小型デジタル筋硬度計の開発

石川 大輔¹, 内山 孝憲^{2†}
¹慶應義塾大学大学院 理工学研究科
²慶應義塾大学 理工学部

要旨 ワンチップマイコンを用いて、簡便な計測方法で筋の硬さを評価できる小型筋硬度計の開発を目的とする。本小型筋硬度計では、圧子によって筋を押し込むときの押し込み量を直線型ポテンシオメータで、反力をフォースセンサで計測し、AD変換して数学モデルによる近似を行って硬さの指標を算出する。測定者による計測値のばらつきを調べたところ、有意水準5%で有意な差は認められなかった。衣服による影響は、Tシャツの上から計測しても皮膚を直接計測する場合と比較して有意な差は認められなかった。上腕二頭筋および僧坊筋を対象として、収縮レベルと筋の硬さの指標の関係を調べたところ、収縮レベルによって筋の硬さの指標は有意に変化した。

キーワード: 筋, 筋硬度計, 弾性, 触診

1. はじめに

筋の硬さは、運動後の疲労の評価や肩こり、腰痛などの判定に重要な位置を占めている。これまでに、筋の硬さを定量的に評価する研究が数多く報告されている。その計測方法としては、例えば生体に振動を与える方法¹⁾や触診のように生体を押し込む方法²⁾などが報告されている。我々はこれまでに、生体を押し込むときの反力を計測し、押し込み中の全データを解析して硬さの評価指標を算出することを行ってきた。しかし、従来の研究では、計算機にパーソナルコンピュータを使用し、計測装置が据置き型であるために、計測条件に制約がある。そこで、本研究では計算機に組み込みシステム向けのワンチップマイコンを使用することによって、持ち運びができ、かつ簡便な計測方法で筋の硬さを評価できる小型筋硬度計の開発を目的とする。

2. 装置構成と仕様

図1に本研究で開発した小型筋硬度計を示す。計算機には16ビットワンチップマイコン(H8/3069F)を使用した。搭載した機器は、フォースセンサ(PicoForcePD3-30, ニッタ)、ポテンシオメータ(LP-20F, 緑測器)、評価結果を表示する液晶ディスプレイ、およびコンパクトフラッシュカードである。フォースセンサに先端が半球状(半径5mm)の亚克力製の圧子を取り付け、圧子を筋に押し込んで反力を計測した。また押し込み量をポテンシオメータで計測した。ポテンシオメータの先に、

圧子の部分をくり抜いた亚克力製の板を取り付けた。この板は、測定のとときに圧子による押し込みがない周辺の皮膚によって上下に移動する。この移動量、つまり押し込んでいる部分と押し込まれていない周辺の皮膚表面との差を押し込み量とした。押し込み量を測定する亚克力製の板の移動範囲は、0～16mmである。計算機(マイコン)内蔵のAD変換器(10bit)で、各センサからの出力をAD変換した。またAD変換されたデータを、コンパクトフラッシュカードに保存した。

小型筋硬度計の仕様は、以下のとおりである。電源投入後にまず、OSが起動し、つづいて計測・解析プログラムが起動されて計測開始待ちとなる。このとき、計測開始待ち状態であることが液晶ディスプレイに表示される。次に、プッシュボタンをトリガとして計測・解析が開始される。計測・解析終了後に、評価結果が液晶ディスプレイに表示されるとともに、押し込み量および反力の経時変化がコンパクトフラッシュカードに保存される。そして、再度計測開始待ち状態へと戻ることを繰り返す。

図1 小型筋硬度計

2006年2月28日受付 2006年6月15日受理
[†]〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1
 慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科
 内山 孝憲
 Tel:045-566-1595 Fax:045-566-1587
 E-mail:uchiyama@appi.keio.ac.jp

