

筋硬度計による生体の硬さ測定

—再現性と妥当性と有用性—

肥田 朋子・天野 幸代

抄録

生体組織の硬さを評価することは、患者の機能障害レベルの把握や、理学療法の効果判定の一つとして重要であるが、多くの場合、触診に頼り客観性に欠ける欠点があった。近年、簡便な筋硬度計が市販されたが、その再現性や妥当性に関する研究は十分ではなく、今後使用していくにあたって検討が必要と考えた。そこで第一に再現性と妥当性を確認し、第二に実際にヒト下腿三頭筋に対するマッサージによる筋硬度低下を反映できるかどうか確認することで有用性を検討した。3名の測定者は筋硬度計を用いて健常成人被験者10名の下腿後面の硬さを測定した。測定は時間を空けて2~3回実施し、測定者内および測定者間の再現性を検討した。その結果、測定者内級内相関係数ICC (1, 1) は、0.94~0.98と高い再現性を示したが、測定者間の筋硬度測定値に有意な差は認められなかった。しかしICC (2, 1), (2, 3) は0.88~0.98と高く、妥当性は認められた。次に被験者7名に対して、右下腿三頭筋にマッサージを10分間施行し、前後の下腿後面における硬さを筋硬度計で測定し、触診した。その結果、すべての被験者で触診による硬さの低下を確認したが、筋硬度計による測定値もマッサージ前に比して有意に低値を示した ($p < 0.05$)。これらのことから、今回使用した筋硬度計は、同一測定者による測定での再現性と妥当性が確認でき、生体の硬さ評価に有用であることが明らかとなった。

はじめに

機能障害に対して種々の理学療法を行うにあたり、理学療法士は評価の一つとして生体組織を触診し、硬さの違いや筋萎縮などの異常の有無を確認する。また、マッサージやストレッチなどにより、筋の硬さが減少することを触診によって確認しているが、この触診による硬さ弁別は、熟練者では高いことが認められている¹⁾ものの客観的な評価にはつながらない欠点があった。以前から生体の硬さ測定には、装置を用いて生体を押し込み、反発力やその押し込み

距離と反発力との関係などから筋硬度を客観的に示すことの検討がなされ、妥当性も明らかにされてきた²⁻⁷⁾。生体の硬さを規定する因子には、筋の粘・弾性および皮下組織の液性因子が関与していると考えられる。われわれは以前、実験的に筋を最大筋力の5%、10%、および20%の力で等尺性収縮させた場合やうっ血状態における硬度を機械刺激装置を用いて計測したところ、安静時に比して硬度が上昇することを明らかにした⁷⁾。これにより浮腫などの症状がない場合の生体組織の硬度測定では、筋の硬さを反映すると考えられた。この筋硬度測定装

置は、客観性が認められるだけでなく機械的に押し込む距離を制御できるなどの利点はあったが、ある程度の設置スペースを必要とし、刺激方法から姿勢が制限されるなどの煩雑な面があり、臨床に向かない欠点があった。

一方、近年、簡便に生体の硬さを測定できる筋硬度計が市販されるようになった。この筋硬度計の一つにおいては再現性や妥当性に関する検討が行われている^{4,5)}ものの、ヒトに対しては咬筋に筋収縮をさせた場合の検討⁵⁾であり、臨床的な使用目的に対する検討としては不十分であった。また、他方の筋硬度計では、高梨らによるウレタン素材における再現性の検討⁸⁾のみであり、生体組織での報告はない。そこで、本研究では、市販されている後者の筋硬度計を用いて生体組織の硬さを測定し、その有用性を確認することを目的に再現性と妥当性から検討した。

対象および方法

実験1—測定者内および測定者間再現性

対象はすべて健常成人で、測定者3名（すべて女性）、被験者10名（男性8名、女性2名、平均年齢20.4歳、body mass index: BMI 22.4 ± 4.2）であった。被験者および測定者には本実験の趣旨を説明し、参加の同意を得たうえで実験を行った。

