原著論文

形状スキャナによる人体寸法計測の誤差要因の検討 ——計測時の姿勢による寸法の違い——

河内まき子*, 持丸 正明

産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター

(平成 17 年 2 月 1 日受付, 平成 17 年 5 月 10 日受理)

要 約

近年, 人体寸法計測を形状スキャナで行なうことが増えたが, その計測誤差について体系だった検討は行われていない。形状スキャナにより得られた人体寸法計測値の誤差は, 計測機によるものと計測法によるものとに分けられる。このうち計測法による誤差をもたらす要因には, (1) 計測点の決定, (2) 被験者の姿勢, (3) 接触式と非接触式による体表面形状の差, (5) 形状スキャン時の人体の動揺, (6) 正立位とは異なる姿勢での計測, が考えられる。本研究ではこのうち最後の要因の影響を明らかにするため, 1 名の計測者が 40 名の被験者を, 正立位および上下肢の外転角度を変えた 6 条件下で計測し, 得られた寸法値を比較した。この結果, 以下のことが明らかになった: 1) 下肢の外転はわずかでも腸骨稜より下方の腰と大腿の寸法に影響を与えるが, 左右の足軸間距離が 25 cm 以下ならば, 骨盤より上方の高さ項目への影響は計測者間誤差の範囲内である, 2) 上肢が外転すると肩峰が上内側に移動し, 肩峰点を定義にふくむすべての寸法が, 大きな影響を受ける, 3) 項目によっては, 適切な計測姿勢を採用することによって, 伝統的な方法と同等な値を得ることができるが, 別物として扱うか, 正立位での寸法に換算するしか方法がない項目もある。

キーワード: 非接触式 3 次元形状計測装置, 人体寸法計測, 精度検証

Causes of the Measurement Errors in Body Dimensions Derived from 3D Body Scanners:

Differences in Measurement Posture

Makiko Kouchi* and Masaaki Mochimaru

Digital Human Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

(Received 1 February 2005; accepted 10 May 2005)

Abstract

3D body scanners are becoming increasingly more common in anthropometry. However, errors in body measurements derived from 3D body scanners have not been seriously discussed. When discussing causative fac-

遠藤萬里先生古稀記念論文

*産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター

〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6

E-mail: m-kouchi@aist.go.jp

©2005 The Anthropological Society of Nippon

tors, validation of 3D scanners and validation of measurement protocol should be treated separately. The latter factors affecting the accuracy and precision of measurements include: (1) repeatability of determining landmarks; (2) repeatability of subject posture; (3) body sway during the scan; (4) systematic differences between touching and non-touching measurements; and (5) systematic differences due to the difference between postures for scanning and traditional anthropometry. In this paper, the effects of systematic differences in measurement posture were examined. One expert anthropometrist measured 40 male and female subjects in 7 different postures with different degrees of abduction of the upper or lower limbs. Abduction of the legs significantly affected measurements of the trunk below the level of the iliac crest and thighs. When the distance between the right and left foot axes was smaller than 25 cm, the effects on height measurement at levels higher than the crotch were negligible. Abduction of the arms most seriously affected measurements related to acromion, even when the degree of abduction was small. However, because the correlation coefficients between measurements taken at different postures are very high, measurements in the basic posture for anthropometry can be estimated from measurements taken in different postures.

Key words: 3D body scanner, measurement error, validation, anthropometry

緒 言

全身あるいは身体の部分の寸法は、人間が操作する工業製品や、人間がその中で作業をする環境の設計に利用されてきた。人体寸法計測の専門家ではない設計者の便宜を測るため、主要な人体寸法の測定部位と測定方法を記載した国際規格 (ISO 7250) や国内の工業標準 (JIS Z 8500) が定められている。これらの標準においては人体寸法をアントロポメータ等伝統的な計測用具で測るよう定めているが、多数の人体寸法を人力で測ると被験者の拘束時間が長くなり、計測者の負担も大きく、計測のコストも高くなる。そこで、近年3次元形状計測装置 (形状スキャナ) が人体寸法計測のために利用されるようになった。これに伴い、形状スキャナにより得られる人体寸法測定データの精度について議論されるようになってきた。しかしながら、その多くは、伝統的な人体寸法計測法で得られたデータとの差について議論したものであり、計測機と計測法、正確さ (真値との近さ, accuracy) と精密さ (ばらつきが小さい程度, precision) について体系的に議論したものはほとんど見あたらない。本研究では、人体寸法測定データの誤差要因を体系的に分類した上で、形状スキャナを用いた人体寸法計測における主要な誤差要因と考えられる計測姿勢について、伝統的な人体寸法計測法で規定されている姿勢と、形状スキャナによる計測で利用される姿勢との違いによって生じる系統的な誤差を検討する。

一般に測定値の誤差は、計測機に起因するものと、それを用いる方法に起因するものが混在している。伝統的な人体寸法計測法であれば、アントロポメータの目盛の

狂いによる測定誤差は前者であり、計測時の室温その他の環境、計測点の決定、被験者の姿勢、アントロポメータのあて方などに起因する誤差が後者である。さらに、この誤差の小ささ、すなわち測定精度には、正確さと精密さの2つの尺度がある。対象物を繰返し測定した場合、測定値の平均値が対象物の真の値にどれだけ近いかを表すものが正確さで、測定値のばらつきの小ささを表すものが精密さである。すなわち、正確さは系統的な誤差の小ささ、精密さは再現性の良さをいう。一般に対象物の真の値は知ることができないので、より高い精度が保証された計測機および計測法によって得られた測定値 (の平均値) で代用する。

形状スキャナを用いた人体寸法計測法の精度、あるいは寸法データの測定誤差を体系的に検討するには、計測機に起因する誤差と計測法に起因する誤差を分けて議論すべきである。計測機の精度は、より高精度の計測装置で値付けされた基準物体を、良く制御された計測環境下で複数回測定し、正確さと精密さの2つの尺度で評価する。形状スキャナの精度評価プロトコルについては、現在、工業標準が準備されつつある (産業技術総合研究所, 2004; 高辻, 2004; VDI/VDE 2634, 2002)。国際規格 (ISO 10360-2: 2001) にしたがって精度が検証された接触型の三次元座標計測装置で基準物体に値付けをし、この基準物体を形状スキャナ内のどの位置で測定するかが定められている。計測機の精度検証は精密測量学分野の問題なので、本稿ではこれ以上議論しない。

