えて運動を開始する。

過去の筋生理測定は, 筋線維の収縮時に発生する筋電図と最終的に計測されるトルクのみが筋収縮研究の対象であった。活動電位の発生とトルクの間位置する筋線維の活動状態に関する報告は少なく, 筋収縮メカニズムについてはいまだ不明な点が多く一定の見解に至っていない。

慢性疼痛症候群では, 画像や理学所見などで明らかな問題点が認められないことが多い。つまり, 一般的な検査測定では慢性疼痛の問題点を見出すことが難しいといっても過言ではない。本項では, 新たな側面から慢性疼痛症候群の筋緊張に挑む。

Advice

筋収縮メカニズムは、ミオシンフィラメントがアクチンフィラメントと結合し、引き寄せる形で筋収縮が成り立つという「滑走説」⁴⁾が一般的である。滑走説は筋収縮メカニズムとして長く信じられてきたが、滑走説の約20年後に筋線維を可視化する技術(1分子計測技術)が確立すると筋収縮の様子をじかに見ることが可能となった。Yanagidaらがこの技術を用いて筋収縮を調べた結果、ミオシンフィラメントは収縮方向のみならず、収縮方向とは逆向きの移動を確認している。つまり、ミオシンフィラメントが行ったり来たりしながら結果として一方方向に移動していくという収縮メカニズムを「ゆらぎ説」⁵⁾として提唱した。現在、筋収縮メカニズムに最終的な決着は得られていないが、ゆらぎ説が有力視されている。

新たな筋機能評価への取り組み

筋収縮過程における生体情報には、電気的振動をとらえた①筋電図(electromyogram : EMG)があり、電気的振動発生直後から筋表面には機械的振動をとらえる②筋音図(mechanomyogram : MMG)がある。そして機械的振動の発生から終了時に③トルク(筋力)が発揮される。生体の電気的振動であるEMGは筋というシステムへの「入力」に相当し、生体の機械的振動であるMMGは筋収縮後の動力であり、筋というシステムの「出力」に相当する⁶⁾(図3)。

筋線維レベルの情報を含むとされるMMGを分析することは、明らかな理学所見が認められない慢性疼痛症候群の運動器系評価法ならびに治療効果の判定に可能性を秘めている。

メモ MMGの歴史

MMGは筋収縮に伴う筋の微振動であり、その歴史は古い(Grimaldi, 1665)。EMGよりも古くに発見されたものの、MMGの研究報告がなされるようになったのは良好な振動センサが開発された1980年代以降であり、近年活発な研究報告がなされるようになってきた。

POINT

MMGの計測には三次元加速度センサを用いて解析を行い、X軸・Y軸・Z軸と3つの加速度方向を示す。筋線維走行に対し左右側(X軸)、頭尾側(Y軸)、腹背側(Z軸)として抽出され、筋線維の活動方向が多方向性の動きを伴っていることを示している⁷⁾(図4)。