各測定者は、被験者に対して下腿後面の硬さを測定した。硬さ測定には、疼痛を伴うことなく測定が可能な筋硬度計（TRY-ALL社製、NEUTONE TDM-NA1）を使用した。実験を開始する前に、3人の測定者は、筋硬度計の圧迫によって被験者に苦痛が生じないようゆっくりと筋硬度計が押せるようになるまで十分な練習を行った。一回の測定に要する時間は、3～

4秒とした。

被験者には、足背部をベッド端から出したリラックスした姿勢で腹臥位をとらせた。その後、測定者が筋硬度計で同一箇所の測定を行えるよう、下腿最大周径となる高さで下腿幅の中心線上のポイントを両側に印した。チェックしたポイント上に筋硬度計を置き、練習同様、ゆっくりと同じスピードで筋硬度計を押すようにして測定した。この時、筋硬度計は下腿後面に対して垂直に圧迫するように保持した。測定は、連続して5回行い、それぞれ5回の測定値の最大値および最小値を省き、残りの数値の平均値を各測定値とした。1人の被験者に対して左右2肢を測定したため、1被験者につき2個の測定値を得た。1度に同一被験者の左右2肢を順に測定し、その10～20分後に、2度目の測定を同様に行った。さらに、3人のうちの1人の測定者については、最初の測定から約30分後に3度目の測定を行った。

統計学的解析は、測定者内信頼性を確かめるために、一元配置分散分析による級内相関係数（ICC：Intraclass correlation coefficient）を用いて比較検討を行った。また、各測定者が10人の被験者に対して測定した際の測定値の測定者間信頼性についてもICCで比較検討を行った。なお、統計処理には統計ソフトSPSS（Ver. 15）を使用した。

実験2—マッサージ施行による筋硬度への影響

対象は健常成人14名で、コントロール群とマッサージ群に無作為に分けた。コントロール群の対象は7名（男性2名、女性5名、平均年齢21.0歳、BMI 21.2 ± 2.9）、マッサージ群の対象は7名（男性3名、女性4名、平均年齢21.7歳、BMI 21.7 ± 1.7）であった。また、測定者は筋硬度計による測定に慣れた女性1名と

した。被験者と測定者には本実験の趣旨を説明し、参加の同意を得たうえで実験を行った。筋硬度の測定は、実験1と同じ筋硬度計を用いて同様に行ったが、左側の下腿後面に対してのみ実施した。

コントロール群は筋硬度測定後、腹臥位で10分間安静にさせ、その後再び筋硬度の測定を行った。マッサージ群に対しては筋硬度測定後、腹臥位で左下腿後面に10分間マッサージを行い、その後再び筋硬度を測定した。このマッサージは、被験者が痛みを訴えず気持ちいいと感じる程度の強さで行った。なお、施術者には、マッサージ開始前と施行後の下腿の硬さの主観的な変化についてコメントしてもらった。

統計学的解析は、コントロール群およびマッサージ群における刺激前後の測定値の比較には対応のあるt-検定を用いた。また、コントロール群とマッサージ群の刺激前後の測定値の差の比較にはMann-WhitneyのU検定を用いた。なお、統計処理には統計ソフトSPSS (Ver. 15)を使用した。

結果

実験1 測定者内および測定者間再現性

各測定者における両側下腿部の筋硬度測定結果を表1に示す。測定者1における各被験者の測定値は、一度目が7.33～24.33、二度目が6.67～25.00であり、測定者2におけるそれは、それぞれ10.33～26.00、10.67～27.33、測定者3では、それぞれ11.00～32.00、10.67～27.00、10.67～29.33であった。いずれの測定者においても最低値を示した被験者は同一者であり、各最高値についても、同一被験者から得られた値であった。