一方、計測法に起因する誤差については、計測対象が人間であることからさまざまな要因が考えられる。伝統的なマルチン式の計測であれ、形状スキャナを用いる計

測であれ、人体寸法計測法に共通する誤差要因としては、(1)計測点決定の不確かさと(2)被験者の計測姿勢のばらつきがある。計測機に起因する誤差の検証と違って、より高精度が保証されたもので真値を代用するということができないため、これらの精度については精密さ(再現性)を尺度として評価するしかない。伝統的な人体寸法計測法については、上記(1)、(2)に起因する誤差を評価した研究(Kouchi et al., 1996, 1999 など)があり、主として計測者内計測誤差に関する知見が蓄積されている。一方で、形状スキャナを用いた計測法に起因する誤差要因としては、上記2点に加え、(3)形状スキャン中の重心動揺に起因する非系統的な誤差、(4)伝統的な接触計測と非接触形状計測との人体表面形状変形の有無にかかわる系統的な誤差、(5)形状スキャナの技術的境界から伝統的な人体寸法計測法とは異なる姿勢で計測することに起因する系統的な誤差について議論する必要がある。一般論として、(4)接触・非接触の差よりも、(3)重心動揺や(5)計測姿勢に起因する誤差の方が大きい。このうち(3)については近年の計測機の高度化により計測時間が短縮され影響が小さくなっている。これに対して(5)は、隠れ部位の発生という形状スキャナによる人体計測に内在する技術的制約に起因している。伝統的な人体寸法計測法では、正立位での寸法計測を基本としているが、形状スキャナでは正立位での腋の下や股の間の形状を測ることができず、体幹部と上肢とを計算機上で区別することも難しいため、便宜的に上下肢を外転した姿勢で計測しているのである。隠れ部位の低減については計測技術の改善が進んでいない。そもそも、光学式の計測原理を用いる限り、影になって隠れる部分の低減には限界があり、正立位での腋の下や股の間を精度良く計測することは、将来においても困難と考えられる。そこで、本研究では、伝統的な人体寸法計測姿勢である正立位と、形状スキャナを用いた計測時に隠れ部位を低減するためにとる姿勢との間で、皮膚につけた計測点の位置に生じる差異を、すでに計測精度が明らかである伝統的な人体寸法計測法を用いて比較した。すなわち、1名の熟練計測者が40名の被験者について、正立位と形状計測のために推奨されている複数の姿勢(上下肢の外転角度を変えたもの)における人体寸法を計測し、得られた寸法値を比較した。このようなデータは、形状スキャナによる人体寸法値を、従来の伝統的な方法で計測された寸法値と同等と見なすことができるか否かを評価するために不可欠な情報である。

1. 被験者

被験者は18-48歳の男性20名、女性20名である。表1に被験者の年齢、身長、体重の平均値を示す。

2. 計測条件

形状計測の姿勢は、腕や下肢による隠れ部位を低減するために上肢、下肢を外転する。そこで、下肢の外転および上肢の外転が人体寸法に与える影響を明らかにすることを目的として、同じ被験者につき、正立位、下肢の外転の程度を変えた3姿勢、上肢の外転の程度を変えた3姿勢の合計7とおりの姿勢で、同じ寸法を同じ計測者が計測した。なお、人体寸法計測における基本姿勢である正立位とは、両足のかかとをつけ、背すじを自然にのばし、頭部は耳眼面を水平に保持し、肩の力をぬき、上肢を自然に下垂した姿勢である。

下肢の外転の効果を調べるため、以下の4姿勢条件下での測定値を比較した(図1A)。どの姿勢条件も、下肢の外転の程度以外は正立位と同じとした。下肢の外転の程度は条件1~3の順に大きくなる。ただし、外転の程度を左右の足軸間の距離で決定したため、下肢の外転角度は被験者により異なる。

下肢位0(正立位): 左右の足をそろえる。

下肢位1: 左右の足軸を平行にし、足軸間の距離を15 cmとする。足軸は、踵点と第二指先端を結ぶ線とする。

下肢位2: 左右の足軸を平行にし、足軸間の距離を25 cmとする。

下肢位3: 左右の足軸を平行にし、足軸間の距離を35 cmとする。

上肢の外転の効果を調べるため、以下の4姿勢条件下での測定値を比較した(図1B)。どの姿勢条件も、上肢の外転の程度以外は正立位と同じとした。上肢の外転の程度は、条件1~3の順で大きくなる。ただし、上肢位2, 3は上肢の外転程度を腸骨稜と腕の間の距離で決定したため、上肢の外転角度は被験者により異なる。

上肢位0(正立位): 肩の力をぬき上肢を自然に下垂する。

上肢位1: 上肢を20度外転させる。これはISO/FDIS 20685(2004)における推奨姿勢の1つである。

表1 被験者

	N	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)
男性	20	24.2 (21-32)	169.4 (156.9-178.5)	61.4 (52.8-85.6)
女性	20	25.3 (18-48)	157.4 (150.2-165.5)	51.4 (41.2-61.6)
合計	40	24.8 (18-48)	163.4 (150.2-178.5)	56.4 (41.2-85.6)

図1 計測時の姿勢条件. A: 下肢の条件, B: 上肢の条件.

Fig. 1 Measurement postures. A: conditions for legs, B: conditions for arms.

上肢位2: 腸骨稜のレベルでの腕と腰の距離が 20 cm となるよう, 上肢を外転する。

上肢位3: 腸骨稜のレベルでの腕と腰の距離が 25 cm となるよう, 上肢を外転する。

計測時の着衣は, 男性は後ろ中央に縫い目のある, 身体にフィットしたボクサー型ショーツとした。女性の着衣は本人のブラジャー, および本人のショーツの上から, 身体にフィットした一部丈のショーツを着用させた。

3. 計測点

すべての計測に先立ち, 正立位において計測点位置に鉛筆状アイライナーでマークをつけ, どの姿勢においてもこのマーク位置を計測した。表2に計測点を, 図2にマークをつけた位置を示す。正立位でつけたマーク位置をすべての計測姿勢で使用したのは, 通常の形状計測においては正立位で計測点にマークをつけ, 正立位での寸法計測においても形状計測においても同じマーク位置を使用するためである。このため, 正立位以外の姿勢における人体寸法は, 計測点決定の誤差の影響は無視できるが, 姿勢変化にともなう皮膚とその下にある骨格との相対的なずれの効果をふくむことになる。

計測点の定義は Martin and Knussmann (1988) にした

表2 計測点

計測点 / レベル	マーカ
1 頸椎点 cervicale	アイライナー
2 肩峰点 acromion	アイライナー
3 乳頭点 thelion (男性)	—
4 バストポイント (女性)	アイライナー
5 腸骨稜点 iliacristale	アイライナー
6 転子点 trochanterion	アイライナー
7 転子外突点	アイライナー
8 頸側点	アイライナー
9 前腕付根点	アイライナー
10 後腕付根点	アイライナー
11 脛骨点 tibiale	アイライナー
12 橈骨点 radiale	アイライナー
13 橈骨茎突点 stylium	アイライナー
14 アンダーバストレベル (女性)	円形シール
15 胴囲レベル	アイライナー
16 股下レベル	アイライナー
17 大腿最大囲レベル	アイライナー
18 下腿最大囲レベル	アイライナー
19 殿溝のレベル	アイライナー
20 殿突点	円形シール

がった。ただし, 男性では乳頭点 (Thelion) を用いたが, 女性ではバストポイント (BP: Bust point) を用いた。BP は, ブラジャーの上で決めた胸部の最突出点である。バ

図2 マークをつけた計測点。番号は表2と同じ。

Fig. 2 Location of marks. Numbers are the same as those in Table 2.