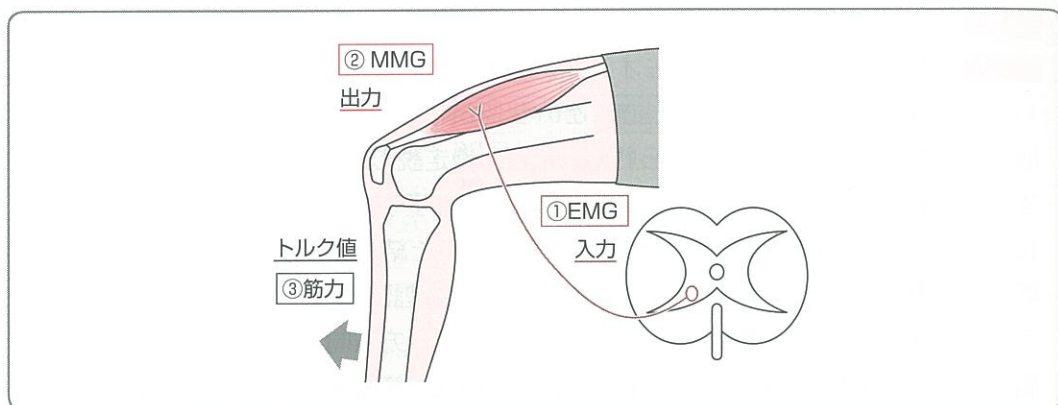


図3 筋収縮過程における生体情報

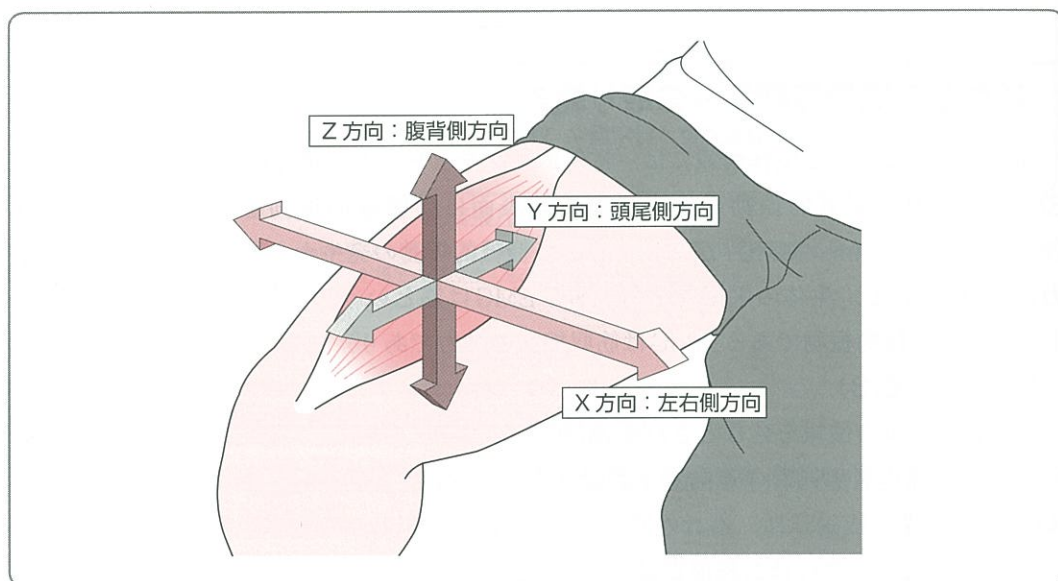


図4 MMGによる筋収縮の描出

X軸：左右側方向，Y軸：頭尾側方向，Z軸：腹背側方向.

健常群と慢性疼痛症候群の筋電図，筋音図，筋力

筋線維の入力に相当するEMG，筋線維の出力に相当するMMG，筋収縮の結果である筋力，これらを健常群と慢性疼痛群で比較した資料を図5に示す。

過去の報告と同様に慢性疼痛群は筋出力低下を生じているが，その際のEMGには有意差が認められず，筋への入力システムには問題がない。これに対し，MMGは筋出力と同様の差異が認められ，慢性疼痛症候群は筋への出力システムに問題があることがうかがえる。つまり，慢性疼痛症候群の安静時の筋緊張亢進には，筋線維レベルでの筋収縮メカニズムの破綻が持続的な筋収縮として出現している。

