3D デジタイザーによる骨模型の肩甲骨角度の 測定信頼性

Measurement Reliability of a 3D Digitizer for a Skeletal Model of Scapula Angle

乙戸 崇寛^{1,2)} 赤坂 清和^{1,2)}

TAKAHIRO OTSUDO^{1,2)}, KIYOKAZU AKASAKA^{1,2)}

¹⁾ Division of Physical Therapy, Faculty of Health and Medical Care, Saitama Medical University: 981 Kawakado, Moroyama-cho, Iruma-gun, Saitama 350-0496, Japan. TEL+81 49-295-1001 E-mail: otsudo@saitama-med.ac.jp

²⁾ Division of Physical Therapy, Graduate School of Medical Sciences, Saitama Medical University

Rigakuryoho Kagaku 29(6): 905-909, 2014. Submitted May 28, 2014. Accepted Jul. 15, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to assess the reliability of measuring angles of the scapula using a 3D digitizer. [Subjects] Sixteen healthy adult males participated in this study. [Methods] Intra-class and inter-class correlation coefficients (ICC1,2, ICC2,1), 95% confidence intervals (95%CI), and standard errors of measurement (SEM: °) were calculated for the angles of anterior-posterior tilt, upward-downward rotation and internal-external rotation. [Results] ICC (1,2) was 0.89 ~ 0.71, ICC (2,1) was 0.89 ~ 0.74, 95%CI was 0.96 ~ 0.51, and SEM was 0.47 ~ 0.13. [Conclusion] Strict definition of bone landmarks is required to further improve the values of ICC. However, SEM was small when measuring scapula angles with the 3D digitizer.

Key words: 3D digitizer, scapula angle, reliability

要旨:〔目的〕本研究の目的は3D デジタイザーによる骨模型の肩甲骨角度の測定信頼性を評価することである。〔対象〕健康成人男性16名。〔方法〕肩甲骨の前傾-後傾角度, 上方回旋-下方回旋角度, 内旋-外旋角度のICC(1,2), ICC(2,1), 95% CI, SEM [°] を各々求めた。〔結果〕ICC(1,2)は0.89~0.71, ICC(2,1)は0.89~0.74, 95% CIは0.96~0.51, SEMは0.47~0.13であった。〔結語〕3D デジタイザーによる肩甲骨角度の測定ではSEMが小さかったものの, 骨指標の規定をさらに厳密化してICCを改善する必要性が示された。

キーワード: 3D digitizer, 肩甲骨角度, 信頼性

¹⁾ 埼玉医科大学 保健医療学部 理学療法学科: 埼玉県入間郡毛呂山町川角981 (〒350-0496) TEL 049-295-1001

²⁾ 埼玉医科大学大学院 医学研究科 医科学専攻 理学療法学分野

I. はじめに

これまでに行われている三次元肩甲骨角度の測定方法には、オイラー角による電磁トラッキング法¹⁻³⁾、電気傾斜計による測定法⁴⁾、ハイスピードカメラと赤外線マーカーによるDLT法⁵⁾、モアレ画像法⁶⁾がある。しかし、肩甲骨は肩関節運動において皮下を移動するため、あらかじめ皮膚上にマーカーを貼付してから肩甲骨角度の測定を行うこれらの方法では、実際の肩甲骨の位置とマーカーの位置との間にズレが生じる。このズレについて中村ら⁷⁾は、肩甲骨三角で37.7 mm、肩甲骨の下角で66.4 mm、肩峰角で20.7 mm、烏口突起で20.4 mm程度生じると報告しており無視できない誤差である。実際の肩甲骨の位置とマーカーの位置との間の誤差をできるだけ小さくする方法として、局所麻酔下でモーションセンサーを肩甲骨へ直接挿入し、電磁トラッキング法にて肩甲骨角度を測定する方法⁸⁾があるものの、このような侵襲性の高い方法を臨床で利用することは困難である。また、パルペーションメーター法⁹⁾や写真画像解析法¹⁰⁾は二次元解析となり、肩甲骨の三次元解析には対応できない方法である。