ストポイント、転子外突点、頸側点、前腕付根点、後腕付根点、アンダーバスト (UB) のレベルは生命工学工業技術研究所 (1994) にしたがった。胴囲のレベルは第10肋骨の下縁と腸骨稜上縁の中間のレベルとし、正立位で水平に巻尺を当てた状態で前後左右にマークをつけた。股下レベルは、正立位における股下高を計測し、左大腿前面のその高さにマークをつけた。大腿最大囲レベル、下腿最大囲レベルは、正立位における最大水平囲を測り、巻尺を当てた状態で前後左右にマークをつけた。殿突点は、殿部の最後方突出点である。

殿溝レベル、殿突点には正立位でマークをつけたが、下肢位1~3での寸法計測時には、正立位でつけたマークとは別に各肢位で殿溝の最下縁、殿突点をみつけ、これらを使って計測した。下肢位1~3での下肢の周長、幅径、厚径の計測は、正立位でつけたマーク位置を用いて行なったので、下肢の長軸に対して直交するように測ったことになる。

4. 計測項目

下肢の外転により影響を受ける可能性がある項目は、すべての高さ項目と下半身の幅径、厚径、周長である。そこで、正立位をふくむ各下肢位で、表3Aに示す26項目を計測した。

上肢の外転により影響を受ける可能性がある項目は、肩峰点が関係するすべての項目と、上半身の幅径、厚径、周長、体表長である。そこで、正立位をふくむ各上肢位で、表3Bに示す19項目を計測した。

表3にはマルチンの教科書の番号も付した (保志, 1989)。マルチンの教科書に記載がない項目の計測法は以下のとおりである。股下高 (直接) はISO 7250にしたがった。すなわち、アントロポメータの可動尺を、両脚を少し開いて立った被験者の左右の下肢の間にさしこみ、止まるまで上に持ち上げる。正立位の場合は両脚をとじさせ、それ以外の条件下ではそのまま、可動尺が人体に当たっていることを確認したうえで目盛を読む。読み取った値に可動尺の幅を足す。上部胸囲は前後左右の腋窩点のうち最も低い点を通る水平周長、大腿囲は殿溝より下方の水平最大周長である。胸幅は左右の前腋窩点間の体表長、肩幅は頸側点と肩峰点間の体表長、背肩幅は左右の肩峰点間の体表長、背幅は左右の後腋窩点間の体表長である。肩傾斜角度は肩傾斜角度計の一端を頸側点に当て、角度計の底面を肩の稜線にのせて測る。左右の肩傾斜角度を2つの計測器で同時に計測した。高径はアントロポメータで、幅径と厚径は桿状計で、周長と体表長は巻尺で計測した。

股下高 (マーク)、胴囲高、胴部幅径、胴部厚径、胴囲、大腿厚径、大腿横径、大腿最大囲、下腿最大囲高、下腿厚径、下腿横径、下腿最大囲は、どの下肢位でも正立位でつけたマークを用いて計測した。

5. 計測手順

計測は2004年5月から6月に行った。実験計画は、実施前に産業技術総合研究所第六事業所人間工学実験倫理委員会の審査を受けた。

計測は、以下の手順で行った。マークつけと計測は、すべて同一の熟練計測者が行った。

- 1) 被験者に実験の目的、内容、プライバシー保護に関する事柄などを説明し、同意書に署名をもらう。
- 2) 計測着に着替える。
- 3) マークつけ
- 4) 正立位 (下肢位0, 上肢位0) での寸法計測
- 5) 下肢の外転の程度を変えた寸法計測: 下肢位1, 下肢位2, 下肢位3の順
- 6) 上肢の外転の程度を変えた寸法計測: 上肢位3, 上肢位2, 上肢位1の順

6. 系統的な差の評価

偶然誤差が平均値へ及ぼす影響は、理論的には測定回数を増やすことによりとり除くことができる。これに対して、系統的な誤差の平均値への影響は取り除くことができないため、本来許容することはできない。しかし、現実的にはある程度の系統的誤差を許容している。許容範囲を決める基準として、以下の4つの要因が考えられる。

表3 各姿勢条件下での計測項目

A. 下肢条件下での計測項目			B. 上肢条件下での計測項目		
	Martin 番号	計測項目		Martin 番号	計測項目
L1	S1	身長	U1	S35	肩峰幅
L2	S19	頸椎高	U2	S36b	乳頭位胸部横径 ¹⁾
L3	S8	肩峰高	U3		UB 位横径 (女性)
L4	S7	乳頭高 ¹⁾	U4		胸部横径 ²⁾
L5		胴囲高 ²⁾	U5		乳頭位胸部厚径 ¹⁾
L6		腸骨稜点高	U6		UB 位厚径 (女性)
L7	S14	転子高	U7		胴部厚径 ²⁾
L8	S22b	殿溝高	U8		上部胸囲
L9		股下高 (直接)	U9	S61-01	乳頭位胸囲 ¹⁾
L10		股下高 (マーク)	U10		胴囲 ²⁾
L11	S15	脛骨上縁高	U11		胸幅
L12	S15-01	下腿最大囲高 ⁴⁾	U12		肩幅 (頸側点—肩峰点)
L13		胸部横径 ²⁾	U13		背肩幅
L14	S40	腸骨稜幅	U14		背幅
L15	S42a	最大腰幅	U15		肩傾斜角度: 右
L16	S42	転子間幅	U16		肩傾斜角度: 左
L17		胴部厚径 ²⁾	U17	S47	上腕長
L18	S37(3)-06	殿部厚径 (殿突)	U18	S48	前腕長
L19		大腿厚径 ³⁾	U19	S8	肩峰高
L20		下腿厚径 ⁴⁾			
L21		胴囲 ²⁾			
L22	S64(1)-01	殿囲 (殿突)			
L23		大腿囲 ³⁾			
L24	S69	下腿最大囲 ⁴⁾			
L25		大腿横径 ³⁾			
L26	S57-03	下腿横径 ⁴⁾			

¹⁾ 女性では thelion ではなくバストポイントを使用

²⁾ 第10肋骨下縁と腸骨稜上縁の中間の高さで計測

³⁾ 大腿囲 (殿溝より下方での水平最大囲) のレベルで計測

⁴⁾ 下腿最大囲のレベルで計測

- 1) 計測対象の真値の不確かさ: 計測対象の真値が不確かであれば、それに応じた系統的誤差が許容される。たとえば金属製の立方体を測る場合、金属表面の電子の挙動に不確定性があるため、ナノメートルのオーダーでその寸法を測ると、真値が変動することにより測定値が変動する。系統的誤差がこのような真値の変動よりも小さければ、無視することができる。
- 2) 測定器の不確かさ: 複数のアントロポメータがあれば、アントロポメータによって目盛が多少違うであろう。同じアントロポメータであっても、外気温のような環境によって、目盛が変化するかもしれない。系統的誤差がこのような測定器の目盛の変動よりも小さければ、そもそも検出することができず、無視される。
- 3) 計測者間の系統的誤差: 計測者が異なれば、同じ集団を計測しても平均値は異なるであろう。したがって、姿勢の違いによる系統的な差が、異なる計