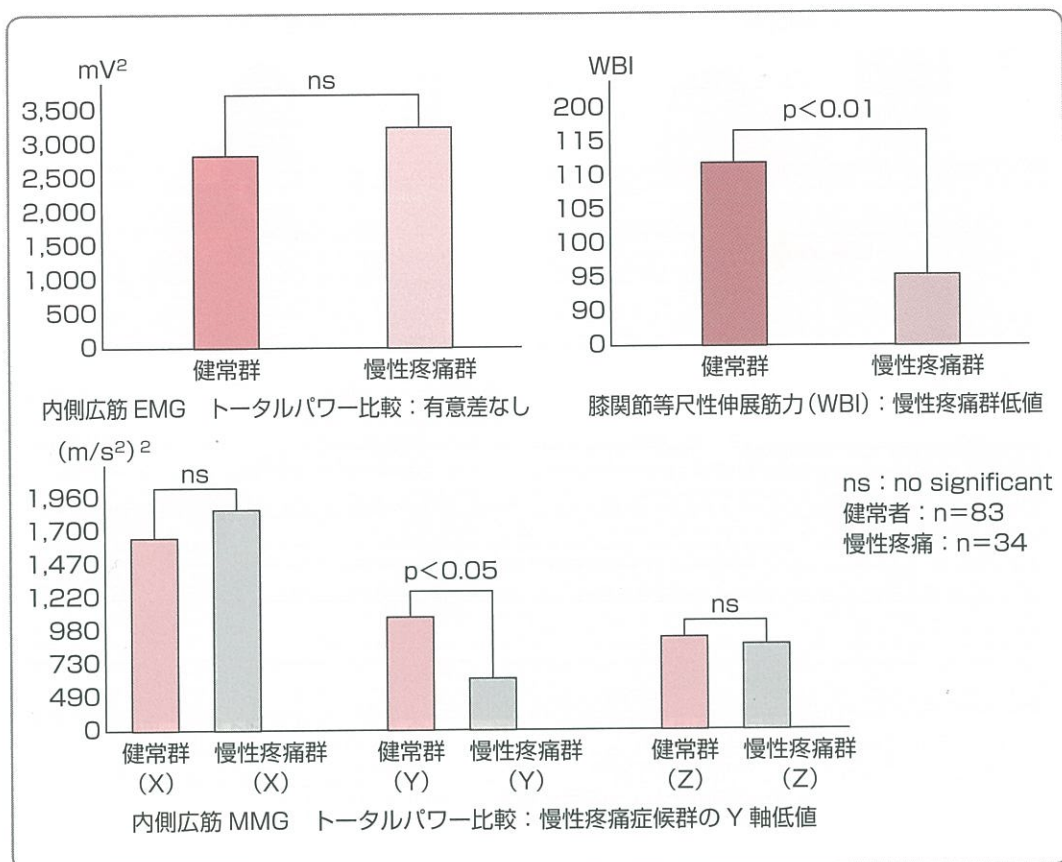


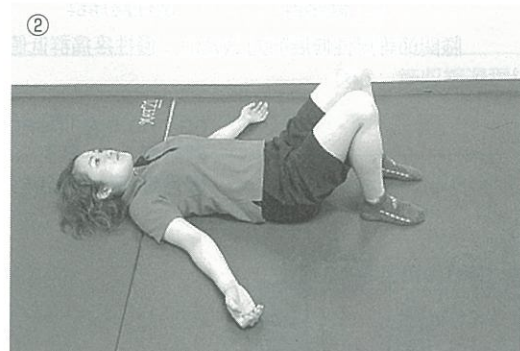
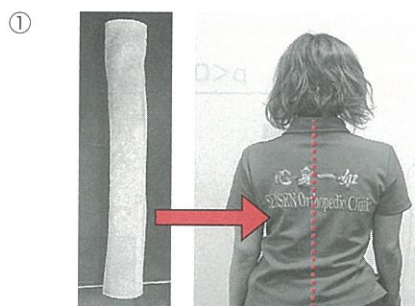
図5 健常群と慢性疼痛症候群のEMG, MMG, WBI比較

運動療法の実践とMMGの変化～慢性腰痛症～

安静時筋緊張が亢進した慢性疼痛症候群では、持続的な筋収縮による身体応答として姿勢の変化(脊柱弯曲アライメントの異常, 図2上段)を先に述べた。そして、脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療法是慢性腰痛症の改善に有効である。

- タオルスティック (図6左)
- 座位殿筋ストレッチ (図6右)
- キャットストレッチ改 (図7)
- 座位四股運動 (図8左)
- 体幹回旋運動 (図8右)

