

硬さ連続測定を臨床で活用するための試行的検討

有馬 義貴

健康鍼灸学科

Trial of continuous tension monitoring in a clinical setting

Yoshitaka ARIMA

要旨

硬さ連続測定器の臨床活用を硬さ分布の左右対称性と関節運動に伴う筋の硬さ変化に着目して検討した。対象は疼痛誘発試験で明確な陽性反応が認められないが左上腕骨外側上顆炎が疑われる男性（45歳）とし、硬さ測定器はIMC-1225型（Imoto Machinery Co.）、NI cDAQ-9174+NI 9215（National Instruments）、CF-SX3（Panasonic）で構成したシステムを用いた。罹患筋（長橈側手根伸筋）と対照筋（総指伸筋、橈側手根屈筋、前脛骨筋）における中間位と背屈・掌屈位の左右同部位の13もしくは15点を静的に測定し、罹患筋には動的な測定を試みた。中間位と背屈・掌屈位の硬さ分布は対照筋では左右対称性を示し、罹患筋では背屈位で左右非対称性であった。動的測定では背屈で硬軟両方向への値の変化があり、患側では外側上顆から遠位4、5、6cmで対側に比較して顕著に硬くなった。硬さ分布の左右対称性の観察は徒手検査で明確な陽性反応がない症例における診察情報となり、動的測定は硬さの観察ポイントを決めるためのスクリーニングおよび治療変化の観察に有用である可能性が示唆された。しかし、変化パターンや測定器を支持する力の影響など検討すべき課題が残されている。

キーワード：硬さ、硬さ分布、対称性、動的測定、上腕骨外側上顆炎

Abstract

We investigated the clinical use of a continuous tension monitoring device, focusing on the bilateral symmetry of distribution of tension and changes in muscle tension associated with joint exercise. The subject was a 45-year-old man suspected of having left lateral epicondylitis, but who showed no definite positive response to pain provocation. The stiffness monitoring device consisted of IMC-1225, NI cDAQ-9174+NI 9215, and CF-SX3 components. The affected muscles (extensor carpi radialis longus) and control muscles (the common digital extensor, flexor carpi radialis, and tibialis anterior) were measured at 13-15 points in neutral position, as well as at bilateral locations in dorsiflexion and palmar flexion positions, to determine static and dynamic loads in affected muscles. The distribution of tension in the neutral, dorsiflexed, and palmar flexed positions was bilaterally symmetrical in the control muscles. In the affected muscles, the distribution in the dorsiflexed position was not bilaterally symmetrical. On dynamic testing, there were changes in the values in both the tensed and relaxed directions in the dorsiflexed position. Muscle tension at 4, 5, and 6 cm distal to the lateral epicondyle was significantly increased in the affected area compared with the control area. Observation of bilateral symmetrical distribution of tension provides medical information for patients who lack a definite positive response to manual testing. The results of the present study suggest that dynamic measurement may be useful in screening to determine evaluation points for tension and to monitor treatment effects. However, there are still problems such as changing patterns and the effects of the power required by the measuring device, which require further study.

Keywords : Stiffness, Distribution of Tension, Bilaterally Symmetrical, Dynamic Measurement, Lateral Epicondylitis

1. はじめに

医師や鍼灸師などが用いる診察技術の一つである触診には、施術者が触知する患者体表面の凹凸、硬さ・軟らかさ、湿潤・乾燥、温度などの情報と、患者が感覚する凝り・痛み・鈍麻などの情報がある¹⁾。体表の反応形式で病態を把握し、鍼・灸・あん摩マッサージ指圧等の物理刺激で体表の特定部位を刺激する鍼灸療法やあん摩マッサージ指圧療法では、古くから凝り・硬結などの硬さや痛みの情報を診断・治療・効果を判定する上で特に重視している^{2,3)}。