測者間の平均的な系統的誤差程度よりも小さいならば、計測者間誤差の範囲で同等とみなすことができる。

- 4) 人体寸法データの利用目的: 人体寸法を工業製品の設計に利用する場合、設計する製品のゆとり量でカバーできる寸法許容範囲に対して系統的誤差が十分に小さければ、その系統的誤差は無視できる。また、工業製品の寸法の製造上のばらつき幅に対して対応する人体寸法値の系統的誤差が十分に小さければ、その系統的誤差も無視可能である。利用目的が集団間の比較や同じ集団の経時変化の検討のような目的の場合は、検出しようとする差の大きさに比べて系統的誤差が十分に小さければ無視可能である。しかし、系統的誤差がどの程度であれば十分に小さいかを理論的に決めることはできない。

1) について人体寸法の真値の変動量を測定した報告はない。2) について、人体寸法測定器具の目盛の変動を調べた報告もない。しかし、どちらもランダムな計測者内

計測誤差に比べると、非常に小さいと推測される。3) については Kouchi et al. (1999) による平均絶対偏差 (MAB) が参照データとなる。また、ISO/DIS 20685 でも限界値が示されている。4) については利用目的に強く依存するため、一般的な基準となりにくい。そこで、本研究では人体以外のものに依存せず、参照データがあり、比較的大きなばらつきを持つ 3) を評価基準として用いることにした。

2つの項目の計測値間の系統的な差が許容範囲内にあるかどうかを、以下の手順で評価した。すなわち、ある下肢位あるいは上肢位での計測値から基準姿勢での計測値を引いた値を誤差と定義し、その平均値の 95%信頼区間の上・下限値が別途定めた基準値の範囲内にあるとき、両者に差がないと判断した。基準値としては、Kouchi et al. (1999) による平均絶対偏差と、ISO/FDIS 20685 に示された値を用いた。

Kouchi et al. (1999) は、6名の計測者が同じ 27名の被験者を計測したデータを用いて、計測者間誤差のめやすとして、全体平均からの各計測者の偏差の程度を平均絶対偏差 (MAB: Mean absolute bias) として求めている。今回の実験結果において、2つの条件間の差がこの値よりも小さいならば、現実的に起こりえる誤差範囲だと言える。計測者間誤差をもたらす最大の要因は計測点あるいは計測レベルの決定における個人差であるが (Kouchi et al., 1999), 今回の実験ではほとんどの項目で皮膚につけたマーク位置を計測したため、計測点のみつけ方の誤差をふくまない。一方 Kouchi et al. (1999) の MAB は計測点のみつけ方の誤差もふくむ。

ISO/DIS 20685 では、形状スキャナから取得した人体寸法を伝統的な方法で取得した人体寸法と同等とみなすことができるかどうかの判定方法として、今回採用したと同じ方法が提案されている。この規格では、誤差をスキャナから得た計測値から伝統的方法で得た計測値を差し引いた値として定義し、誤差の平均値とその上下の 95%信頼限界値を計算する。計算した 95%信頼限界値が別途定めた限界値の範囲に入れば両者を同等としてみなしてかまわないと考える。別途定めた限界値は、殿膝距離など節長で $\pm 5\text{mm}$ 、全身の高さで $\pm 4\text{mm}$ 、胸囲など大きな周長で $\pm 9\text{mm}$ 、頸囲など小さな周長で $\pm 4\text{mm}$ 、肩峰幅など体幹部の幅径で $\pm 4\text{mm}$ 、胸部厚径など体幹部の厚径で $\pm 5\text{mm}$ 、髪をふくまない頭部寸法で $\pm 1\text{mm}$ 、髪をふくむ頭部寸法で $\pm 2\text{mm}$ 、手の寸法で $\pm 1\text{mm}$ 、足の寸法で $\pm 2\text{mm}$ である。四肢の幅径や厚径、体幹部の表面長、肩傾斜角度については参考データがない。しかし、四肢の幅径や

厚径は体幹部の幅径や厚径よりも呼吸に影響されない分、誤差は小さくなくてはならない。体幹部表面長は、サイズから考えると、四肢の幅径程度、あるいはこれ以下の誤差であるべきだと思われる。

なお、95%信頼区間を用いず、より簡便に2群の平均値の均一性を検定する手順に置き換えることもできる。平均値の標準誤差は被験者数に依存するため、この場合は、評価基準となる寸法値が被験者数に換算されることになる。

7. 統計的方法

統計計算には Macintosh 版 Excel version 11.1.1 (Microsoft Co., 2005), Macintosh 版 Statview version 5 (SAS Institute Inc., 1998), Windows 版 SPSS version 12.0.1 (SPSS Inc., 2003) を用いた。なお、分析を行なう前に手計測データの編集を行い、ミスによると思われる異常データを削除した (生命工学工業技術研究所, 1996)。

正立位での測定値を基準測定値とし、それ以外の各肢位での測定値から基準測定値を引いた値を誤差と定義した。ただし、大腿横径と下腿横径は、桿状計のアームをさしこむすきまがないため、正立位では計測できない場合が多かったので、この2項目については下肢位1での計測値を基準測定値とした。

誤差平均値の性差を、等分散性を考慮した上で t 検定した結果 (SPSS), 5%水準で有意差が認められたのは 123 項目中 4 項目だけであった。本研究の目的は誤差の評価であり、寸法の個人差の範囲を大きくすることが重要で、かつ性別は誤差に影響を与えないと考えられるため、誤差の分析を男女の被験者を分けずに行うことにした。また、誤差の分布が正規分布と有意に異なるかどうかを調べるため、男女こみ、および男女別に Kolmogorov-Smirnov の検定を行った (SPSS)。この結果、全体および男性の身長誤差が正規分布に比べて中心に集中した分布をしている以外、正規分布からの有意な差は認められなかった。

誤差の平均値は2姿勢での計測値の系統的な差を、標準偏差は誤差のばらつきを表す。正立位での寸法値から異なる姿勢での寸法値を推定することが可能かどうかを判断するため、正立位とその他の条件下での寸法値間の相関係数を計算した。