タオルスティック



- ① バスタオルを丸めて脊柱に当てて寝る
- ② タオル上にてゆっくりと深呼吸を繰り返す

座位殿筋ストレッチ



- ① 片方の下肢を反対側の膝の上に乗せる
- ② 体幹と骨盤を前傾させ殿部を伸張させる

図6 脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療事例①



- ① 両手を肩幅、両股関節は軽度外転位での四つ這い姿勢をとらせる
- ② 脊柱の最大後弯と最大伸展をゆっくりと繰り返し行わせる

図7 脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療事例②—キャットストレッチ

座位四股

①



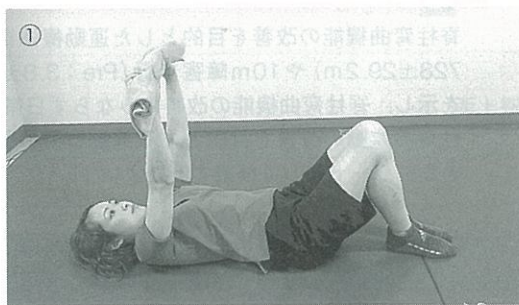
②



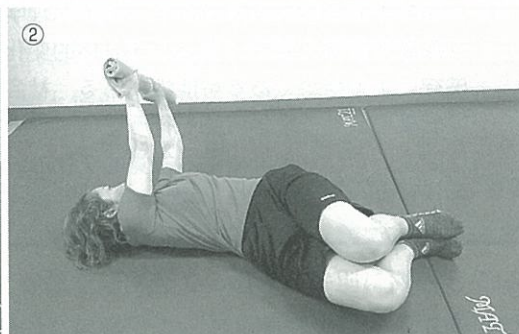
- ①座位姿勢にて両下肢を開脚位とする
②骨盤前傾位を意識して体幹を屈曲させる

体幹回旋

①



②



- ①両手でタオルを持ち両膝立て位とする
②両上肢と両下肢を反対方向に回旋させる

図8 脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療法例③

表1 運動療法における筋収縮機能の改善

運動療法前後・前屈角度	X(左)	Y(左)	Z(左)	X(右)	Y(右)	Z(右)
運動療法前・15°(G ²)	1.9	1.9	11.3	0.9	3.7	1.7
運動療法後・15°(G ²)	3.3	2.0	55.7	2.3	2.2	99.2

体幹を15°前屈位で保持したときのMMGの値を示す。数値が大きいくほど筋線維の活動量が多いことを示している。

POINT

腹背側(Z軸)の増加は筋周径(ボリューム)が増加したことを示している。また、右利きの場合は身体の左側が軸側として、右側が駆動側として働く。推論の域を出ないが、慢性疼痛症候群では日頃軸側有意な環境で筋収縮を行っており、運動療法によって駆動側の筋機能が向上したという仮説が成り立つ。

脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療法は、実施前後の腰部MMGに一定の効果を示し、筋収縮機能の改善が得られる(表1)。

MMGによる筋機能評価は、筋収縮メカニズムの解明に一助となる情報を有しており、慢性疼痛症候群の筋機能評価ならびに治療効果の判定としての可能性を示している。

メモ

脊柱弯曲機能の改善を目的とした運動療法は、6分間歩行 (Pre: 662 ± 29.6 m, Post: 728 ± 29.2 m) や10m障害歩行 (Pre: 3.8 ± 0.2 秒, Post: 3.3 ± 0.1 秒) に有意な改善を示し、脊柱弯曲機能の改善のみならず日常生活レベルの機能向上にも効果を示す。脊柱弯曲運動の改善を目的とする運動療法の留意点に関しては、「Spine Dynamics療法」をキーワードとして検索するとよい。

▶ 若手理学療法士へひとこと ◀

慢性疼痛症候群の治療には、従来の理学療法のみでは成功しない場合が多い。慢性疼痛症候群の背景がもたらす身体的変化は、本来の生理的な筋収縮メカニズムの破綻による結果である可能性がある。社会問題となっている慢性疼痛症候群に対して結果の出せる理学療法を行うには、大きな意味で質の変化が求められていることは間違いない。理学療法も視覚的变化のみならず、質の変化を考慮した理学療法評価法ならびに治療効果の確立が必要な時代となってきている。



Further Reading

ペインリハビリテーション 松原貴子, 沖田 実, 森岡 周 著, 三輪書店, 2011

▶ 慢性疼痛の痛みの機序を理解するうえで非常に参考となる一冊である。

生体のふるえと振動知覚—メカニカルバイブレーションの機能評価— 坂本和義, 清水 豊, 水戸和幸, 他 著, 東京電機大学出版局, 2009

▶ 生体の振動情報がわかりやすく解説されており、筋音に限らず生体情報を新たな側面から捉えた書籍である。

●—文献

- 1) 高下敏文, 脇元幸一, 内田繕博, 他: 慢性疼痛症候群の行動変容, 理学療法. 28(6): 788-795, 2011
- 2) 脇元幸一: 筋スパズムと交感神経活動異常に対する理学療法—痛みの成因とその助長因子への対策—, 理学療法. 27(1): 38-53, 1997
- 3) 高下敏文, 脇元幸一: Spine Dynamics療法, 新人・若手理学療法士のための最近知見の臨床応用ガイド (嶋田智明, 他 編), pp93-102, 2013, 文光堂
- 4) Huxley AF: Muscle structure and theories of contraction. Prog Biophys Biophys Chem. 7: 255-318, 1957
- 5) Yanagida T, Nakase M, Nishiyama K, et al: Direct observation of motion of single F-actin filaments in the presence of myosin. Nature. 307(5946): 58-60, 1984
- 6) 渡辺彰吾, 北脇知己, 岡 久雄: 筋内圧力および生体表面の変位に着目した筋音図発生メカニズムの検討, バイオメカニズム, 18: 209-218, 2006
- 7) 高下敏文, 脇元幸一, 尾崎 純, 他: 健常男性成人における大腿四頭筋の最大随意収縮時筋力と筋音図の関係. 専門リハビリテーション, 12: 28-33, 2013