我々は、主にこれまで設計、製図で用いられている三次元座標測定装置、3D digitizerが肩甲骨角度の測定に利用できると考えた。この3D digitizerは、すでに医学研究でも用いられており、例えば解剖学分野では薄筋、顎関節、あるいは手根関節の形状解析¹¹⁻¹³⁾を、口腔外科分野では口腔キャストモデルの作成^{14,15)}を目的として三次元座標の測定に使用されている。いずれの分野でも、3D digitizerは非侵襲的な方法であり、かつ測定精度が高いことから有用であると報告されている^{14,16)}。

本研究の目的は、この3D digitizerの生体の肩甲骨角度の測定における信頼性を検証するための基礎的研究として、骨模型の肩甲骨の前傾-後傾角度、上方回旋-下方回旋角度、および内旋-外旋角度の検者内および検者間の測定信頼性を検討することである。

図1 3D Microscribe® (左) と付属するプローブで骨模型の肩甲骨内側端の位置を測定している場面 (右)

II. 対象と方法

1. 対象

埼玉医科大学保健医療学部理学療法学科に所属する健康成人男性16名 (平均年齢 ± 標準偏差: 22.9 ± 4.9 (歳)) を対象とした。

2. 方法

本研究は埼玉医科大学保健医療学部倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号 101)。まず、全身骨模型をベルトでフレーム (Tactix™ Steel shelving Unit) に固定して骨模型全体が動かないようにした (図1)。測定課題は、肩甲骨位置の骨指標を①左側肩峰の前外側端、②左側肩甲骨の内側端、③左側肩甲骨の下角、の3点、骨模型内矢状面の骨指標を④第1胸椎棘突起、⑤第3胸椎棘突起、⑥胸骨柄の頸切痕、の3点とする計6点の三次元座標 (x, y, z) を3D digitizer (Microscribe® G2X, Revware Inc, USA) を用いて測定した (図2)。全対象者16名は、あらかじめ①から⑥までを順に指し示す練習を1回行った後、測定課題を2回連続して実施した。実施順序は骨指標①から骨指標⑥への番号順に統一した。

測定課題後、3D モデリングソフトウェア Rhinoceros Ver.5.0 (Robert McNeel & Associates, USA) を用いて骨模型内の矢状面 (④, ⑤, ⑥) と肩甲骨面 (①, ②, ③) をそれぞれ画像化した後、肩甲骨の前傾-後傾角度 (°)、上方回旋-下方回旋角度 (°)、内旋-外旋角度 (°) を算出した。Kebaetse らの方法¹⁷⁾を参考とし、前傾-後傾角度は④と⑤をむすぶ線と肩甲骨面 (①, ②, ③) のなす角度、上方回旋-下方回旋角度は、④と⑤をむすぶ線と②と③をむすぶ線のなす角度、内旋-外旋角度は骨模型内矢状面 (④, ⑤, ⑥) と肩甲骨面 (①, ②, ③) のなす角度として算出した。

上記3方向の肩甲骨角度について、各対象者の1回目と2回目の測定値より検者内級内相関係数 ICC (1,2) を、各対象者の1回目の測定値より検者間級内相関係数 ICC (2,1) を算出した。また、95%信頼区間 (95% CI) と測定の標準誤差 (SEM: °) についても各々算出した。

III. 結果

肩甲骨の前傾-後傾角度、上方回旋-下方回旋角度、内旋-外旋角度の ICC (1,2), ICC (2,1), 95% CI, SEM の各結果を表1に示す。ICC (1,2) は 0.89~0.71, ICC (2,1) は 0.89~0.74, 95% CI は 0.96~0.51, SEM は 0.47°~0.13° の範囲であった。

図2 肩甲骨位置の骨指標

表1 3D デジタイザー (Microscribe®) による肩甲骨角度の測定信頼性

n=16

肩甲骨角度の測定方向		ICC	SD (d) (°)	95% CI		SEM (°)
				High	Low	
前傾-後傾	検者内 (1,2)	0.83	0.64°	0.94	0.53	0.26°
	検者間 (2,1)	0.83	0.70°	0.94	0.51	0.29°
上方回旋-下方回旋	検者内 (1,2)	0.71	0.87°	0.90	0.59	0.47°
	検者間 (2,1)	0.74	0.86°	0.91	0.56	0.44°
内旋-外旋	検者内 (1,2)	0.89	0.39°	0.96	0.70	0.13°
	検者間 (2,1)	0.89	0.58°	0.96	0.68	0.19°