結 果

1. 下肢の外転の影響

表4に下肢の外転の効果の分析結果を示す。各寸法のサイズを示すための基準姿勢での平均値と、評価基準値

も示した。多くの場合、計測者間平均絶対誤差の方が ISO 20685 の基準値よりも小さかった。正立位での測定値とそれ以外の各姿勢での測定値との相関係数は、どの条件下におけるどの項目でも高かった（表4）。回帰による推定の標準誤差は、正立位での寸法値の標準偏差 $\times \sqrt{1-r^2}$ $\times N/(N-2)$ で算出される。ただし、 r は相関係数、 N は被験者数である。この式を変形すれば、推定の標準誤差の 1.96 倍が上記の評価基準以下になるために必要な相関係数を、被験者数、正立位での測定値の標準偏差、評価基準値から算出できる。

身長の場合、評価基準値を ISO 20685 の値（4mm）とすると、必要な相関係数は 0.987 となり、評価基準値を平均絶対誤差（1.33mm）とすると必要な相関係数は 0.996 となる。実際の相関係数はどの下肢位でもほぼ 1 であり（表4）、十分な精度で推定することができる。相関係数が正立位での計測値を十分な精度で推定できるほど高くなかったのは、下肢位 3 における最大腰幅と正立位における大腿横径だけであった。男女別の相関係数は男女を合わせて計算した相関係数よりもやや低いこともあったが、ほとんどの場合で大差なかった。

計測者間誤差の 2 種類の基準値と比較した結果、どの下肢位での値も正立位での測定値とほぼ同じとみなすことができる項目は、胴部横径、胴部厚径、胴囲、転子高、腸骨稜点高、腸骨稜幅、下腿最大囲、下腿横径の 8 項目であった。

全体的傾向として、腰より高い位置の計測点の高さ項目（L1～L10）は、下肢位 1、2 では正立位と大差ないが、下肢位 3 では正立位よりも低くなった。股下付近の高径は、下肢位 1 では正立位と差がないが、下肢位 2、3 では正立位での値より低くなった。脛骨上縁高は下肢位 2 では正立位より 5mm、下肢位 3 では正立位よりも 10mm も低い。下腿最大囲高では下肢位 1～3 での正立位との差が 2mm 程度であることを考えると、計測点のマーク位置が下腿の内側にあるか、正面にあるかで、このような差が出るのかもしれない。

最大腰幅と転子間幅は、下肢位 1～3 のいずれにおいても、正立位での寸法より大きかった。殿部の幅と周長は開脚の程度が大きいほど寸法が大きい傾向があり、厚径は開脚の程度が大きいほど寸法が小さい傾向があった。大腿厚径と大腿囲では正立位と下肢位 1～3 の間に有意差があり、開脚の程度が大きいほど寸法が小さい傾向があった。

大腿横径と下腿横径は、下肢位 1（左右の足軸間距離 15cm）での値を基準とした。大腿横径は開脚の程度が大

きいほど寸法が大きかった。下腿横径にも同様の傾向があるが、計測者間誤差を考慮すれば、どの下肢位でもほぼ同じであった。

殿部では開脚の程度が大きいほど幅と周長が大きくなり、厚径は小さくなる傾向があり、大腿では開脚の程度大きいほど幅は大きく、周長と厚径は小さくなる傾向があった。すなわち、開脚の程度によって殿部、大腿部の断面形状も変化していることになる。

2. 上肢の外転の影響

表5に上肢外転の効果の分析結果を示す。上肢位 1～3 での測定値と正立位での測定値との相関係数は概して高いが、胸幅、背肩幅、背幅そして特に左右の肩傾斜角度の相関は、十分な精度で正立位での測定値を推定できるほど高くない。2つの評価基準から判断して、どの上肢位でも正立位と大差ないと考えられるのは UB 位横径、胴囲、UB 位厚径、前腕長の 4 項目であった。上肢の外転程度が最も弱い上肢位 1 においても、肩峰幅、胸幅、肩幅、背肩幅、背幅、上腕長、肩峰高の 7 項目で、基準値よりも大きな差があった。肩峰点（acromion）が関係する寸法は、すべて上肢の外転により影響を受けることがわかる。上肢の外転により、肩峰高は高く、肩峰が関係する幅方向の寸法と上腕長は小さくなる。

胸部横径が上肢の外転により大きくなるのは、正立位では下垂した上肢によって桿状計のアームが押さえられ、軟部に食い込んでいたのが、上肢の外転により押さえる力が軽減されたためかもしれない。上肢の外転により胸部の厚径と周長が減少するのは、上肢外転に伴う筋の動きが主な原因と考えられる。

上肢の外転に伴い、上肢位 1、2 では胸幅が減少し、背幅が増大する。この傾向は上肢位 3 では、はっきりしない。胸幅、背幅の増加、減少は、腕を真横に上げるか、前よりあるいは後ろよりに上げるかによって、かなり変わる。上肢位 3 のように腕を大きく広げる時、腕を後方に向ける傾向があるのかもしれない。

肩の稜線は頸側点と肩峰点を結ぶ直線とは一致しないので、肩傾斜角度が肩峰点の位置変化をそのまま反映しなくても不思議ではない。また、この項目は各条件での計測値と正立位での計測値との相関が他の項目よりかなり低いことからみて、そもそもそれほど再現性が高くない可能性がある。

形状計測をする際に上肢を外転するのは、腕の陰になって計測できない体幹部部位をできるだけ低減することにある。上肢外転による変化は、胴囲レベルとアンダーバストレベルでは小さい。しかしながら、乳頭位の周長

表4 下股位の違いによる誤差の統計量 (単位: mm)