これまでに、著者はヒトの触知動作を模する硬さ計を開発して硬さの情報要素と変化要因を研究し⁴⁻⁶⁾、硬結の検出・描出には多点計測が重要であること⁷⁾や、痛みの自覚や月経周期などの身体状況は硬さの分布形式に現れることを確認してきた^{1,3,8,9)}。従来の硬さ計を用いた硬さ分布把握では体表に描いた格子を指標として測定部を確認→計測→測定値の読取→記録を繰り返し、その後結果をコンピュータに入力して画像化する。そのため、一定の時間を要することが欠点であった。硬結の検出・描出や病態と硬さの分布形式との関連を追究するには、短時間で多点計測を行え、かつ硬結描出能の高い機器が必要であると考え、近年では多点計測用の硬さ計測器と分布図を表示するシステムを開発し、その性能評価を行った¹⁰⁾。そして、生体における硬さ分布を把握するための測定では筋収縮などの一定の状態維持が困難であるため測定密度を高めることで描出精度が向上するとは限らず、測定点数等の臨床応用に関する検討が必要であることがわかった¹¹⁾。

一方で、これまでの単点計測による生体の硬さ研究では、(1)筋疲労は筋の弛緩と収縮との筋硬度差に反映すること¹²⁾や、(2)腰痛や肩こりの自覚は硬さの左右差に反映すること^{1,3,13-15)}が分かっている。その他、鍼治療によって腰部の左右の筋の緊張バランスが調節される報告¹⁶⁾や前屈動作による腰部脊中起立筋の最高 RMS 筋電図活動に非対称性が認められる被験者への鍼治療で左右差が有意に縮小したこと¹⁷⁾などの報告がある。

これらの背景を踏まえ、臨床における「連続硬さ測定」の活用法を動作に伴う筋硬度差と硬さ分布の左右差に着目して検討した。

2. 方法

2.1 硬さ測定システムの構成と原理

システム(図1上)は固さ測定器 IMC-1225 型(井元製作所)、NIcDAQ-9174+NI9215(National instruments)、パーソナルコンピュータ CF-SX3(Panasonic)で構成し、プログラムは LabVIEW2014(National instruments)で製作した。硬さ測定の原理はヒトが指で対象物に触れ、指腹周囲が一定の応力を受ける時の指腹中心部の変位に

よって硬さを判定する知覚動作に基づき、測定器先端の接触部はバネ強度が異なる主軸と補助筒で構成し、硬さの値は接触部を対象に押し当て補助筒が 10mm 移動する時の主軸の移動距離の 10 倍としている(図1下)。接触部補助筒は外径 15mm、内径 12mm であり、主軸は直径 5mm である。硬さ情報は主軸の変位をサンプリング周波数 100Hz で取得した波形と、ピークとして検出した最大変位値を用いた。

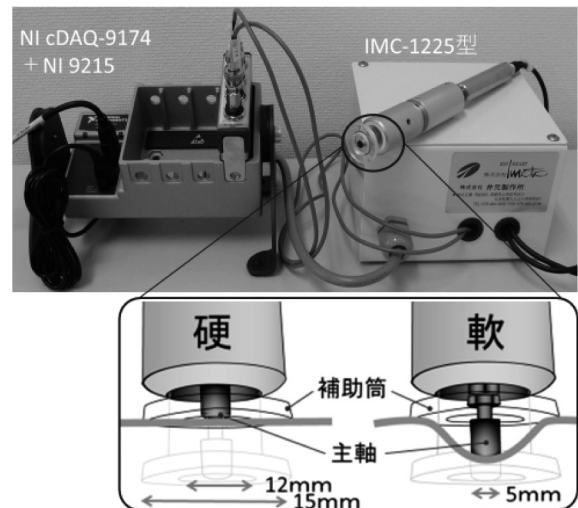


図1 硬さ測定システムの構成と原理

2.2 対象と測定部位

対象は、乳児の頻回多数の「だっこ(横抱き)」で7ヶ月前から左上腕骨外側上顆付近が痛み、痛みの強度が変わらないまま経過が継続していた男性1名(45歳)とした。硬さ測定時の対象者の現症は左側の中指伸展テスト(-)、Thomsen 試験(-)、chair test(±)、上腕骨外側上顆部圧痛(-)、長橈側手根伸筋の圧痛(+だが顕著な左右差なし)であった。

測定は罹患筋と考えられた長橈側手根伸筋の他に対照筋の総指伸筋、橈側手根屈筋、前脛骨筋について行った。硬さの計測部位は前腕外側の長橈側手根伸筋と総指伸筋では上腕骨外側上顆から筋腹中央を1cm毎に13点、前腕内側の橈側手根屈筋では上腕骨内側上顆から筋腹中央を1cm毎に13点、下腿前面の前脛骨筋では犢鼻穴(膝を折り曲げたときにできる外側の膝蓋骨下縁と脛骨上端との中間のくぼみ)の7cm下から筋腹の中央1cm毎に15点とした(図2)。