・ SD (d) : 1 回目と 2 回目の測定値の差の絶対値の標準偏差。

・ SEM : 測定の標準誤差 $SD(d) \times (1 - ICC)^{1/2}$ 。

IV. 考察

生体における肩甲骨角度の三次元動作解析法の ICC は高いことがこれまでに報告されている。例えば、電気傾斜計による測定法の ICC(1,1) は 0.975~0.892 であり⁴⁾、電磁トラッキング法では 0.99~0.97 であった¹⁾との報告がある。しかし、本研究で最も低値であった肩甲骨角度の ICC は肩甲骨の上方回旋-下方回旋角度の 0.74~0.71 であり、この結果を先行研究と比較すると、ICC として示される相対信頼性については高くはないといえる。一方、本研究の SEM をみると 0.47°~0.13° と 0.5° 未満の範囲であり、電気傾斜計による測定法⁴⁾の 1.8~1.1°、電磁トラッキング法³⁾の 4.0~0.3° といずれも 1.0° 以上の誤差が報告されていることから、SEM として示される絶対信頼性は高いといえる。本研究で ICC が低値、かつ SEM が低値であった理由については以下の 3 点が考えられる。

まず第一点として、3D Microscribe® は半径 1.27 m

の空間において点精度が 0.23 mm である¹²⁾という測定精度の高さ故に、今回の測定課題である各骨指標を正確に 2 回指し示すという手技の難易度を高めてしまったのではないかと考えられる。特に、ICC が低値であった上方回旋-下方回旋角度では線と線の指標を用いることから、面と面の指標を用いる内旋-外旋角度や、面と線の指標を用いる前傾-後傾角度よりも、1 回目と 2 回目の測定値差の影響を受けやすい。一方、本研究の SEM の大きさは、これまでに報告されている 3D Microscribe® の測定精度結果と同程度であった。例えば、立方体モデルを対象とした平面箇所における面積測定での SEM は 0.19 mm² であり¹³⁾、口腔モデルを対象とした歯間距離測定での SEM は 0.07 mm 未満¹⁵⁾とされている。さらに、3D Microscribe®, Laser-optical 法, Photo-optical 法, CT 法による測定値の標準偏差はすべて 2.60 mm~0.12 mm の範囲内にあって、これらの測定精度に差がない¹⁶⁾との報告もあり、3D Microscribe® の絶対測定信頼性はこれまでも大変高く評価されている。

第二点として、検者内および検者間の測定値差のばらつきが小さかったためと考えられる。これは、統計学的特性上、この場合は相対信頼性指標である ICC、絶対信頼性である SEM はともに低値となる傾向がある¹⁸⁾ことによる。

第三点として、今回規定した各骨指標の定義では、指し示す位置（点）に対する対象者（測定者）の認識が曖昧であったことである。例えば、肩甲骨の下角は、実際は鋭利な角状ではなく丸みのある結節であるため、対象者によって認識される下角の位置がわずかに異なっていた可能性がある。

以上より、3D Microscribe® による肩甲骨の角度測定を正確に実施する場合は、測定機器自体の誤差よりも、骨指標を指し示す測定者の正確な機器操作の方が重要な要素であるといえる。今後は、骨指標の規定をさらに厳密化することにより、相対信頼性（ICC）、絶対信頼性（SEM）ともに改善されることが期待できる。本研究の結果を生体の肩甲骨の角度測定に応用する場合は、超音波画像で骨指標の同定を正確に行う手順を追加すること¹⁹⁾で、より精度の高い、かつ真の肩甲骨角度の測定が可能となると考えた。

また、これまでに報告されている 3D デジタイザーを用いて肩甲骨角度を算出した研究¹⁷⁾では、今回我々が用いた測定対象内の矢状面を基準とする方法ではなく、固定された器具から算出した前額面を基準面としている。しかし、このように測定対象外に基準面を設けた場合、測定対象のわずかな動きも肩甲骨の角度変化に含まれてしまうことが危惧される。本研究で考案した、第1胸椎棘突起、第3胸椎棘突起、胸骨柄の頸切痕の3点を指標として測定対象内に基準となる矢状面を設定する方法は、測定対象の位置変化による誤差を排除できるという利点があり、今後生体における上肢動作にともなう肩甲骨の角度変化を測定する場合にも対応できると考える。