A. 下股位 0 (正立位) での値を基準とする (誤差 = 各下股位での計測値 - 正立位での計測値)																						
計測項目	正立位 での平 均値	正立位 での標 準偏差	下股位 1 と正立位の差					下股位 2 と正立位の差					下股位 3 と正立位の差					評価基準				
			N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	MAB	ISO 20685
L1 身長	1633.9	76.7	40	-0.5	1.5	-0.9	0.0	1.000	40	-1.2	1.2	-1.8	-0.6	1.000	40	-4.8	2.4	-5.5	-4.0	1.000	1.33	4
L2 頸椎高	1384.0	68.1	40	1.6	3.0	0.7	2.5	0.999	40	0.2	2.3	-0.9	1.2	0.999	40	-3.8	3.8	-5.0	-2.7	0.999	4.54	4
L3 肩峰高	1312.3	66.6	40	-0.5	3.9	-1.7	0.7	0.998	40	-1.5	2.2	-3.0	0.0	0.997	40	-5.5	5.4	-7.2	-3.8	0.997	—	4
L4 乳頭高	1174.0	63.9	40	-0.8	4.9	-2.4	0.7	0.997	40	-2.0	3.4	-3.5	-0.5	0.997	40	-7.1	5.2	-8.7	-5.4	0.997	—	4
L5 胸囲高	984.5	50.2	40	0.9	1.8	0.3	1.4	0.999	40	0.4	1.3	-0.4	1.2	0.999	40	-4.1	2.7	-4.9	-3.3	0.999	—	4
L6 腸骨稜点高	919.5	50.3	40	1.1	2.8	0.2	2.0	0.998	40	1.1	1.8	-0.1	2.3	0.997	40	-2.7	4.0	-3.9	-1.4	0.997	—	4
L7 転子高	826.8	46.4	39	1.5	2.8	0.6	2.4	0.993	39	2.6	1.9	1.6	3.7	0.993	39	0.3	3.8	-0.9	1.5	0.993	3.95	4
L8 股溝高	706.7	46.1	40	-1.4	3.7	-2.6	-0.2	0.997	40	-3.1	3.2	-4.1	-2.0	0.997	40	-6.9	3.8	-8.1	-5.7	0.997	—	4
L9 股下高(直接)	728.6	43.1	40	-2.7	2.9	-3.5	-1.8	0.998	40	-4.9	2.5	-5.8	-3.9	0.998	40	-8.2	3.1	-9.1	-7.2	0.998	2.60	4
L10 股下高(マーク)	728.6	43.1	40	0.0	3.1	-1.0	0.9	0.997	40	-0.5	1.6	-1.6	0.7	0.997	40	-4.3	4.1	-5.5	-3.0	0.996	—	4
L11 脛骨上縁高	417.7	27.1	40	-1.2	2.3	-1.9	-0.5	0.997	40	-5.1	1.6	-5.8	-4.5	0.998	40	-9.9	2.6	-10.7	-9.1	0.996	—	<4
L12 下腿最大囲高	297.9	18.3	40	1.8	2.6	1.0	2.6	0.990	40	2.4	2.3	1.8	3.1	0.993	40	2.4	3.0	1.5	3.3	0.987	—	<4
L13 胴部横径	252.2	18.8	40	0.7	3.6	-0.4	1.8	0.982	40	-0.2	2.2	-1.3	0.9	0.982	40	-1.0	5.2	-2.6	0.6	0.963	—	4
L14 腸骨稜幅	268.9	13.3	40	0.7	2.9	-0.2	1.6	0.976	40	1.0	2.4	0.2	1.9	0.979	40	0.4	3.6	-0.7	1.5	0.963	—	4
L15 最大腰幅	326.8	15.7	40	5.8	4.9	4.3	7.3	0.952	40	14.3	4.2	12.8	15.9	0.951	40	24.3	6.1	22.4	26.2	0.937	3.34	4
L16 転子外突間幅	321.5	14.6	40	3.9	3.1	3.0	4.9	0.977	40	6.1	2.7	5.1	7.1	0.976	40	10.4	4.0	9.1	11.6	0.961	—	4
L17 胴部厚径	175.2	16.9	40	0.6	4.8	-0.9	2.1	0.959	40	1.0	2.8	-0.6	2.6	0.953	40	1.3	4.9	-0.3	2.8	0.957	—	5
L18 股部厚径	222.7	16.2	40	-2.5	5.4	-4.2	-0.8	0.943	40	-3.6	4.2	-5.0	-2.1	0.962	40	-5.6	5.7	-7.3	-3.8	0.937	—	5
L19 大腿厚径	169.1	13.4	40	-2.3	2.8	-3.2	-1.4	0.978	40	-5.0	2.0	-6.0	-4.0	0.977	40	-6.9	3.4	-7.9	-5.8	0.972	—	<4
L20 下腿厚径	111.1	7.1	40	1.5	1.4	1.1	2.0	0.980	40	1.4	1.4	1.0	1.9	0.982	40	1.5	1.7	0.9	2.0	0.971	—	<4
L21 胸囲	702.1	53.8	40	-1.5	6.2	-3.4	0.5	0.993	40	0.5	4.0	-1.6	2.7	0.992	40	-0.2	8.2	-2.8	2.3	0.988	2.68	9
L22 股囲(股突)	906.0	38.3	40	3.8	5.7	2.0	5.5	0.989	40	7.4	3.9	5.7	9.1	0.991	40	10.1	7.6	7.8	12.5	0.980	1.80	9
L23 大腿最大囲	531.1	33.7	40	-1.6	3.9	-2.8	-0.4	0.994	40	-2.4	2.6	-3.9	-0.9	0.990	40	-4.2	5.2	-5.8	-2.6	0.988	—	4
L24 下腿最大囲	354.2	19.5	40	0.5	1.7	-0.1	1.0	0.996	40	0.8	1.2	0.4	1.3	0.997	40	0.7	1.8	0.2	1.3	0.996	1.40	4

B. 下股位1での値を基準とする (誤差 = 各下股位での計測値 - 下股位1での計測値)

計測項目	下股位1と下股位1の差					下股位2と下股位1の差					下股位3と下股位1の差					計測者間誤差				
	正立位と下股位1の差					下股位2と下股位1の差					下股位3と下股位1の差					計測者間誤差				
	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	MAB	ISO 20685
L25 大腿横径	29	-0.4	3.7	-1.8	0.9	0.899	40	1.70	2.51	1.0	2.4	0.972	40	4.0	2.7	3.2	4.9	0.966	—	<4
L26 下腿横径	37	-0.7	1.5	-1.2	-0.2	0.977	40	0.34	0.89	0.0	0.6	0.989	40	0.7	0.9	0.5	1.0	0.991	1.25	<4

Mean: 誤差 (= 各下股位での計測値 - 基本姿勢での計測) の平均値; S.D.: 誤差の標準偏差; 95%_L, 95%_U: 95%信頼区間の下限と上限; r: 2条件下での計測値間の相関係数
MAB: 計測者間平均絶対偏差 (Kouchi et al., 1999); ISO 20685: ISO/FDIS 20685 に記載されている誤差許容範囲。

表5 上肢位の違いによる誤差の統計量 (単位: mm)