2.3 静的(静止時)硬さ測定

前腕筋の硬さ測定は座位で行い、橈側手根屈筋は肩関節30度屈曲、肘関節40度屈曲かつ90度回外位で、前腕外側面が机上に接する肢位、前腕外側筋(橈側手根伸筋、総指伸筋)は肩関節内旋位で30度屈曲、肘関節90度屈曲かつ90度回内位で、前腕内側面が机上に接する肢位で測定した(図2)。前脛骨筋はバランスチェアサポート5040(HAG)の前部に足を載せ、股関節を90度

屈曲、膝関節を90度屈曲した肢位で測定した。硬さは、橈側手根屈筋では手関節中間位と最大掌屈位、長橈側手根伸筋と総指伸筋では手関節中間位と最大背屈位、前脛骨筋では足関節中間位と最大内反背屈位について、それぞれ近位から遠位測定点に向かって測定した。

分析ではプログラム上で表示される主軸の変位波形の硬さ（ピーク値）と硬さ分布型の左右非対称性に着目した。



図2 測定部位と肢位

2.4 動的（動作時）硬さ測定

罹患筋の長橈側手根伸筋の硬さは座位で肩関節内旋位で30度屈曲、肘関節90度屈曲かつ90度回内位で、前腕内側面が机上に接する肢位の手関節中間位から測定を実施した。動作時測定の主軸波形の観察は下記の手順で両側について測定した。

- ①手関節中間位で通常の1回押し当てによる硬さ測定を行い、再度、測定器先端接触部を測定点に押し当て、押し当てた状態を維持したまま手関節の背屈動作（中間位～背屈位～中間位）を1回ゆっくりと行わせる動的（動作時）硬さ測定を各測定点で実施し、13点について連続で測定した。
- ②①で得られた主軸の変位波形から、中間位と背屈位の変位の差が最大であった1点を測定対象とした。手関節中間位で通常の1回押し当てによる硬さ測定を行い、再度、測定器先端接触部を測定点に押し当て、押し当てた状態を維持したまま手関節背屈動作をゆっくりと行わせる動的（動作時）硬さ測定を実施した。
- ③②の測定点について、硬さ測定器の押し当てを維持したまま2回の背屈動作（中間位～背屈位～中間位～背屈位～中間位）を行わせる動的（動作時）硬さ測定を実施した。

3. 結果

3.1 静的（静止時）硬さ測定

総指伸筋および前脛骨筋の中間位と背屈位における硬さ値の範囲は左右両側で同様であり、かつ硬さ分布は対

称的な分布型を示した。橈側手根屈筋の掌屈位の硬さ値の範囲はほぼ同じだったが、硬さ分布は中間位で非対称だった。長橈側手根伸筋における硬さ値は背屈位で罹患側（左）よりも健側（右）が硬く、硬さ分布は左右で非対称だった。

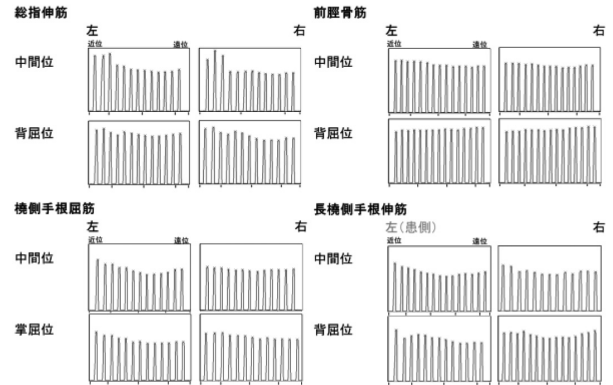


図3 静的（静止時）硬さ

3.2 動的（動作時）硬さ測定

右健側では近位から2、7、8、9cmの点で中間位（筋弛緩時）よりも背屈位（筋収縮時）の波高値が低くなり、3、4cmの点では背屈位（筋収縮時）でやや高くなった（図4上）。左患側の13点の動的硬さ測定では、近位から2、3、10cmの点で中間位よりも背屈位の波高値が低くなり、4～6cmの点では背屈位の波高値が著しく高くなった。中間位と背屈位の差は近位から5cmの点が最も著しく、その部位のみの手関節1回背屈動作による動的測定波形の比較では右側に比較して、左側が硬い状態が明確に表示された（図4下）。2回背屈動作では、測定器先端接触部の測定部への固定圧が増す影響によって左右どちらの測定においても2回目で波高値が低くなった。