3D Microscribe® は、重量が 3.6 kg と軽量であり持ち運びが容易であること、また操作が簡単であることから、理学療法介入前後の肩甲骨位置を比較する場合に有用な方法になり得る。例えば投手の反復投球後の回復過程における肩甲骨角度の変化を測定し、青年期における適切な投球日数間隔を規定するための指標への利用など、この 3D Microscribe® を用いた正確な肩甲骨角度の測定方法は、スポーツ現場における理学療法評価法の発展に貢献できると考える。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究 C (No.25350775) の助成を受けたものです。

引用文献

- 1) Nagai K, Tateuchi H, Ichihashi N, et al.: Effects of trunk rotation on scapular kinematics and muscle activity during humeral elevation. *J Electromyography Kinesiology*, 2013, 23(3): 679-687.
- 2) Posa DP, Albuquerque-Sendin F, Camargo PR, et al.: Effect of seated thoracic manipulation on changes in scapular kinematics and scapulohumeral rhythm in young asymptomatic participants: a randomized study. *J Manual Physiol Ther*, 2013, 36(8): 546-554.
- 3) Braman JP, Engel SC, Ludewig PM, et al.: *In vivo* assessment of scapulohumeral rhythm during unconstrained overhead reaching in asymptomatic subjects. *J Shoulder Elbow Surg*, 2009, 18(6): 960-967.
- 4) Tucker WS, Lyndsey IR: Reliability and validity of measuring scapular upward rotation using an electrical inclinometer. *J Electromyography Kinesiology*, 2012, 22(3): 419-423.
- 5) 宮下浩二, 小林寛和, 越田専太郎: 成長期野球選手の投球動作における肩複合体の運動の特徴. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 2010, 18(3): 511-517.
- 6) Gomes PF, Sesselmann M, Teixeira-Salmela LF, et al.: Measurement of scapular kinematics with the moiré fringe projection technique. *J Biomech*, 2010, 43(6): 1215-1219.
- 7) 中村康雄, 林 豊彦, 桐生慎哉・他: 体表マーカーの偏位と肩甲骨運動の *in-vivo* 計測. *バイオメカニズム*, 2004, 17: 111-121.
- 8) McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, et al.: Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg*, 2001, 10(3): 269-277.
- 9) Costa BRD, Armijo-Olivo S, Magee DJ, et al.: Reliability of scapular positioning measurement procedure using the Palpation Meter (PALM). *Physiother*, 2010, 96(1): 59-67.
- 10) Ferreira EA, Duarte M, Marques AP, et al.: Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs of anterior, posterior, and lateral views. *J Manual Physiol Ther*, 2011, 34(6): 371-380.
- 11) Fattah AY, Ravichandiran K, Agur A, et al.: A three-dimensional study of the musculotendinous and neurovascular architecture of the gracilis muscle: application to functional muscle transfer. *J plastic Reconstructive Aesthetic Surg*, 2013, 66(9): 1230-1237.
- 12) Terhune CE: How effective are geometric morphometric techniques for assessing functional shape variation? An example from the great ape temporomandibular joint. *Anat Rec*, 2013, 296(8): 1264-1282.
- 13) Kovler M, Lundon K, Agur A, et al.: The human first carpometacarpal joint: osteoarthritic degeneration and 3-Dimensional modeling. *J Hand Ther*, 2004, 17(4): 393-400.
- 14) Hayasaki H, Martins RP, Nonaka K, et al.: A new way of analyzing occlusion 3 dimensionally. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2005, 128(1): 128-132.
- 15) Chen H, Lowe AA, Wang B, et al.: Three-dimensional computer-assisted study model analysis of long-term oral-appliance wear. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008, 134(3): 393-407.

-
- 16) Boldt F, Weinzierl C, Hirschfelder U, et al.: Comparison of the spatial landmark scatter of various 3D digitalization methods. *J Orofac orthop*, 2009, 70(3): 247-263.
 - 17) Kebaetse M, McClure P, Pratt N: Thoracic position effect on shoulder range of motion, strength, and three-dimensional scapular kinematics. *Arc Phys Med Rehabil*, 1999, 80(8): 945-950.
 - 18) 対馬栄輝：理学療法の研究における信頼性係数の適用について. *理学療法科学*, 2002, 17(3): 181-187.
 - 19) Lee SK, Yang DS, Choy WS, et al.: Comparison of 3D scapular kinematics between dominant and nondominant shoulders during multiplanar arm motion. *Indian J Orthop*, 2013, 47(2): 135-142.