計測項目	正立位 での平 均値			正立位 での標 準偏差			上肢位 1 と正立位の差				上肢位 2 と正立位の差				上肢位 3 と正立位の差				評価基準		
	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	N	Mean	S.D.	95%_L	95%_U	r	MAB	ISO 20685	
U1 肩峰幅	40	-9.0	5.0	-10.5	-7.4	0.975	40	-9.6	4.0	-10.8	-8.3	0.985	40	-13.7	5.6	-15.4	-11.9	0.970	3.15	4	
U2 乳頭位胸部横径	40	1.9	6.0	0.0	3.7	0.972	40	2.6	4.5	1.2	4.0	0.982	40	2.5	5.5	0.7	4.2	0.974		4	
U3 UB位横径	19	0.4	4.2	-1.5	2.3	0.949	19	-1.5	4.1	-0.4	3.3	0.948	19	-1.1	3.4	-0.4	2.6	0.965		4	
U4 胴部横径	40	2.2	4.3	0.8	3.5	0.976	40	3.8	3.4	2.7	4.8	0.984	40	2.1	3.8	1.0	3.3	0.980		4	
U5 乳頭位胸部厚径	40	-3.2	4.3	-4.6	-2.0	0.976	40	-3.4	4.2	-4.7	-2.1	0.976	40	-4.3	3.9	-5.5	-3.1	0.980	3.22	5	
U6 UB位厚径	20	-0.3	5.2	-2.5	2.0	0.926	20	-2.2	4.1	-3.9	-0.3	0.957	20	-1.6	4.0	-3.3	0.2	0.956		5	
U7 胴部厚径	40	0.4	4.0	-0.9	1.6	0.955	40	1.7	4.1	0.5	3.0	0.953	40	1.8	4.3	0.4	3.1	0.944		5	
U8 上部胸囲	40	-3.2	12.0	-6.9	0.5	0.982	40	-3.8	10.5	-7.1	-0.5	0.987	40	-7.1	11.2	-10.6	-3.6	0.984		9	
U9 乳頭位胸囲	40	-4.4	9.4	-7.4	-1.5	0.986	40	-7.0	9.2	-9.9	-4.2	0.986	40	-4.0	9.9	-7.1	-0.9	0.984	6.63	9	
U10 胸囲	40	1.9	9.9	-1.2	5.0	0.984	40	2.6	10.2	-0.6	5.8	0.983	40	1.3	9.4	-1.7	4.2	0.985		9	
U11 胸幅	40	-4.1	9.5	-7.1	-1.2	0.928	40	-2.9	10.0	-6.0	0.2	0.919	40	2.1	9.9	-0.9	5.2	0.920		<4	
U12 肩幅 (頸側-肩峰)	40	-3.0	3.3	-4.0	-2.0	0.950	40	-3.2	3.1	-4.2	-2.3	0.957	40	-6.8	4.1	-8.0	-5.5	0.921		<4	
U13 背肩幅	40	-3.5	12.0	-7.2	0.2	0.909	40	-4.9	11.4	-8.5	-1.4	0.915	40	-19.5	13.6	-23.7	-15.3	0.880		<4	
U14 背幅	40	3.7	11.1	0.3	7.1	0.949	40	4.4	10.9	1.0	7.8	0.952	40	0.1	11.4	-3.5	3.6	0.949		<4	
U15 肩傾斜角度：右	40	0.1	2.2	-0.5	0.8	0.813	40	-0.1	2.1	-0.7	0.6	0.792	40	-1.7	2.5	-2.5	-0.9	0.714			
U16 肩傾斜角度：左	45	0.3	2.0	-0.3	0.9	0.902	40	-0.1	2.3	-0.8	0.6	0.870	40	-1.2	2.5	-2.0	-0.4	0.849			
U17 上腕長	297.1	-8.5	3.4	-9.5	-7.4	0.984	40	-10.2	3.0	-11.1	-9.3	0.987	40	-13.9	3.2	-14.9	-12.9	0.985	2.55	5	
U18 前腕長	235.2	16.0	40	1.6	1.7	1.0	2.1	0.994	40	1.9	1.7	1.3	2.4	0.994	40	2.1	1.6	2.5	0.995	5	
U19 肩峰高	1312.3	66.6	40	4.0	7.6	1.7	6.4	0.994	40	2.4	6.1	0.5	4.2	0.996	40	9.5	8.1	7.0	12.0	0.993	4

Mean: 誤差 (= 各上肢位での計測値 - 正立位での計測) の平均値; S.D.: 誤差の標準偏差; 95%_L, 95%_U: 95%信頼区間の下限と上限; r: 2条件下での計測値間の相関係数
MAB: 計測者間平均絶対偏差 (Kouchi et al., 1999); ISO 20685: ISO/FDIS 20685 に記載されている誤差許容範囲。

と厚径, 腋窩レベルの周長は, かなり減少する。

正立位以外の姿勢での測定値を正立位での測定値から推定できるほど相関係数が高くなかったのは, 巻尺で測る胸幅, 背幅, 背肩幅, 肩幅, および左右の肩傾斜だけであった。

考 察

1. 開脚による高径の変化

図3に高径項目について下肢位1~3の正立位との差の平均値を示す。高さ項目で最も下肢位間の差が小さかったのは転子高であった。高さの変化は図4上の模式図のように股関節を中心として下肢が回転することによりおこる。正立位では股関節中心より足関節中心が内側にあるので, 股関節高は足関節中心が股関節中心の真下にくるまでは高くなり, 股関節中心より外側に移動するにつれて低くなると考えられる。図4上のX1, X2, X3それぞれに青年男性の大腿骨頭中心間距離平均値 $\pm 2=158$ mm (倉林ほか, 2003), 踵幅平均値 $\pm 2=32$ mm, 転子高平均値 $=875.7$ mm (生命工学工業技術研究所, 1996)を代入すると, 足軸間距離と股関節高の関係は図4下のようになり, 足軸間距離が27 cm程度までは, ほとんど変化せず, 30 cmを超えると急に低下する。実測データは, 足軸間距離が25 cmである下肢位2では, ほとんどの項目で正立位との差が ± 2 mmの範囲に入っていた。例外は殿溝高と直接計測した股下高(直接), 脛骨上縁高の3項目で, いずれも股関節より下方に計測点がある項目であった。股下高(直接)は股下高(マーク)よりも下肢位2で低くなっていることから, 正立位でつけたマークではなく, その都度計測点を見つけて計測した殿溝高もふくめ, 軟部組織の変形が関与しているのかもしれない。

以上から, 股下より上方にある計測点の高さは, 足軸間距離が25 cm程度ならば, 正立位と大差がないといえよう。

2. 上肢の外転による肩峰点の変位

今回の計測条件では, 最も上肢の外転程度が小さい上肢位1においても, 肩峰幅は正立位での値に比べて大きく減少していた。すなわち, 上肢の外転が20度で, 肩部形状はすでに変化している。そこで, どの程度の上肢外転ならば肩峰点位置がほとんど変化しないかを知るために, 成人男子被験者2名について, 運動計測装置(Vicon 624, Vicon Motion Systems Ltd.)を用いて肩峰点の座標値と上腕の傾きの関係を調べた。専用の反射マークを左右の肩峰点の位置にはり, 上腕節の傾きを調べるためのマークセットを上腕に装着し, 肘を伸ばした上肢を少し

図3 各下肢位における計測値の正立位での計測値との差の平均値。

Fig. 3 Mean difference between measurement in the basic posture and measurement under each of the other conditions for legs.