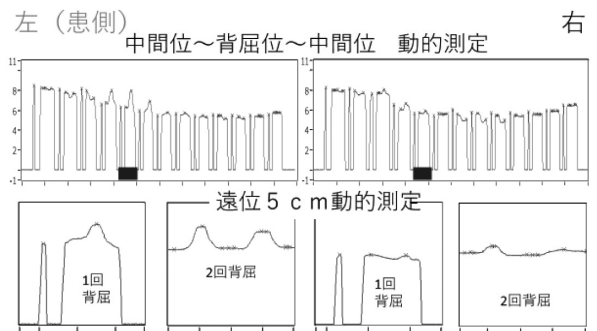


図4 長橈側手根伸筋の動的（動作時）硬さ

4. 考察

対照筋である総指伸筋と前脛骨筋では中間位と背屈位で同様の硬さ値と分布の左右対称性が認められたが、橈側手根屈筋は筋弛緩状態の中間位で硬さ分布が左右対称だった。これは橈側手根屈筋が罹患筋と考えられる長橈側手根伸筋の拮抗筋であることに起因すると考えられる。

森定らによる腰痛の自覚者の硬さ分布の左右非対称性は腰部のみでなく腹部にも現れる¹⁴⁾とする報告と矛盾しない。同報告では硬さ非対称の傾向は拮抗部よりも罹患部において明確に現れており、本研究においても罹患筋と考えられる長橈側手根伸筋の背屈位（筋収縮時）で左右非対称性が明確に認められた。

一般的に筋は疲労によって硬くなると認識されている傾向があるが、その変化は対象とする筋によって異なる。我々はこれまでの研究で、筋疲労による筋の硬さは弛緩時において硬くなる場合と収縮時において軟らかくなる場合とがあることを確認し、筋疲労は筋硬度差の減少に現れると考える仮説を提唱した¹⁶⁾。今回の結果は、罹患筋において中間位と背屈位（弛緩時と収縮時）の筋硬度差の増加が観察され、頻回多数の「だっこ」により生じたと考えられる被験者の長橈側手根伸筋が筋疲労の状態にあるとすると提唱仮説とは矛盾することになる。筋疲労による筋硬度差の減少はすべての筋では現れないのか、あるいは長橈側手根伸筋の筋疲労がこれまでの実験的に起こした筋疲労とは異なるのかなど、更に検討が必要である。

本測定器によって得られる硬さは粘弾性体の弾性成分を強く反映^{6,7)}し、筋の弾性変化は機械的収縮と関連が深い⁴⁾。それにも関わらず、本研究では筋収縮で硬さ波高値が小さくなる観測点が生じている。筋の機械的収縮と硬さとの関係を検討した報告は筋腹を測定点としていることから、その他の測定点における硬さ変化の要因と機序についても検討の継続が求められる。

硬さ測定技術は材料の強度あるいは耐久性・安全性などを機械的特性から間接的に評価するために発展し、硬さの概念は伸張、損傷、変形、変化、摩耗、疲労などをしやすい・しにくいという様々な性質を代表する相対比較の概念で、学問的かつ一元的に定義しにくい¹⁹⁾。加えて、生体では厳密な条件下での硬さ測定が困難であるだけでなく、特に評価が求められている軟部組織のような柔軟物は弾性と粘性の性質を有する粘弾性体であることから、多種の評価・測定方法が試みられている。その方法は荷重や変位を加える方法²⁰⁻²⁵⁾と衝撃や振動を加える動的な方法^{26,27)}の2種類に大別することができる。どちらも物体の機械的応答の観察であり、近年ではMRI²⁸⁾や超音波^{29,32)}などを用いた応答法へと発展している。