また、測定者1では $F = 0.76$ 、測定者2では

$F = 0.66$ となり、いずれも2度の測定値に有意な差は認められなかった。さらに、測定者3においては $F = 1.33$ となり、3度の測定値においても有意な差は認められなかった。

次に、同一被験者に対する各測定者の測定値を比較したところ、一度目が $F = 19.15$ 、二度目が $F = 30.98$ と有意差が認められた。この時の級内相関係数は、一度目が $ICC(2, 1) = 0.88$ 、 $ICC(2, 3) = 0.96$ 、二度目が $ICC(2, 1) = 0.93$ 、 $ICC(2, 3) = 0.98$ であった。

実験2 マッサージ施行による筋硬度への影響

施術者は、10分間のマッサージによる筋の硬さの低下を触診にて確認した。

コントロール群およびマッサージ群における施行前後の筋硬度の測定結果を図1に示す。コントロール群の筋硬度は安静前 22.0 ± 3.3 、安静後 22.0 ± 3.5 であり、コントロール群の10分安静前後の測定値に有意な差は認められなかった。一方、マッサージ群の筋硬度はマッサージ前が 21.6 ± 4.5 であったのに対し、マッサージ後は 18.3 ± 3.6 と低値を示し、有意差を認めた($p < 0.05$)。

さらに、コントロール群とマッサージ群の刺激前後の測定値の差を比較したところ、マッサージ群の方が有意に低かった($p < 0.05$, 図1)。

考察

実験1 測定者内および測定者間再現性

今回の実験では、3人の測定者が筋硬度計で下腿後面の硬さを2度測定した結果、測定者内で高い再現性が認められた。さらに、このうちの1人については、3度の測定を行ったが、それでも同様に高い再現性を示した。筋硬度計の

表1 全被験者の筋硬度とBMIおよび各測定者の測定結果に対する級内相関係数(ICC)

		測定者1		測定者2		測定者3			BMI
		一度目	二度目	一度目	二度目	一度目	二度目	三度目	
A	右	24.33	24.00	25.67	27.33	29.67	25.00	27.00	24.11
	左	24.33	25.00	26.00	26.00	32.00	27.00	29.33	
B	右	16.67	13.33	14.00	15.33	17.33	15.67	15.67	21.05
	左	14.67	13.00	15.33	16.00	16.67	17.00	17.33	
C	右	20.00	19.33	23.67	24.67	21.33	22.67	23.33	17.99
	左	21.33	19.00	21.67	23.33	20.33	22.67	22.67	
D	右	16.67	16.67	19.33	18.67	18.33	20.00	21.67	18.36
	左	12.67	12.33	17.00	16.00	16.33	16.00	15.00	
E	右	15.00	13.67	21.00	18.67	19.33	20.00	20.00	25.16
	左	14.33	16.67	19.33	18.33	17.33	17.00	16.33	
F	右	12.33	12.67	17.00	14.67	17.33	17.67	16.67	22.46
	左	11.67	12.33	17.00	14.33	17.67	18.00	16.33	
G	右	15.00	17.00	18.00	17.33	17.67	17.00	16.67	21.38
	左	15.67	14.67	17.33	16.33	17.67	15.33	15.67	
H	右	7.33	6.67	12.33	11.33	11.67	10.67	11.67	18.17
	左	10.67	10.33	10.33	10.67	11.00	10.67	10.67	
I	右	22.67	22.00	23.00	25.00	24.67	24.00	24.67	31.80
	左	20.67	20.67	23.67	25.00	24.00	23.33	24.67	
J	右	20.67	20.67	20.00	21.67	19.67	19.67	23.00	23.81
	左	17.00	18.67	24.67	21.00	20.33	20.67	22.33	
ICC (1, 1)		0.96		0.94		0.94			
ICC (1, 2)		0.98		0.97		—			
ICC (1, 3)		—		—		0.98			

信頼性を確認する実験は、高梨らのポリウレタン素材を対象とした報告⁸⁾やIgawaらの咬筋を対象とした報告⁵⁾があるが、いずれも同一測定者内では高い信頼性を示しており、今回のわれわれの結果は、それらを支持するものであった。