3. 方法

3.1 解析方法

反力と押し込み量との関係は、(1)式で近似できること、さらに右辺第1項の弾性による反力の係数である k が筋の硬さの評価指標として適していることが報告されている²⁾。本研究では、16ビットワンチップマイコンの整数演算の精度を考慮し、(1)式を参考にして、 k_0 を(2)式から求めて筋の硬さの指標とした。

$$F = kz^{\frac{5}{2}} + cz^{\frac{3}{2}} \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

$$F = k_0 z^{\frac{5}{2}} \quad (2)$$

ここで、 F は反力、 z は押し込み量、 k, k_0 は弾性による反力の項の係数（筋の硬さの指標）、 c は粘性による反力の項の係数である。

手動操作で押し込んでいたので、押し込み量を測定するアクリル製の板が移動できる限界に達していても、さらに小型筋硬度計を筋に押し込むことができる。この状態では、押し込み量は変化していないのに反力のみが増加する。そこで、このよう

図2 上腕二頭筋を計測したときの押し込み量と反力との関係

図3 測定者6名による同一の計測対象（スポンジ）の評価結果

な状態のデータは解析に使用しないようにした。解析に使用したデータ範囲は、押し込み量がゼロから最大値より0.4 mm 小さい範囲とした。

3.2 性能評価方法

(1) 測定者依存性の評価

開発した小型筋硬度計によって得られる弾性の指標について、測定者によるばらつきを調べた。測定者6名が同一の計測対象（1辺が50mmの立方体のスポンジ）をそれぞれ6回ずつ計測した。測定者には計測前に、見本として計測方法を見せた。また硬さの評価指標となる k_0 を有意水準5%で1元配置の分散分析を行った。

(2) Tシャツ着衣状態での評価

健常者4名（男性22～24歳）において計測を行った。被験者は椅子に座り、前腕を肘掛に置きリラックスした状態とした。計測位置は、第七頸椎と肩峰を結んだ直線の中点とした。次の2通りの条件で計測した。(i) Tシャツの上から押し込んで計測したとき、(ii) Tシャツを脱ぎ皮膚を直接押し込んで計測したときである。それぞれ6回ずつ計測した。また硬さの評価指標となる k_0 を有意水準5%でt検定を行った。

(3) 上腕二頭筋の筋収縮レベルと硬さ評価

健常者9名（男性22～24歳）において計測を行った。被験者は椅子に座り上肢を水平な台の上に置き、上肢を外転90度とした。計測位置は、上腕の中心軸上で最大周径となる位置である。腕を伸展位から肘関節を45度屈曲し、次の3通りの条件で計測した。(i) 45度に支える台に前腕をのせたとき、(ii) 45度の姿勢を維持する最小の力を発揮したとき、(iii) 1kgの重りを持ったときである。それぞれ6回ずつ計測した。

(4) 僧帽筋の筋収縮レベルと硬さ評価

健常者8名（男性22～24歳）において計測を行った。被験者は椅子に座った状態とした。計測位置は第七頸椎と肩峰を結んだ直線の中点とした。次の2通りの条件で計測した。(i) 前腕を肘掛に置きリラックスしたとき、(ii) 上肢を90度外転させたときである。それぞれ6回ずつ計測した。

4. 結果

4.1 押し込み量と反力との関係の近似

図2に上腕二頭筋を計測したときの押し込み量と反力との関係を示す。実測値と(1)、(2)式より求められた推定値を示す。図2より、(2)式により求められた推定値はヒステリシス曲線となる実測値の中間の値となった。

4.2 性能評価結果

(1) 測定者依存性の評価

図3に測定者6名による同一の計測対象（スポンジ）の評

図4 被験者4名について、Tシャツの有無による硬さの評価指標 k_0 の値

図5 被験者9名について、各計測条件での硬さの評価指標となる k_0 の値

図6 被験者8名について、各計測条件での硬さの評価指標となる k_0 の値

価結果を示す。有意水準 5% で測定者間には有意な差は認められなかった。このとき、押し込み速度は被験者によって異なり、12 ~ 42mm/s であった。

(2) Tシャツ着衣状態での評価

図4に被験者4名について、Tシャツの有無による硬さの評価指標 k_0 の値を示す。同一被験者であれば、硬さの評価指標となる k_0 の値はTシャツの上から計測したときと、直接皮膚を押し込んで計測したときとは、有意水準 5% で有意な差は認められなかった。