いずれの測定も、現時点においては生体の静止肢位における一部位の評価であり、臨床現場で測定時間や機器のコストに対する診断・治療効果判定に関わる十分な情報を提供できるものではない。著者は硬さ測定を臨床における意義のある検査の一つとすることを目標として、点（ポイント）測定から線（ライン）測定、面（エリア）測定へと展開を試みている。本研究ではこれまで行われていた硬さ研究の静止肢位一部位評価から、測定観察部位の絞り込み兼左右硬さ分布の比較にライン測定を用い、さらに関節動作による硬さ変化観察を盛り込むことで硬

さ情報量を増加させた。これは生体の硬さ研究史における初めての試みである。

その結果として、一例ではあるが疼痛誘発試験で陽性反応がない症例において罹患筋の収縮時に硬さ分布の非対称性、いわゆる左右差があり、その差は関節動作による筋の硬さの変化様式の違いにも現れることを示唆する結果が得られた。2回の背屈動作では硬さの差が小さくなった現象からは手動測定による固定圧の漸増が推測され、筋疲労と筋硬度差や機械的収縮と筋の硬さなどの従来の報告と異なるところが生じている件については静止肢位による測定法との違いも踏まえ今後精査が必要な事項である。しかし、鍼灸による左右差の減少を確認した我々の過去の研究結果^{3,15)}や山本らや田中らの鍼治療による左右差減少の報告^{16,17)}から診断のみならず治療による変化表示にも有益な情報となることが期待される。

5. おわりに

障害や症状のない筋では弛緩時、収縮時それぞれで硬さの左右分布が近似し、腱や筋の付着部の障害は筋収縮時の硬さ分布の左右差に反映されることが示唆された。また、硬さ分布の動的測定が硬さ測定点の絞り込みの一つの手法になる可能性が考えられた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費基盤研究 C25460916 の助成により実施した一部である。

文献

- 1) 有馬義貴、芝崎崇寿、高野道代「"触れる"ことおよび"触れられる"ことによって得られる触診所見の客観的測定とそれら所見間の関連性について」『学校法人明治東洋医学院創立 40 周年記念受賞論文集』、1999 年、20-37 頁
- 2) 川喜田健司「硬結について－質問票の回答に関する中間報告－」『全日本鍼灸学会雑誌』第 36 巻、第 1 号、1986 年、36-41 頁
- 3) 有馬義貴・矢野忠・芝崎崇寿・高野道代・井元俊之「マッサージ施術による腰部の硬さの変化」『日本手技療法学会雑誌』第 10 巻、第 1 号、1999 年、10-15 頁
- 4) 有馬義貴・森和・矢野忠・佐々木和郎・渡邊一平「切診法の客観化に関する基礎的研究－東洋医学生体弾性計測システムの開発とその応用－」『東方医学』第 11 巻、第 3 号、1995 年、16-31 頁
- 5) 有馬義貴・矢野忠「触診法の客観化に関する基礎的研究－触診時の指の動作を基本にした生体の硬さ測定－」『医用電子と生体工学』第 36 巻、第 4 号、1998 年、1-16 頁