また、複数の測定者間の測定値の比較では、同一被験者に対する各測定者の測定値にばらつきがあるものの、各測定者の測定値はICC =

0.9前後と非常に高い一貫性が認められた。このばらつきは各測定者の押圧量が均一ではなかったために生じたと推察された。これらのことより、本硬度計を用いた軟部組織の測定値の比較は、同一測定者内であれば定量的に扱うことが可能であることが示唆された。高梨ら⁸⁾の実験でも、われわれの結果と同様、同一測定者内では高い信頼性を示しているのに対し、複数

筋硬度計による生体の硬さ測定

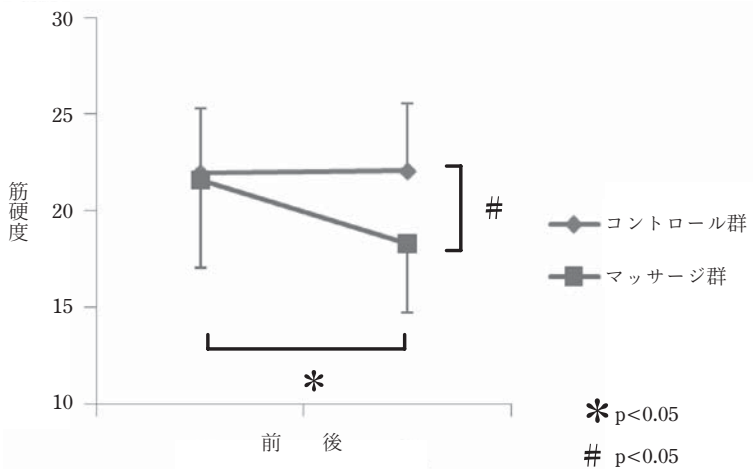


図1 マッサージによる筋硬度の変化
 マッサージないし安静前後の筋硬度の変化を平均値と標準偏差で示している。
 マッサージ群においてはマッサージ前後で筋硬度は有意に低下し (* $p < 0.05$),
 その変化はコントロール群に比しても有意差を認めた (# $p < 0.05$)。

測定者間では、押圧量は均一ではないとしており、今回のわれわれの結果と同様であった。ただ高梨らは均一素材における測定であったが、われわれは個体差のあるヒトの組織を対象としており、それにもかかわらず同様の結果が得られたことから、今回使用した筋硬度計による測定の再現性の高さとする有用性が示された。

また、斎藤¹⁰⁾は、筋硬度計の精度を論じる場合、評価者の押圧強度が一定であることや測定部位に垂直に押圧することが最大の問題であるとしている。今回のわれわれの測定でも、繰り返し練習を行い、測定部位や押圧方法などの測定条件を一定にすることで測定者内の信頼性の高い結果が得られた。しかし、このように測定条件を考慮しても各測定者の押圧量を一定にすることは困難であった。そのため、測定値を比較検討する際には注意が必要であることが示された。

一方、各被験者の測定値を同一測定者内でみても、例えば測定者1では一度目の筋硬度は最小値7.33、最大値24.33であり、健常人

でありながら測定値にはかなりの幅があった。そこで、皮下脂肪等他の組織による影響を探るため各被験者のBMIと筋硬度とを比較したが、BMIの値が高い者で筋硬度が低いとは限らなかった。鈴木⁹⁾によると、筋弛緩時の筋硬度測定は、脂肪量を考慮せず検討することが可能で、安静時の筋緊張の変化を把握するのに適用があるとしている。今回のわれわれの実験でも、測定値が脂肪量による影響を受けているとは考えにくく、測定値のばらつきは個体差であると考えられた。このように、被験者を健常人とし、可能な限り測定条件を一定にしても下腿後面の筋硬度は被験者によって異なることが分かった。そのため、軟部組織における指標となるような筋硬度の基準値を確定することは困難であり、各患者の治療効果の評価に筋硬度計を利用することは可能であっても、正常値との比較は困難であることが分かった。