(3) 上腕二頭筋の筋収縮レベルと硬さ評価

図5に被験者9名について、各計測条件での硬さの評価指標となる k_0 の値を示す。計測条件 (i) は、前腕を45度に支える台の上のせてリラックスをしたとき、(ii) は、台を取り去り姿勢を維持する最小力を発揮したとき、(iii) は、1kgの重りを持ったときである。全ての被験者において、収縮レベルの増加に伴って、硬さの評価指標となる k_0 の値が増加した。これより、上腕二頭筋において筋収縮レベルの違いによる筋の硬さ変化を本装置によって得られる k_0 の値で定量的に評価できることがわかった。

(4) 僧帽筋の筋収縮レベルと硬さ評価

図6に被験者8名について、各計測条件での硬さの評価指標となる k_0 の値を示す。計測条件 (i) は、前腕を肘掛に置きリラックスしたとき、(ii) は、上肢を90度外転させたときである。全ての被験者において、上腕二頭筋の場合と同様に、収縮レベルの増加に伴って、硬さの評価指標となる k_0 の値が増加した。これより、僧帽筋においても筋収縮レベルの違いによる筋の硬さ変化を本装置によって得られる k_0 の値で定量的に評価できることがわかった。

5. まとめ

開発した小型筋硬度計について以下のことがわかった。

- * 筋の硬さの評価指標を、測定者のスキルに依らず再現性よく求めることができた
- * Tシャツのように薄くゆったりしたものであれば、衣服の上から計測しても硬さの指標 k_0 の値に影響を与えなかった
- * 筋収縮レベルの違いによる筋の硬さの変化を硬さの指標 k_0 の値で定量的に評価できた。

参考文献

- 1) 入江隆, 岡久雄: 等尺性収縮時の筋疲労と粘弾性係数, 日本機械学会論文集 A 編, 69(677), 70-76, (2003).
- 2) 内山孝憲, 大杉健司, 村山光義: 押し込み反力計測による筋の硬さの評価 - 等尺性収縮力依存性と筋疲労の影響 -, バイオメカニズム 18, 219-228, (2006).

石川 大輔 (いしかわ だいすけ)
2004 年慶應義塾大学理工学部物理情報工学科卒, 2006 年同大学大学院修士課程修了. 同年, 株式会社ルネサステクノロジ. 在学中は筋硬度計測に関する研究ならびに小型デジタル筋硬度計の開発に従事.

内山 孝憲 (うちやま たかのり)

1987 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒, 1992 年同大学大学院博士課程修了. 同年, 神戸大学工学部情報知能工学科助手, 1997 年慶應義塾大学理工学部物理情報工学科助手, 1998 年同専任講師, 2003 年同助教授, 現在に至る. 生体計測, 医用生体工学, 神経・筋系のシミュレーション, ヒトの運動制御機構に関する研究に従事. バイオメカニズム学会, 日本生体医工学会, 計測自動制御学会, IEEE などの会員.

Development of portable digital muscle hardness meter using indentation method

Daisuke ISHIKAWA¹, Takanori UCHIYAMA^{2†}

¹Graduate School of Keio University

²Faculty of Science and Technology, Keio University

Abstract The purpose of this study was to develop a portable digital muscle hardness meter using indentation method. The developed hardness meter comprised a potentiometer, a force sensor, a liquid crystal display (LCD), and a compact flash card. The index of muscle hardness was estimated from all of data during indentation by the least square method using a proposed model. In the first experiment, performance of the developed muscle hardness meter was evaluated. The six operators (5 male, 1 female) measured the same subject with the developed hardness meter. There is not a significant difference among the operators ($P>0.05$). In the second experiment, the muscle hardness of the trapezius muscle and the biceps brachii were measured. There is not a significant difference between the two conditions, with/without T-shirt ($P>0.05$). The index of the trapezius muscle and the biceps brachii increased as the contractile level increased. In conclusion, the developed muscle hardness meter had good repeatability not depending on operator's skill. And the developed hardness meter detected the muscle hardness due to the different contractile level in the biceps brachii and trapezius muscles.

Key Words: Muscle, Muscle hardness meter, Elasticity, Indentation

Received Feb 28, 2006 Accepted Jun 15, 2006

[†] Takanori Uchiyama

Faculty of Science and Technology, Keio University

Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

Tel:045-566-1595 Fax:045-566-1587

E-mail:uchiyama@appi.keio.ac.jp