- 6) 有馬義貴「触診法における硬さ情報の客観化」『明治鍼灸医学』第21号、1997年、25-49頁
- 7) 有馬義貴「生体表面硬さの客観化と硬結」『バイオメカニズム学会雑誌』SOBIM40、第2巻、2016年、85-90頁
- 8) 有馬義貴・高野道代・永見曜子「肩こりと方の硬さの左右差との関係」『健康プロデュース学部雑誌(常葉大学)』第8巻、第1号、2014年、55-58頁
- 9) 有馬義貴・中澤寛元・小笠原千絵・仲村正子・山本香苗「月経周期における経絡上の硬さパターンの変化」『第32回日本東方医学会抄録集』、2014年、26頁
- 10) 有馬義貴「硬さ連続測定システムの開発」『身体運動文化学会第19回大会』抄録集、2014年、40-41頁
- 11) 有馬義貴・中澤寛元「生体表面の硬さ分布を画像として表示する計測システムの開発～表現法と描出力の検討～」『第64回公益社団法人 全日本鍼灸学会学術大会 ふくしま大会抄録集』、2015年、195頁
- 12) 中澤寛元・島村元・有馬義貴・村瀬智一・沢崎健太「筋疲労が経絡に及ぼす影響」『東方医学』第27巻、第1号、2011年、39-45頁
- 13) 有馬義貴・高野道代・永見曜子「肩こりと方の硬さの左右差との関係」『健康プロデュース学部雑誌(常葉大学)』第8巻、第1号、2014年、55-58
- 14) 森定真・有馬義貴・篠原昭二・和辻直・渡邊勝之・山本晃久・北出利勝「腰痛の生むにおける腰部と腹部の硬さ分布の違い」『明治鍼灸医学』第33号、2003年、51-59頁
- 15) 有馬義貴・谷口剛志・田口辰樹「鍼実技授業の検討ー鍼治療が骨盤角度とその左右差へ及ぼす影響ー」『健康プロデュース学部雑誌(常葉大学)』第8巻、第1号、2014年、41-44頁
- 16) 山本晃久・佐々木和郎・大山良樹「腰痛・非腰痛患者における鍼治療の腰部圧弾性に及ぼす効果」『明治鍼灸医学』第13号、1993年、55-58頁
- 17) 田中秀明・西條一止「ダイナミックEMG活動への鍼刺激の影響」『全日本鍼灸学会雑誌』第48号、第2号、1998年、105-119頁
- 18) 中澤寛元・島村元・有馬義貴・村瀬智一・沢崎健太「筋疲労が経絡に及ぼす影響」『東方医学』第27巻、第1号、2011年、39-45頁
- 19) 寺澤正男・岩崎正三「硬さのおはなし」、日本規格協会、2001年
- 20) Takahisa Yonezu, Shinichi Kogure "The effect of low-level laser irradiation on muscle tension and hardness compared", LASER THERAPY Vol. 22 No. 3, 2013, 201-207.
- 21) Kothari, Simple F., et al. "Standardization of Muscle Palpation-Methodological Considerations." The Clinical journal of pain 30.2, 2014, 174-182.
- 22) Kimura, K., Watanabe, Y., Umeda, M., Arima, Y., Watsuji, T., Shinohara, S. "Quantitative analysis of the relation between soft tissue stiffness palpated from the body surface and tissue hemodynamics in the human forearm." Physiological measurement 28.12 ,2007, 1495.
- 23) Morisada, Makoto, Kaoru Okada, and Kenji Kawakita. "Quantitative analysis of muscle hardness in tetanic contractions induced by electrical stimulation in rats." European journal of applied physiology 97.6 , 2006, 681-686.
- 24) Horikawa, M., et al. "Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues." Medical and Biological Engineering and Computing 31.6, 1993, 623-627.
- 25) Oflaz, H. A. K. A. N., and O. N. D. E. R. Baran. "A new medical device to measure a stiffness of soft materials." Acta of Bioengineering and Biomechanics 16.1, 2014.
- 26) Irie, T., H. Oka, and T. Yamamoto. "Measurement of hardness of human skin with impact force." Medical and Biological Engineering and Computing 32.2, 1994, 231-233.
- 27) Omata, Sadao. "Ground couplings and measurement frequency ranges of vibration transducers." The Journal of the Acoustical Society of America 73.6, 1983, 2187-2192.
- 28) 名定良祐・竹内知輝・張君峰他「TaggingMRIを用いた組織弾性イメージング法の開発」『理論応用力学講演会 講演論文集』第59巻、2010年、93-93頁
- 29) Wang, Cong-Zhi, Tian-Jie Li, and Yong-Ping Zheng. "Shear modulus estimation on vastus intermedius of elderly and young females over the entire range of isometric contraction." PloS one 9.7 , 2014, e101769.
- 30) Chino, Kentaro, et al. "Reliability and validity of quantifying absolute muscle hardness using ultrasound elastography." PLoS One 7.9, 2012, e45764.
- 31) Muraki, Satoshi, Kiyotaka Fukumoto, and Osamu Fukuda. "Prediction of the muscle strength by the muscle thickness and hardness using ultrasound muscle hardness meter." SpringerPlus 2.1, 2013, 1.
- 32) Konrad, Andreas, and Markus Tilp. "Effects of ballistic stretching training on the properties of human muscle and tendon structures." Journal of Applied Physiology 117.1, 2014, 29-35.