このように今回の実験では、測定値の絶対比較は困難であっても、測定者が同じであれば定量的な比較は可能であることが示された。その

ため、同一被験者に関して測定値を比較する場合は、必ず同一測定者が測定しなければならない。その一方で、複数の被験者の測定値を比較する場合には、測定者が複数であっても各被験者が同一測定者で測定されていれば、相対的な比較は可能であることが明らかとなった。

実験2 マッサージ施行による筋硬度への影響

コントロール群における前後10分間の安静は、筋硬度に影響を与えなかった。これに対し、下腿後面にマッサージを10分間施行したマッサージ群では、施行前後で有意に筋硬度は低下した。これにより施術者の触診で感じていた硬さの低下を数値として示すことができた。また、刺激前後の測定値の差を群間で比較した結果、コントロール群に対してマッサージ群の筋硬度は有意に低かった。今回、7名という少人数ではあったが、マッサージ施行による筋硬度の低下を客観的に確認することができた。このことは、われわれが臨床で経験するマッサージの効果とも一致しており、筋硬度の客観的評価における筋硬度計の有用性が確認できた。

小粥ら¹¹⁾は、自転車エルゴメータペダリング後のマッサージが筋硬度や運動パフォーマンス等に与える影響について報告している。これによると、柔捏法マッサージが運動パフォーマンスや筋硬度、下肢疲労感の改善に効果があるとしている。今回何もしていない状態からのマッサージ施行によっても筋硬度の変化を捉えることができたので、今後は、何もしていない状態からマッサージを施行した場合による筋硬度変化の、パフォーマンス等への影響も検討していく必要があると思われる。

謝辞

本研究の一部は2007年度名古屋学院大学研究奨励金の一部を用いて行った。また本研究を行うにあたり、協力してくださった本学学生の松永舞さんに感謝いたします。

文献

- 1) 井関朋子, 伊神玲子, 鈴木重行, 辻井洋一郎: 触診経験者群と未経験者群におけるモデル内部の異物有無の触診能. 名大医短紀要 2: 75-79, 1990
- 2) Horikawa M, Ebihara S, Sakai F, et al: Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues. Med Biol Eng Comput 31: 623-627, 1993
- 3) 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 21: 25-49, 1997
- 4) Igawa K, Kashima K, Maeda S, Shiba R: Measurement of muscle hardness using a hardness meter: application to the masseter and temporal muscles and reproducibility of measurement. Cranio 21: 185-189, 2003
- 5) Morisada M, Okada K, Kawakita K: Quantitative analysis of muscle hardness in tetanic contractions induced by electrical stimulation in rats. Eur J Appl Physiol 97: 681-686, 2006
- 6) Murayama M, Yoneda T, Kawai S: Muscle tension dynamics of isolated frog muscle with application of perpendicular distortion. Eur J Appl Physiol 93: 489-495, 2005
- 7) 松居宏樹, 肥田朋子: 生体の硬さ変動を規定する因子に関する考察. 理学療法の医学的基礎 9(1): 21, 2005
- 8) 高梨晃, 鳥野大, 塩田琴美, 藤原孝之, 小沼晃, 阿部康次, 小駒善郎: 2種類の軟部組織硬度計における再現性, 信頼性の検討. 理学療法学 23(2): 297-300, 2008
- 9) 鈴木敏和: 筋硬度計による筋硬度測定の実用.

筋硬度計による生体の硬さ測定

- 理学療法学 34 : 151, 2007
- 10) 齊藤秀之 : 痛みに関連する生体情報の測定法,
理学療法 23(1) : 99-104, 2006
- 11) 小粥隆司, 松本孝朗, 小坂光男 : 日本運動生理学雑誌 16(1) : 1-7, 2009