ずつ外転させて, マーカ位置を連続的に計測した。

図5に, 左右の上腕外転角度平均値と左右の肩峰点にはったマーカ間の距離の関係を示す。上腕外転角度は, 正立位での角度を0としている。上腕が10度外転すると, 肩峰間距離は5 mm程度減少している。計測者内の平均絶対誤差が2.25 mm (Kouchi et al., 1996), 計測者間の平均絶対偏差が3.15 mm (Kouchi et al., 1999)であることを考えると, 系統的な5 mmの差を無視することはできない。

図6に右上腕の外転角度と右肩峰点にはったマーカの床面からの高さの関係を示す。肩峰の高さは外転角度が20度程度まではほとんど変化せず, それ以後増加する。増加量は外転角度30度で3~5 mm程度である。

表5に示した寸法の差も考慮すると, 肩峰幅について正立位と同等の寸法を得ようとするならば, 上肢外転は5度程度におさえるべきだと考えられる。肩峰高については上肢外転角度が20度未満ならば, 計測者間計測誤差の範囲内で肩峰高を正立位と同等とみなすことができよう。

3. 形状データと人体寸法

形状データの利用法は, 現状では人体寸法抽出が最も多い。ヨーロッパ諸国や米国では, 計測コスト低減のために, 限られた少数の項目だけを従来の手計測で行い, 大部分の寸法を形状データから算出することにより, 衣

図4 左右の足軸間の距離と推定した股関節高との関連
Fig. 4 Relationship of the distance between foot axes with estimated hip joint height.

服のサイズ分類を目的とした大規模計測を実現した (Treleaven, 2004)。手で計測した値と形状データから算出した値が一致しないことがわかっていても、蓄積されたデータと比較可能であることよりも計測の簡便化によるコスト低減を優先し、特徴点の自動抽出、自動採寸などを行なっている。一方、従来の方法で蓄積されたデータとの互換性を重視し、手計測を併用し、形状自体の利用方法を模索する調査もある。米国の Society of Automotive Engineers が中心となって行なった CAESAR プロジェクトや韓国で行なわれた大規模な形状計測調査 (Size Korea) はこちらに入る。

後者の立場をとる場合は、手計測と形状データから算出された値との差の原因を明らかにし、差を低減する方法をめざすことが重要であろう。今回明らかになったように、姿勢の違いも手計測との不一致の原因の一部であるが、さらに計測装置自体の精度に由来する誤差と計測対象が人間であるがゆえに生じる誤差とを分離して評価する必要がある。

形状データ自体の利用については、寸法の利用法のように確立された方法論があるわけではない。今回の計測

図5 左右上肢の平均外転角度と左右肩峰点間距離の関係。正立位時の角度を0度とする。

Fig. 5 Relationship of average abduction of the right and left upper limbs with distance between right and left acromions.

図6 右上肢の外転角度と右肩峰高の関係。正立位時の角度を0度とする。

Fig. 6 Relationship on abduction of the right upper limb with height of right acromion.

結果から、形状計測で通常採用される上肢、下肢を外転した姿勢をとると、寸法だけでなく断面形状も変化することが示唆された。また、上肢の外転においては、腕を外転させるときに腕を前より上げるか、後ろより上げるかによって、寸法と形状の両方がかなり変化することが示唆された。形状計測時には、姿勢の指示のしかた、保持のしかたが、寸法の再現性の観点からも重要だと思われる。

形状スキャナを人体寸法値を取得するための道具だとみなすならば、計測された表面形状と計測点の位置データから、何らかの変換によって正立位での値を出すシステムであってもよいと考えることもできる。仮に形状計測姿勢での寸法が正立位での値と一致していなくても、

正立位での計測値との相関係数が非常に高ければ、直線回帰などによる正立位での値への変換は可能であり、推定誤差が計測誤差よりも小さければ、十分に信頼できるといえよう。このような考え方は寸法については成り立つが、形状についてはこのような単純な変換が可能かどうか、またすべきかどうかを熟考する必要がある。

結 論

正立位、および上下肢の外転角度が異なる合計7とおりの姿勢条件で、40名の被験者を1名の計測者が計測した結果、以下のことがわかった。

脚を開いても、ウエストレベルの横径、厚径、周長は影響を受けないが、脚の開きが大きくなるにともない最大腰幅、転子間幅、大腿横径は大きくなり、殿部厚径と大腿厚径は小さくなった。高さ項目の多くと下腿の周長、幅径、厚径は足軸間距離が25cm程度では大きな影響を受けないが、腰部の幅径は足軸間距離が15cmでも計測誤差よりも大きく変化し、大腿の厚径は足軸間距離が25cmになると減少した。

身長にもよるが、形状データから正立位と同等の人体寸法を入手するための計測姿勢は、高さについては脚のひらき具合を足軸間距離が25cm以下にするのが望ましい。ただし、殿部と大腿の幅径、厚径、周長、下腿にある計測点の高さは、脚をひらいた姿勢で正立位と同等の寸法を得ることは難しい。

上肢の外転により acromion の位置が移動するため、acromion が定義にふくまれるすべての項目が大きな影響を受ける。ウエスト、アンダーバストのレベルの寸法はあまり影響を受けないが、乳頭および腋窩レベルの周長と厚径、体表長は外転の程度だけでなく、腕を外転する向きによって左右される。

身長にもよるが、形状データから正立位と同等の肩峰高を入手するためには、上肢の外転を20度未満におさえるのが望ましい。しかし、肩峰幅や上腕長など、肩峰点により定義された肩峰高以外の寸法については、上肢を外転した姿勢で正立位と同等の寸法を得ることは難し

い。

胸幅と背幅は、上肢を外転する向きに左右され、外転の角度が大きくなると上肢を後方に伸ばす傾向があるようだが、ばらつきが大きく、予測は難しい。

謝 辞

運動計測をするにあたり、デジタルヒューマン研究センターの青木慶博士と高橋正仁氏の助力を得た。記して感謝する。

引用文献

- 保志宏 (1989) 生体の線計測法. てらぺいあ.
ISO 10360-2 (2001) Geometrical Product Specifications (GPS)—Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM)—Part 2: CMMs used for measuring size.
ISO 7250 (1996) Basic human body measurements for technological design.
ISO/FDIS 20685 (2004) 3D Scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases.
JIS Z 8500 (2001) 人間工学——工業デザインのための基本人体測定項目.
Kouchi M., Mochimaru M., Tsuzuki K., and Yokoi T. (1996) Random errors in anthropometry. *Journal of Human Ergology*, 25: 155–166.
Kouchi M., Mochimaru M., Tsuzuki K., and Yokoi T. (1999) Interobserver errors in anthropometry. *Journal of Human Ergology*, 28: 15–24.
倉林準・持丸正明・河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌*, 27: 1: 29–36.
Martin R. and Knussmann R. (1988) *Anthropologie*, Band I. Gustav Fischer.
産業技術総合研究所計量標準総合センター (2004) 第1回 NMIJ/AIST 非接触三次元測定機測定精度アセスメントテクニカルプロトコル公開版.
生命工学工業技術研究所編 (1994) 設計のための人体計測マニュアル. 日本出版サービス.
生命工学工業技術研究所編 (1996) 設計のための人体寸法データ集. 日本出版サービス.
高辻利之 (2004) 非接触三次元計測の標準化. 2004年度精密工学会春季大会 学術講演会 論文集, 講演番号 N50.
Treleaven P. (2004) Sizing Us. *IEEE Spectrum*, April 2004: 17–19.
VDI/VDE 2634 Part 2, 2002: Optical 3D measuring systems—Imaging systems with point-by-point probing.